

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS



**BENICIA DE ALMEIDA DIAS HONÓRIO**

Manaus, novembro de 2007

Universidade Federal do Amazonas  
Instituto de Ciências Exatas  
Programa de Pós-Graduação em Geociências

BENICIA DE ALMEIDA DIAS HONÓRIO

Água da chuva na Amazônia Ocidental: química e  
composição isotópica

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geociências, área de concentração em Geologia Ambiental.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Adriana Maria Coimbra Horbe

Manaus, novembro de 2007

# Água da chuva na Amazônia Ocidental: química e composição isotópica

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para obtenção do Título de Mestre em Geociências, área de concentração em Geologia Ambiental.

Aprovado em 22 de novembro de 2007.

## BANCA EXAMINADORA

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Adriana Maria Coimbra Horbe  
Universidade Federal do Amazonas - UFAM

Prof. Dr. Patrick T. Seyler  
Universidade Paul Sabatier - Toulouse - França

Prof. Dr. Daniel Marcos Bonotto  
Universidade Estadual de São Paulo - UNESP

Aos meus pais, Nila,  
Daniel e Mariá pelo incentivo  
para realização desse trabalho.

## Agradecimentos

A Deus pela força eterna;

Aos meus familiares, em especial Mamãe e Daniel, pelo apoio;

A minha orientadora, Adriana Maria Coimbra Horbe, pelo acompanhamento constante;

Aos senhores Luiz Rodrigues de Boa Vista, Júlio Almeida de Apuí, Jaime Azevedo de Tabatinga, Alcides de Itapiranga e Wender Garcia de Parintins pela disponibilidade e auxílio na coleta da água da chuva.

A todos os professores do Departamento de Geociências pela contribuição durante o trabalho;

Aos colegas da instituição pelo incentivo;

A Universidade Federal do Amazonas, pela oportunidade e a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Amazonas pela concessão da bolsa de estudos.

Agradeço

“Não deixe seu aprendizado levá-lo apenas ao conhecimento, permita que ele o leve à ação”.

Jim Rohn

## Lista de Figuras

Figura 1: Localização da área de estudo e dos pontos de amostragem.....	4
Figura 2: Variação climática nos locais estudados.....	6
Figura 3: Condições de formação das chuvas: convectiva, frontal e orográfica .....	8
Figura 4 A-B: Movimento das massas de ar no Brasil. Fonte: Azevedo (1964). Massa Equatorial Atlântica (mEa), Massa Equatorial Continental (mEc), Massa Tropical Continental (mTc), Massa Tropical Atlântica (mTa), Massa Polar Atlântica (mPa).....	10
Figura 5 A-B: Orientação dos ventos jatos de baixa altitude de junho a agosto e em dezembro a fevereiro. Fonte: Fearnside (2004).....	11
Figura 6: Ventos “jato de baixa altitude sul-americano” (LLJ), atravessam a Amazônia de leste para oeste, são desviados pelos Andes e levam o vapor d’água na direção sul e depois para leste. Fonte: Fearnside (2004).....	12
Figura 7: Distribuição do tamanho do aerossol atmosférico (Whitby 1980).....	14
Figura 8: Valores do índice pluviométrico (mm) nos locais amostrados.....	32
Figura 9: Valores do índice pluviométrico (mm) em Boa Vista.....	33
Figura 10: Valores mensais de pH nos locais amostrados.....	34
Figura 11: Valores médios de cátions nos locais amostrados.....	38
Figura 12: Valores mensais dos cátions nos locais amostrados.....	39
Figura 13: Valores médios de ânions e SiO <sub>2</sub> nos locais amostrados.....	41
Figura 14: Valores mensais dos ânions e SiO <sub>2</sub> nos locais amostrados.....	42
Figura 15: Somatório das concentrações dos cátions e ânions + SiO <sub>2</sub> nos locais amostrados.....	44
Figura 16: Valores mensais de condutividade nos locais amostrados.....	46
Figura 17: Correlação dos valores mensais do somatório de cátions e anions versus condutividade e pluviosidade, nos locais amostrados.....	48
Figura 18: Valores mensais dos elementos traços nos locais amostrados.....	50
Figura 19: Correlação entre os isótopos de $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$ e $\delta\text{D}(\text{‰})$ nos locais amostrados.....	53
Figura 20: Valores mensais dos isótopos de $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$ e $\delta\text{D}(\text{‰})$ , nos locais amostrados, * mês mais chuvoso.....	55

## Lista de Tabelas

Tabela 1: Fluxos de água na Amazônia e comparação com a vazão média na foz do rio Amazonas.....	12
Tabela 2: Variação mínima e máxima em $\text{mg L}^{-1}$ na composição química da água de chuva de origem continental e marinha .....	17
Tabela 3: Composição química da água de chuva nas proximidades da área de estudo segundo diferentes autores.....	18
Tabela 4: Composição média ponderada pelo volume da água de chuva em florestas na África.....	20
Tabela 5: Concentração média ponderada pelo volume da água de chuva ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) em diferentes locais no Brasil.....	21
Tabela 6: Composição química mensal dos cátions, ânions e $\text{SiO}_2$ da água de chuva ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) nos locais amostrados.....	36
Tabela 7: Seqüência (MPV) para cátions e ânions + $\text{SiO}_2$ em todas as estações.....	45
Tabela 8: Seqüência (MPV) para elementos-traço em todas as estações.....	52
Tabela 9: Valores dos isótopos de oxigênio e deutério nas água de chuva.....	53
Tabela 10: Razão (MPV em $\mu\text{g L}^{-1}$ ) dos elementos $\text{Cl}^-$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{K}^+$ e $\text{Ca}^{2+}$ em relação ao $\text{Na}^+$ nas águas estudadas e na água do mar (Razão marinha - Fonte: Drever, 1997).....	57
Tabela 11: Concentração média ponderada pelo volume de $[\text{X}]_{\text{mar}}$ em $\mu\text{eq L}^{-1}$ e % nos locais amostrados (porcentagens >50% significam maior influência marinha).....	57
Tabela 12: Concentração média ponderada pelo volume de $[\text{X}]_{\text{excesso}}$ em $\mu\text{eq L}^{-1}$ e % nos locais amostrados.....	58
Tabela 13: Fator de enriquecimento dos elementos em relação a crosta superior.....	59
Tabela 14: Classificação dos elementos em relação ao Fator de Enriquecimento com a crosta superior.....	59
Tabela 15: Composição química mensal dos cátions, ânions e $\text{SiO}_2$ na água de chuva ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) nos locais amostrados.....	68
Tabela 16: Composição química mensal dos cátions, ânions e $\text{SiO}_2$ na água de chuva ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) nos locais amostrados.....	70



Tabela 17: Composição química mensal dos elementos-traço na água de chuva ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) nos locais amostrados.....	72
Tabela 18: Concentração média ponderada pelo volume dos cátions, ânions e $\text{SiO}_2$ ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) nos locais amostrados (condutividade em $\mu\text{S cm}^{-1}$ ).....	74
Tabela 19: Concentração média ponderada pelo volume dos cátions, ânions e $\text{SiO}_2$ ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) nos locais amostrados.....	74
Tabela 20: Somatório dos cátions e ânions e Balanço iônico da média ponderada pelo volume ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) nos locais amostrados (condutividade em $\mu\text{S cm}^{-1}$ ).....	74
Tabela 21: Concentração média ponderada pelo volume dos elementos-traço ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) nos locais amostrados.....	75

## SUMÁRIO

1. Introdução.....	1
2. Objetivos.....	3
3. Localização e acesso.....	4
4. Caracterização climatológica.....	6
5. Processo de formação das chuvas.....	8
5.1. Chuvas.....	8
5.2. Massas de ar.....	9
5.3. Ventos.....	10
5.4. Nuvens.....	12
5.5. Aerossóis.....	14
6. Composição química da água.....	17
6.1. Água de chuva.....	17
6.2. Isótopos de oxigênio e deutério.....	23
7. Materiais e métodos.....	27
8. Resultados e discussão.....	32
8.1. Índice pluviométrico.....	32
8.2. Parâmetros físicos e químicos.....	34
8.2.1. pH.....	34
8.2.2. Cátions, anions e SiO <sub>2</sub> .....	35
8.2.3. Condutividade elétrica.....	45
8.2.4. Elementos-traço.....	49
8.2.5. Isótopos de oxigênio e deutério.....	52
8.3. Origem dos elementos.....	56
8.3.1. Origem marinha.....	56
8.3.2. Origem crustal.....	58
9. Conclusão.....	61
10. Referências.....	63
11. Anexos.....	67

## Resumo

As águas de chuva foram coletadas mensalmente ao longo do ano de 2006, em Boa Vista, Apuí, Tabatinga, Itapiranga e Parintins, em área aberta, sem cobertura da floresta. Também foi coletada em Manaus em área aberta e no interior da floresta. O método de coleta adotado foi o de deposição úmida e foram determinados pH, condutividade, alcalinidade,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{SiO}_2$ , Al, Zn, Fe, Sr, Mn, Cu, Ba, Ni, Pb, Rb, V, Mo e isótopos de oxigênio e hidrogênio. O pH encontrado foi no geral ácido, especialmente no período seco, varia entre 2,8 a 5,9. A condutividade e a concentração das águas foi mais elevada em Manaus floresta e em Apuí, especialmente no período seco. Boa Vista e Parintins apresentam uma seqüência similar tanto para cátions como para ânions com predominância de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Cl}^-$ , respectivamente ( $\text{Ca}^{2+}>\text{Na}^+>\text{K}^+>\text{Mg}^{2+}>\text{H}^+$  e  $\text{Cl}^->\text{NO}_3^->\text{SO}_4^{2-}>\text{SiO}_2>\text{PO}_4^{3-}>\text{F}^-$ ). Em Manaus e Apuí o  $\text{Mg}^{2+}$  é menor que  $\text{H}^+$ , Tabatinga é o único local onde  $\text{Na}^+>\text{Ca}^{2+}$  e Itapiranga é a estação que mais se diferencia das demais ( $\text{H}^+>\text{Na}^+>\text{Ca}^{2+}>\text{K}^+>\text{Mg}^{2+}$ ). Manaus e Manaus floresta têm a mesma seqüência de ânions ( $\text{SO}_4^{2-}>\text{NO}_3^->\text{Cl}^->\text{SiO}_2>\text{PO}_4^{3-}>\text{F}^-$ ) e Apuí, Tabatinga e Itapiranga são diferentes entre si. No geral as águas são mais diversificadas na proporção de ânions que cátions. Na distribuição dos elementos-traço há similaridades somente com Al, Zn, Fe e Sr, com seqüências iguais para Boa Vista e Manaus ( $\text{Al}>\text{Zn}>\text{Fe}>\text{Sr}$ ) e Parintins e Manaus Floresta ( $\text{Al}>\text{Fe}>\text{Zn}>\text{Sr}$ ). Como observado para os ânions, os elementos-traço em Apuí, Tabatinga e Itapiranga se diferenciam dos demais e entre si. Os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta\text{D}$  têm grandes variações e mostram que não há um padrão único de fracionamento na composição isotópica da água de chuva nos locais estudados. Esse comportamento pode ser atribuído a influências locais, temperatura, intensidade de precipitação e movimentos de massas de ar. A semelhança entre as chuvas de Manaus e Manaus Floresta, isotopicamente homogêneas entre si, demonstra que não há influência direta da vegetação. A composição química da água de chuva está diretamente ligada a aerossóis emitidos pela vegetação, queima de biomassa, processos intempéricos das rochas silicáticas (Fe, Mg, Mn, Ba, Rb e V), aerossóis marinhos (Na, Mg e Cl), gases produzidos na queima de combustíveis fósseis (Zn, Cu, Pb e Mo) e origem biológica ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{PO}_4^{3-}$ ).

## Abstract

Rainfall water were monthly collected throughout 2006, at Boa Vista, Apuí, Tabatinga, Itapiranga and Parintins, in open áreas. They were also collected at Manaus both in open área and below the forest cover. Wet deposition was the adopted collecting method and, pH, conductivity, alkalinity,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{SiO}_2$ , Al, Zn, Fe, Sr, Mn, Cu, Ba, Ni, Pb, Rb, V, Mo and oxygen and hydrogen isotopes were determined. The pH was usually acid, especially in the dry period, varying between 2.8 and 5.9. Conductivity and chemical concentration of the rain waters were higher for Manaus forest station and Apuí station especially during the dry period. Boa Vista and Parintins presented a similar sequence both for cátions anions with predominance on  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Cl}^-$ , respectively ( $\text{Ca}^{2+}>\text{Na}^+>\text{K}^+>\text{Mg}^{2+}>\text{H}^+$  e  $\text{Cl}^->\text{NO}_3^->\text{SO}_4^{2-}>\text{SiO}_2>\text{PO}_4^{3-}>\text{F}^-$ ). At Manaus and Apuí stations the  $\text{Mg}^{2+}$  is lower than  $\text{H}^+$ ; Tabatinga is the only place where  $\text{Na}^+>\text{Ca}^{2+}$  and Itapiranga is the station differentiating the most from the others ( $\text{H}^+>\text{Na}^{2+}>\text{Ca}^{2+}>\text{K}^+>\text{Mg}^{2+}$ ). Manaus and Manaus floresta stations the same sequence of anions ( $\text{SO}_4^{2-}>\text{NO}_3^->\text{Cl}^->\text{SiO}_2>\text{PO}_4^{3-}>\text{F}^-$ ) and Apuí, Tabatinga and Itapiranga are different among each other. In general, the rain waters are more diversified in anion than cation ratios. In the distribution of trace elements there are just similarities on Al, Zn, Fe and Sr, with equal sequences for Boa Vista and Manaus ( $\text{Al}>\text{Zn}>\text{Fe}>\text{Sr}$ ) and for Parintins and Manaus Florest ( $\text{Al}>\text{Fe}>\text{Zn}>\text{Sr}$ ). Like for anions, trace elements at Apuí, Tabatinga, and Itapiranga stations differentiate from others and among one another.  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta\text{D}$  values present wide variations and showing they do not follow a single fractionating pattern on the rainwater's isotopic composition. These behaviours are the results from local influences, temperature and, rainfall intensity and air mass movement. The similarity between Manaus and Manaus Forest rainfalls which are isotopically homogeneous, demonstrate that fractionation are not to be no directly influenced by vegetation. Rainwater chemical composition is directly linked to aerosols vegetation, biomass burning, rock weathering processes (Fe, Mg, Mn, Ba, Rb e V), marine aerosols (Na, Mg e Cl), and gases produced in the burning of fossil fuels (Zn, Cu, Pb and Mo) as well as from biological sources ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{PO}_4^{3-}$ ).

## 1. Introdução

O ciclo hidrológico é o movimento contínuo natural de reciclagem da água entre a terra e o ar e de regresso a terra. É movido pela energia solar que ao iluminar e aquecer o planeta causa evaporação das massas de água e transpiração das plantas. O vapor gerado ao se condensar forma nuvens e precipita como chuva.

A precipitação pluviométrica é uma vertente do processo de ciclagem dos elementos e representa importante fonte de entrada de nutrientes e de eventuais poluentes em ecossistemas localizados próximo a fontes poluidoras. O perfil de ciclagem e alocação de nutrientes depende da disponibilidade e mobilidade geoquímica dos elementos na litosfera, hidrosfera, atmosfera e biosfera. Está condicionado por vários fatores interdependentes, entre eles, rocha, relevo, cobertura vegetal, rede hidrográfica, clima e localização geográfica.

A chuva no Amazonas apresenta característica própria e única, pois por se localizar nos trópicos, próximo ao equador, apresenta grande fluxo de radiação solar, alta temperatura e, conseqüentemente vapor d'água. Além disso, a Amazônia tem a maior extensão de floresta tropical úmida do mundo e a mais ampla rede fluvial do planeta, que por sua vez movimentam o maior volume de água doce disponível na Terra. A evaporação de parte da água e principalmente da transpiração da floresta são responsáveis pelas abundantes chuvas na região.

A água de chuva fornece informações sobre a variabilidade espacial e temporal da composição química atmosférica, além de indicar influências de origem antrópica ou natural por estarem diretamente envolvidas no ciclo hidrológico. Geralmente, essa variabilidade depende do tempo de residência dos gases e aerossóis na atmosfera e de sua reatividade química.

Com o intuito de contribuir no estudo da química da água de chuva e determinar as influências do ambiente, foram analisados durante o ano de 2006, os principais cátions,

ânions, elementos-traço dissolvidos, além de composição dos isótopos de oxigênio e deutério.

Foram identificadas as possíveis fontes dos elementos e sua relação com a vegetação e clima.

## 2. Objetivos

Esse trabalho visou estudar a composição química da água de chuva, nos Estados do Amazonas e Roraima no sentido de compreender a dinâmica da chuva, as possíveis fontes dos elementos e a influência geográfica.

Objetivos específicos:

- Caracterizar a composição química;
- Correlacionar às variações sazonais e geográficas;
- Determinar as influências na composição química.

### 3. Localização e Acesso

As águas de chuvas foram coletadas nos arredores das cidades de Manaus ( $3^{\circ}05'59''\text{S}/59^{\circ}58'26''\text{W}$ ), Tabatinga ( $4^{\circ}15'12''\text{S}/69^{\circ}56'70''\text{W}$ ), Itapiranga ( $2^{\circ}44'57''\text{S}/58^{\circ}01'20''\text{W}$ ), Parintins ( $2^{\circ}37'42''\text{S}/56^{\circ}44'11''$ ) e Apuí ( $7^{\circ}12'06''\text{S}/59^{\circ}53'07''\text{W}$ ) no Estado do Amazonas e em Boa Vista ( $2^{\circ}49'10''\text{N}/60^{\circ}40'17''\text{W}$ ) no Estado de Roraima (Figura 1). Amazonas e Roraima estão situados no extremo norte do território brasileiro e ocupam uma área territorial de 1.549,586 e 224.298,98Km<sup>2</sup> respectivamente, correspondente a 40,7 e 4% da Amazônia Legal e 18,4 e 2,6% da superfície territorial no Brasil.

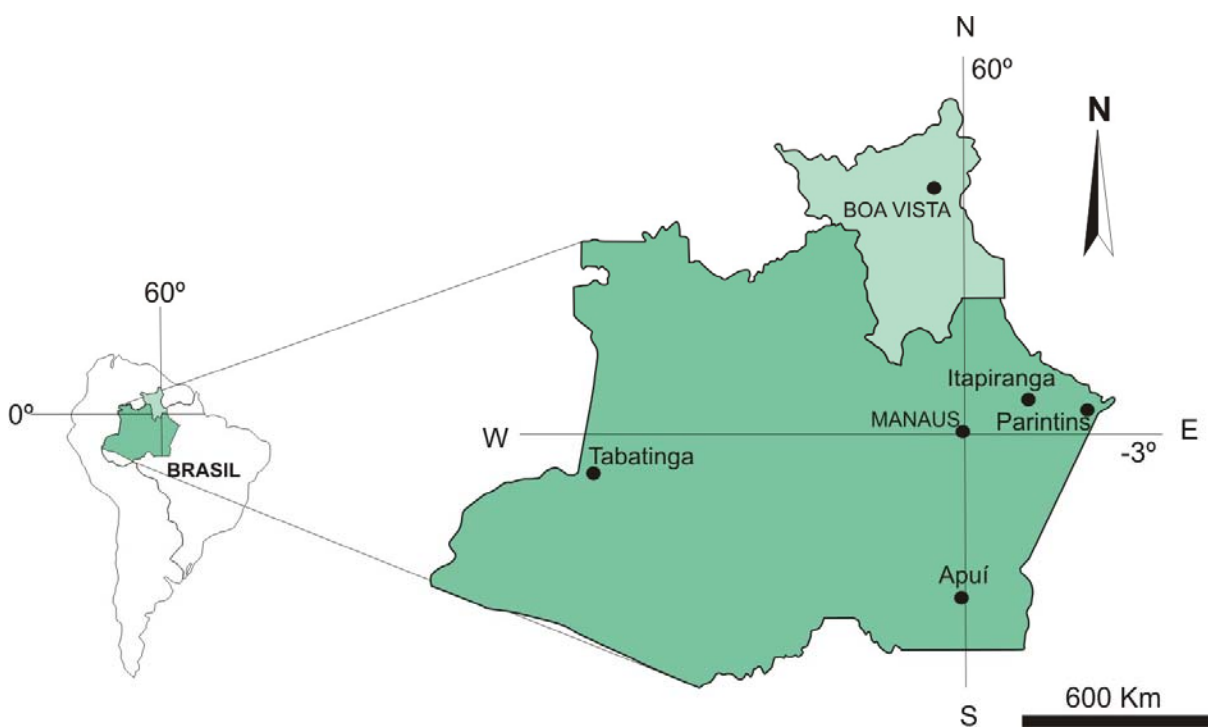


Figura 1: Localização da área de estudo e dos pontos de amostragem.

Manaus, capital do Estado do Amazonas, localiza-se na confluência dos rios Negro e Solimões, limita-se com os municípios de Rio Preto da Eva, Itacoatiara, Iranduba, Careiro, Novo Airão e Presidente Figueiredo. Possui área territorial de 11.684Km<sup>2</sup> e população de 1.688.524 habitantes (IBGE).

Tabatinga está localizada no extremo oeste do Amazonas, à margem esquerda do rio Solimões, faz fronteira com a Colômbia e o Peru. Possui uma área de 3.239,3Km<sup>2</sup> e



população de 45.085 habitantes (IBGE). O acesso a partir de Manaus é feito por via aérea pelo Aeroporto Internacional Eduardo Gomes ou por via fluvial pelo rio Solimões. Distancia-se de Manaus em linha reta por 1.105Km e em via fluvial por 1.607Km.

Itapiranga localiza-se na região do médio Amazonas e limita-se com os municípios de São Sebastião do Uatumã, Urucará, Urucurituba, Silves, Itacoatiara, Rio Preto da Eva e Presidente Figueiredo. Possui área territorial de 4.240Km<sup>2</sup> e população de 8.866 habitantes (IBGE). O acesso pode ser feito por rodovia pela AM-010 e por via fluvial pelo rio Amazonas. Está em linha reta de Manaus a 180Km e por via fluvial 233Km.

Parintins situa à margem direita do rio Amazonas, tem área de 5.978Km<sup>2</sup> e população de 112.636 habitantes (IBGE). Limita-se ao norte com o município de Nhamundá, ao sul com Barreirinha; ao leste com o Estado do Pará e a oeste com Urucurituba. Fica a 369Km de Manaus em linha reta e por via fluvial a 420Km.

Apuí, no sudeste do Amazonas, região do rio Madeira, limita-se com os municípios de Novo Aripuanã, Borba, Maués, Manicoré e Estado do Mato Grosso. Possui área de 53.040Km<sup>2</sup> e população de 19.694 habitantes (IBGE). Está, em linha reta, a 460Km de Manaus. O acesso para Manaus, por via aérea, é feito pelo Aeroporto Eduardo Gomes e via fluvial pelos rios Amazonas, Madeira e Aripuanã e posteriormente pela Transamazônica cerca de 250Km até Apuí.

Boa Vista, capital do estado de Roraima, possui área territorial de 5.687Km<sup>2</sup> e população de 221.476 habitantes (IBGE). O acesso a partir de Manaus a é feito por rodovia pela BR-174, que liga os dois estados e por via aérea pelo Aeroporto Eduardo Gomes.

#### 4. Caracterização Climatológica

A área de estudo, devido à proximidade com a linha do equador, baixa latitude, baixa pressão atmosférica e intensa radiação solar, apresenta clima equatorial quente e úmido. A porção oeste do Amazonas compreende a região mais úmida e a porção sul e leste mais seca, com variações de um a três meses de seca. Roraima apresenta períodos mais longos de estiagem em relação ao Amazonas, principalmente na porção leste do estado chegando até cinco meses secos (Figura 2).

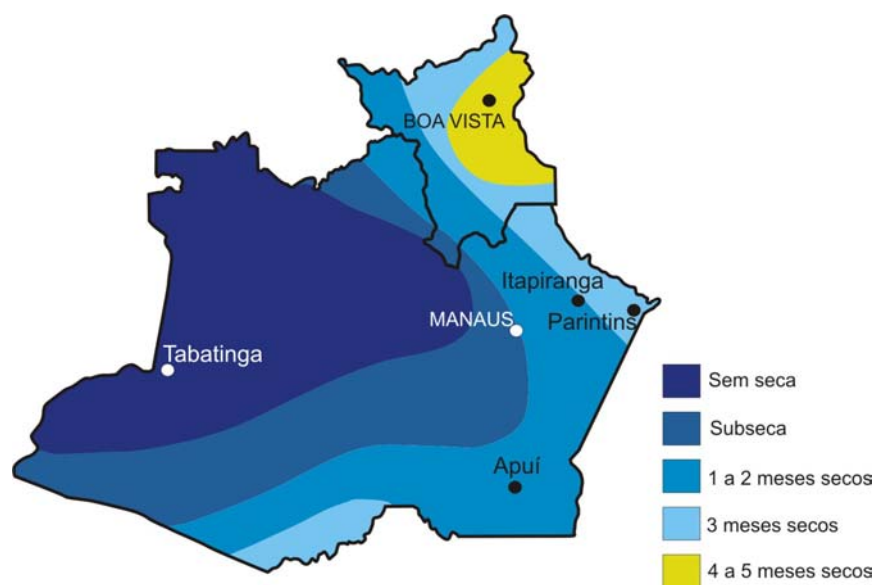


Figura 2: Variação climática nos locais estudados.

Segundo a classificação de Koppen, Boa Vista apresenta clima “Aw” (quente e úmido, com chuvas de verão e precipitação média no mês mais seco inferior a 60 mm). Manaus, Apuí, Itapiranga e Parintins tem clima tipo “Am” (clima quente úmido, com precipitação abundante durante a maior parte do ano, um ou dois meses com precipitação inferior a 60 mm) e Tabatinga “Af” (clima tropical chuvoso, com precipitação média maior ou igual a 60 mm, sem estação seca).

Manaus, Apuí, Tabatinga, Itapiranga e Parintins apresentam temperaturas médias anuais entre 24° e 31°C. As chuvas são abundantes, 2000 a 2.500mm/ano, o que ocasiona, elevada umidade do ar com 80 a 90% nos meses mais chuvosos e 75% nas épocas de

estiagem. É possível destacar o alto índice pluviométrico nos meses de novembro a maio no inverno regional e o período mais seco, verão amazônico, de junho a outubro. Agosto, setembro e outubro apresentam o menor índice pluviométrico, cuja precipitação não ultrapassa 4% do total anual (Bonetti, 1999). O relevo tem pouca influência no clima, pois a maior parte do Amazonas tem altitude inferior a 500m.

Boa Vista tem períodos sazonais diferentes dos demais locais amostrados, o período chuvoso é de abril a setembro e a maior estiagem em janeiro e fevereiro. A precipitação média anual é de 1.783 mm, temperatura média mensal varia entre 24°C e 32°C, umidade relativa entre 53% a 89%.

## 5. Processo de Formação das Chuvas

### 5.1 Chuvas

O processo de formação das chuvas resulta da saturação do vapor d'água que se condensa e passa do estado gasoso para o líquido, contudo a classificação das chuvas como convectivas, frontais ou orográficas depende das condições em que ocorre a ascensão das massas de ar. A maior parte da precipitação na Amazônia é proveniente de chuvas de convecção causadas pelo aquecimento de massas de ar. Estas, em contato direto com a superfície quente do continente, sobem para níveis mais altos da atmosfera onde as baixas temperaturas condensam o vapor e formam as nuvens que precipitam água com alta intensidade (Figura 3).

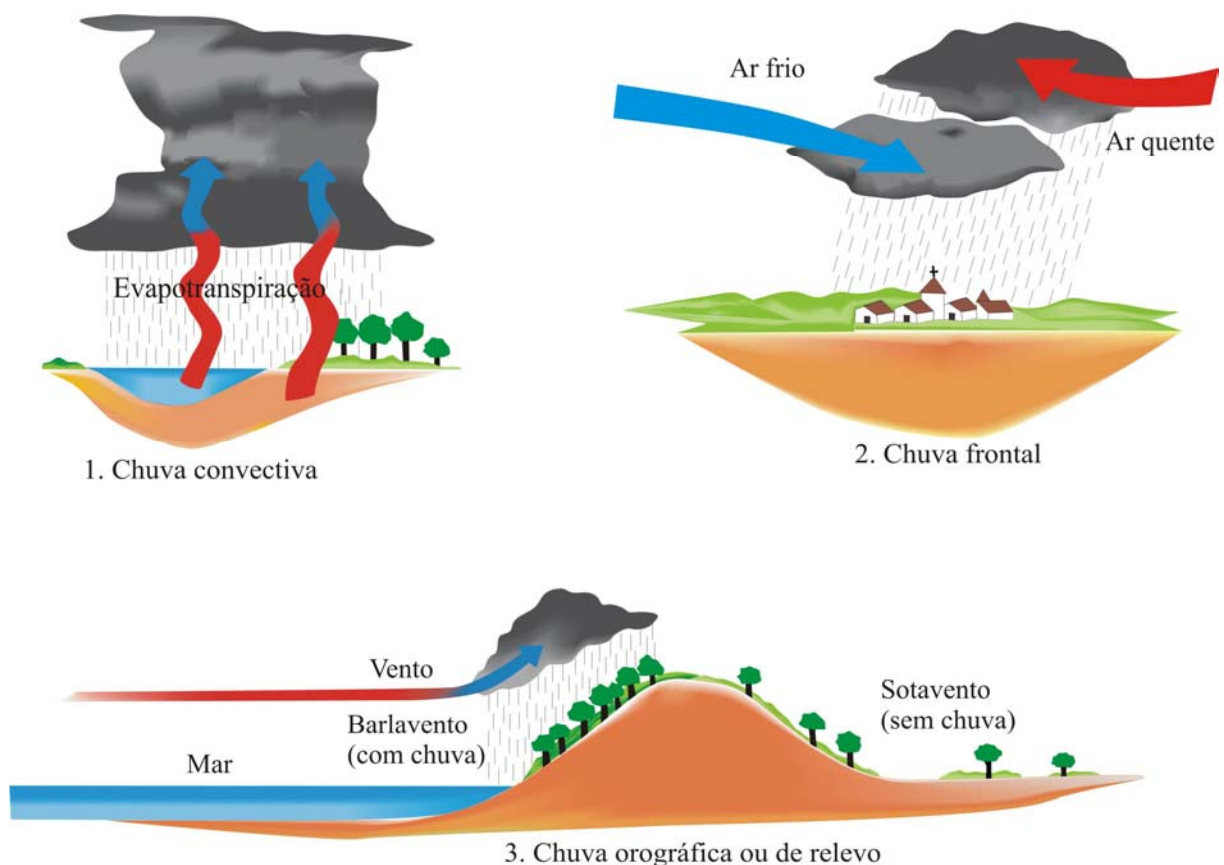


Figura 3: Condições de formação das chuvas: convectiva, frontal e orográfica.

Na ascensão do ar quente, leve e normalmente úmido, este se resfria em contato com o ar mais frio de altitudes mais elevadas o que resulta na condensação do vapor e a formação

das chuvas frontais. As chuvas orográficas atuam em regiões de relevo elevado, como cordilheira ou serra que impede a passagem de ventos quentes e úmidos, que sopram do mar. Essas massas sobem, atingem maiores altitudes onde a umidade do ar condensa e formam nuvens junto aos picos da serra, onde chove com muita frequência.

## 5.2 Massas de ar

O elemento mais importante para a variação no comportamento das chuvas é a massa de ar, pois esta têm algumas propriedades que dependem da área em que se localizam. Existem massas de ar polares, equatoriais, tropicais, oceânicas e continentais, que se movem continuamente e o encontro de duas massas de ar com diferentes temperaturas recebe o nome de “frente”.

A Amazônia é uma região de calmaria de ventos, devido ao encontro dos alísios do hemisfério norte com os do sul. É influenciada, principalmente pela massa equatorial continental (mEc) quente e úmida que tem seu centro de origem na porção ocidental da Amazônia e domina a parte noroeste da região praticamente o ano todo. A partir de janeiro a massa equatorial continental desloca-se para o sul e sudeste da região por influência do avanço da massa equatorial atlântica (mEa) quente e úmida, isso ocasiona pluviosidade e temperatura elevadas (Figura 4A).

Julho é marcado pelo recuo das mEc e mEa e avanço momentâneo da massa polar atlântica (mPa). Ao entrar no território brasileiro atinge a porção sul e sudeste do Amazonas onde a temperatura pode chegar a 10°C (Figura 4B). Esse efeito é restrito a poucos dias e é denominado de friagem, período de forte umidade específica e relativa diminuição da temperatura durante poucos dias entre junho a agosto (Nimer, 1979).

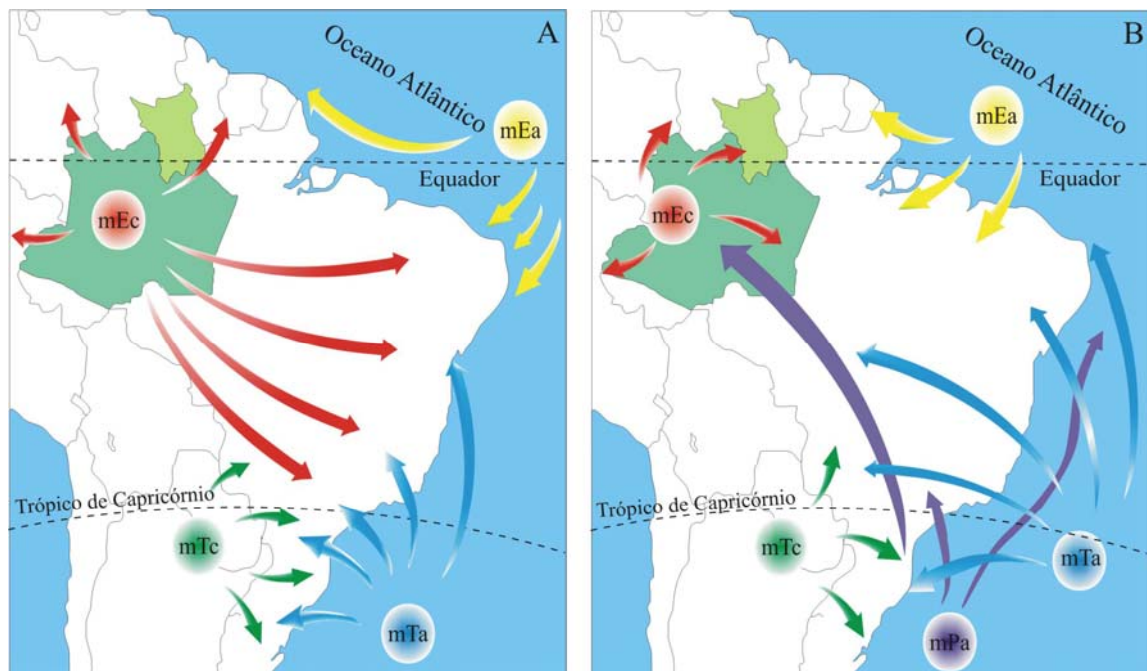


Figura 4 A-B: Movimento das massas de ar no Brasil. Fonte: Azevedo (1964). Massa Equatorial Atlântica (mEa), Massa Equatorial Continental (mEc), Massa Tropical Continental (mTc), Massa Tropical Atlântica (mTa), Massa Polar Atlântica (mPa).

### 5.3 Ventos

Os ventos dominantes na Amazônia sopram de leste para oeste, em função da rotação da terra. Quando eles batem nos Andes, viram para o sul, e o vapor d'água é levado para outras partes da América do Sul. Esses ventos denominados de “jato de baixa altitude sul-americano”, move-se cerca de 30 Km/h, a 1 Km de altitude acima do nível do mar. Entre junho e agosto, apenas os ventos do sudoeste da Amazônia viram para o sul, levando vapor d'água (Figura 5A), mas entre dezembro e fevereiro isso acontece com os ventos de toda região (Figura 5B) (Fearnside 2004).

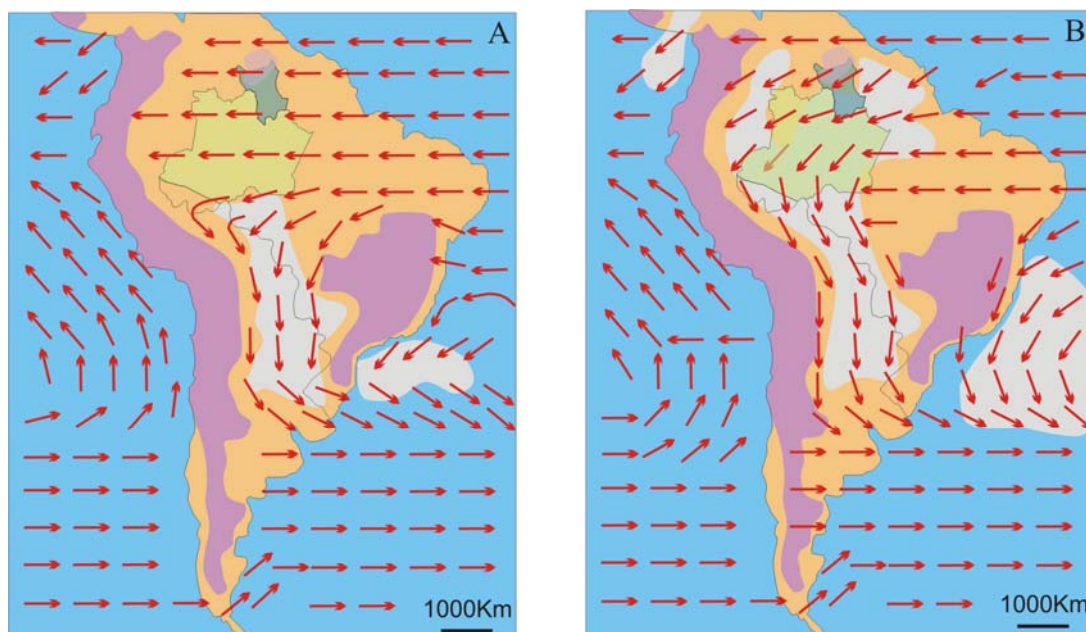


Figura 5 A-B: Orientação dos ventos jatos de baixa altitude de junho a agosto e em dezembro a fevereiro. Fonte: Fearnside (2004).

A quantidade de vapor d'água que entra na região com esses ventos vindos do Atlântico é cerca de 10 trilhões de  $m^3$ /ano, uma parte precipita e eleva a vazão média do rio Amazonas para 6,6 trilhões de  $m^3$ /ano e a diferença, em torno de 3,4 trilhões de  $m^3$ /ano, é exportada para outras regiões (Tabela 1). Uma parte passa por cima da cordilheira dos Andes, no canto noroeste da bacia Amazônica, na Colômbia, mas a maior parcela vai para o centro-sul do Brasil, Paraguai, Uruguai e Argentina (Figura 6) e o restante cruza o oceano Atlântico e chega ao sul da África (Fearnside 2004). Conforme Lettau in Fearnside (2004), à medida que o vapor move-se para oeste e afasta-se do oceano Atlântico, uma parcela crescente é reciclada pela floresta, cai como chuva e evapora outra vez e cerca de 88% do vapor d'água, que chega ao extremo oeste da região, foi reciclado no mínimo duas vezes.

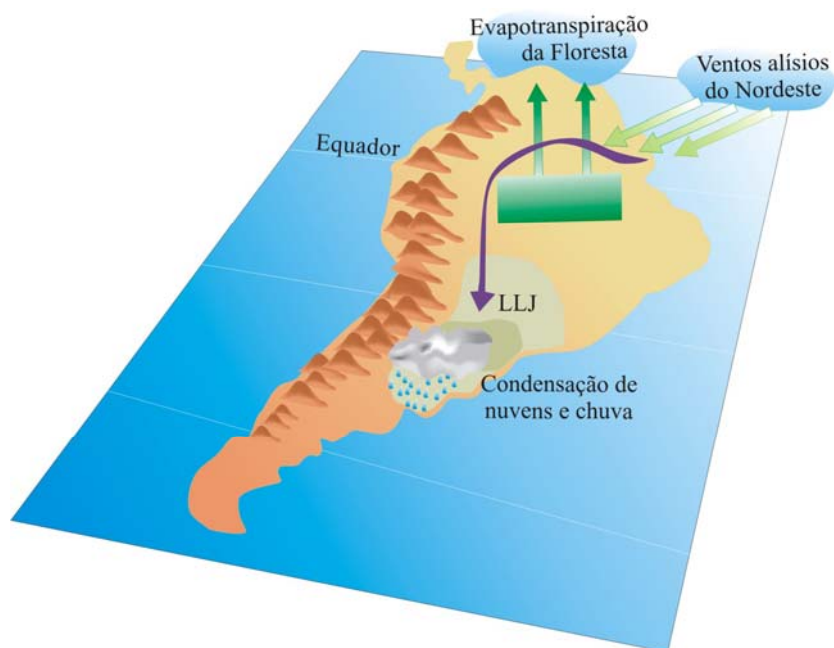


Figura 6: Ventos “jato de baixa altitude sul-americano” (LLJ), atravessam a Amazônia de leste para oeste, são desviados pelos Andes e levam o vapor d’água na direção sul e depois para leste. Fonte: Fearnside (2004).

Tabela 1: Fluxos de água na Amazônia e comparação com a vazão média na foz do rio Amazonas segundo Fearnside (2004).

Descrição	Fluxos (trilhões de m <sup>3</sup> /ano)	Comparação (%)
Ventos alísios do Atlântico para Amazônia	10 (±1)	152
Vazão média do rio Amazonas em sua foz	6,6	100
Precipitação na Bacia hidrográfica do Amazonas	15,05	228
Evapotranspiração	8,43	128
Vapor levado por ventos para outras regiões	3,4 (±1)	52

## 5.4 Nuvens

No movimento do ciclo hidrológico o ar quente ao subir na atmosfera condensa e forma nuvens. Nesse processo há, inicialmente perda da capacidade do ar de conter umidade, que com a elevação e a diminuição da pressão atmosférica resfria. A umidade aumenta até chegar a 100% da sua capacidade, forma pequenas gotículas de água que crescem de tamanho pelo choque com gotas menores. Eventualmente, as gotas podem cair como chuva devido a ação da gravidade.



Os aerossóis que nucleiam a condensação do vapor têm um papel importante no crescimento da nuvem. Se o ambiente é relativamente limpo, não poluído, há poucos núcleos de condensação de nuvens, estes na disputa pelo vapor de água existente, vão crescer ou se tornam solúveis em água, e caem como chuva. A nuvem não tem muito tempo para crescer e chega no máximo a 4 ou 5 km altura e formam nuvens **rasas**. Caso a atmosfera esteja poluída, com um número muito grande de núcleos de condensação de nuvens, como na época de queimadas, a disputa pelo vapor de água disponível aumenta, as gotas crescem pouco e devagar e a nuvem pode nem se formar. Neste caso, as gotas evaporam antes e a água, junto com os aerossóis, não retorna ao chão e é transportada pelos ventos para outros locais. Quando a nuvem consegue se formar pode alcançar 6 ou 7 km de altura, atinge temperaturas muito baixas e tende a congelar as gotas de água e formar pedrinhas de gelo. Estas crescem de forma bastante eficiente, enquanto a nuvem atinge até 10 ou 15 km de altura e formam-se as nuvens **profundas** Cumulonimbus (Artaxo *et al.*, 2005).

Na Amazônia, as chuvas são provocadas por esses dois tipos de nuvens, rasas com 4 a 5km de altitude, se formam na época mais limpa do ano que é a estação chuvosa, e as profundas que podem chegar a 10 ou 15km de altitude, na estação seca. Na época mais seca, quando a atmosfera está poluída pela fumaça das queimadas, apenas raras nuvens profundas são observadas, com muitos relâmpagos e trovões (Andreae *et al.*, 2004). As chuvas provenientes da precipitação de nuvens rasas, na estação chuvosa, devolvem os núcleos de condensação de nuvens à superfície praticamente no mesmo lugar em que foram gerados. Por esta razão, pesquisadores criaram o conceito de que a Amazônia durante a estação chuvosa, consiste em um “oceano verde”, com estrutura de nuvens que lembram áreas oceânicas e não continentais (Roberts *et al.*, 2001).

## 5.5 Aerossóis

Criado por Schumauss (1920) in Alves (2005), o termo aerossol designa as suspensões relativamente estáveis de partículas sólidas ou gotículas, com dimensões inferiores a  $100\mu\text{m}$ , dispersas num gás. Tais suspensões são, frequentemente designadas como aerocolóides, matéria particulada ou, simplesmente, partículas e incluem poeiras, fumos, cinzas, nevoeiros e “sprays”.

Whitby (1973) iniciou o estudo dos aerossóis na tentativa de relacionar o tamanho das partículas com os processos de formação. Introduziu os termos **nucleação** aos aerossóis com  $0,001\text{-}0,1\mu\text{m}$  que resultam da conversão gás-partícula; **acumulação** aos aerossóis com  $0,1\text{-}1\mu\text{m}$  formados por coagulação e condensação heterogênea e partículas **grosseiras** ou de sedimentação que engloba as produzidas por processos mecânicos  $> 1\mu\text{m}$  (Figura 7).

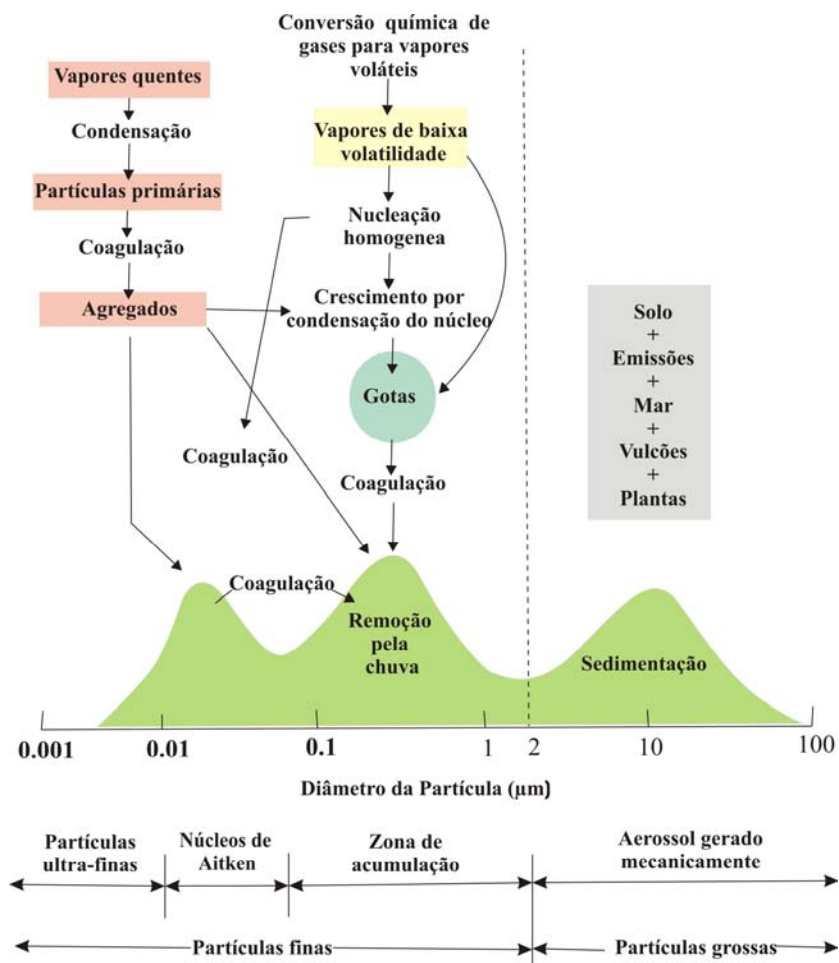


Figura 7. Distribuição do tamanho do aerossol atmosférico (Whitby 1980).

Os aerossóis, ligados ao ciclo hidrológico e provenientes da inter-relação dos componentes bióticos e abióticos do meio, ao constituírem os núcleos de condensação de nuvens juntamente com o vapor de água, influenciam fortemente a composição química da chuva (Roberts *et al.*, 2001, Rizzo *et al.*, 2002 e Andreae *et al.*, 2004). Conforme sua origem e processos de formação são denominados de **primários ou secundários**. As partículas primárias são emitidas por múltiplas fontes naturais ou antropogênicas, abrangem os processos de combustão, erupções vulcânicas, fogos florestais, emanações derivadas de atividades industriais e viárias, o “spray” marinho e alguns materiais biológicos. Uma parte importante dos aerossóis de fontes secundárias resulta de mecanismos de nucleação e condensação, ou seja, da colisão entre moléculas que originam núcleos estáveis e da condensação de produtos gasosos que provocam o seu crescimento e alcançam até 1µm de diâmetro (Alves, 2005).

A região amazônica, por sua localização tropical e intenso metabolismo da floresta, é importante fonte natural de aerossóis, gases e vapor d’água para atmosfera o que favorece alta reatividade química. As áreas alagáveis da floresta emitem parcela importante de dióxido de carbono e metano e são responsáveis por parte da ciclagem de carbono na floresta (Andreae & Crutz, 1997). Além disso, a composição química da atmosfera amazônica é fortemente influenciada na época da seca, pelas emissões de gases e partículas de aerossóis provenientes de queimadas e de desflorestamento com reflexos em nível local, regional e global (Artaxo *et al.*, 2002).

Na estação chuvosa, predominam as emissões naturais antrópicas e a concentração de partículas de aerossóis é da ordem de 10 a 15µg m<sup>-3</sup>, o que equivale a 100 a 300 partículas por cm<sup>-3</sup>. Na estação seca, por causa das queimadas, a concentração em massa passa para 300 a 600µg m<sup>-3</sup>, e o número de partículas sobe para 15.000 a 30.000 cm<sup>-3</sup> (Yamasoe, 1999). A maioria das partículas biogênicas tem diâmetros maiores que 2µm e são constituídas,

principalmente de fungos, esporos, fragmentos de folhas, bactérias, em uma enorme variedade de partículas. A maior parte das partículas tem origem orgânica, com traços de potássio, cálcio, magnésio, enxofre, fósforo, zinco e outros elementos (Artaxo *et al.*, 1990). Elas são solúveis em água o que explica sua propriedade de nucleação de nuvens, atuando como núcleo de condensação de nuvens (Yamasoe, 2000).

Os mecanismos de formação de nuvens na Amazônia são profundamente alterados, quando a concentração de núcleos de condensação de nuvens (NCN) passa de 200 a 300 NCN/cm<sup>3</sup> na estação chuvosa para 5.000-10.000 NCN/cm<sup>3</sup> na estação seca devido, principalmente as emissões de queimadas. As gotas de chuva decrescem de tamanho de 18 a 25 micrômetros para 5 a 10µm, o que diminui a eficiência do processo de precipitação e suprime a formação de nuvens (Artaxo *et al.*, 2005) como visto anteriormente.

## 6. Composição química da água

### 6.1 Água de Chuva

A composição química da água de chuva difere geograficamente entre o litoral e o continente. A tabela 2 mostra a variação da sua composição nos ambientes continental e marinho. Há maior abundância de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Cl}^-$ , nas chuvas oceânicas, enquanto  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{NO}_3^-$  predominam nas continentais em consequência das emissões de aerossóis e gases por esses ambientes. Há influência marinha no continente, porém em menor escala que no litoral (Esteves 1998).

Tabela 2: Variação mínima e máxima em  $\text{mg L}^{-1}$  na composição química da água de chuva de origem continental e marinha (ESTEVES 1998).

PARÂMETRO ( $\text{mg L}^{-1}$ )	CONTINENTAL	MARINHA
$\text{NH}_4^+$	0,1-0,5	0,01-0,05
$\text{Na}^+$	0,2-1,0	1,0-5,0
$\text{K}^+$	0,1-0,5	0,2-0,6
$\text{Ca}^{2+}$	0,2-4,0	0,2-1,5
$\text{Mg}^{2+}$	0,05-0,5	0,4-1,5
$\text{Cl}^-$	0,2-2,0	1,0-10,0
$\text{SO}_4^{2-}$	1,0-3,0	1,0-3,0
$\text{NO}_3^-$	0,4-1,3	0,1-0,5
pH	4,0-6,0	5,0-6,0

Conforme a tabela 3 as águas das chuvas na Amazônia apresentam elevada carga negativa com destaque para  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  (Stallard & Edmond 1983). Furch (1984), que analisou somente os álcalis, encontrou  $\text{Na} \sim \text{Ca}^{2+}$  com maior predomínio em relação ao  $\text{K}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$ . Essa mesma relação de álcalis também foi encontrada por Forti & Moreira Nordemann (1991) enquanto a relação de ânions é similar a Stallard & Edmond (1983).

Águas mais diluídas foram encontradas por Williams *et al.* (1997), com predomínio de  $\text{NO}_3^-$  sobre os demais ânions e de  $\text{H}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+$  especialmente no período seco.

Tabela 3: Concentração média ponderada pelo volume da água de chuva ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) nas proximidades da área de estudo.

Autores	STALLARD & EDMOND (1983)	FURCH (1984)	FORTI & MOREIRA NORDEMANN (1991)		WILLIAMS <i>et al.</i> , (1997)		CORNU <i>et al.</i> , (1998)				ARTAXO <i>et al.</i> , (2006)				
	Manacapuru <sup>(1)</sup>	Manacapuru <sup>(1)</sup>	Floresta <sup>(2)</sup>		Área aberta <sup>(2)</sup>		Manacapuru <sup>(1)</sup>		Capinarana <sup>(3)</sup>		Floresta <sup>(3)</sup>		Balbina <sup>(4)</sup>		Rondônia
Parâmetro ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ )	Total	Total	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Seco
pH	5	-	4,6	4,5	4,6	4,5	5,0	4,5	-	-	-	-	4,9	4,5	4,6
Cond. ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca <sup>2+</sup>	2,2	3,9	6,7	12,9	4,8	6,1	2,4	2,4	-	-	-	-	1,0	4,4	10,8
Na <sup>+</sup>	12,4	4,2	29,5	20,0	3,1	9,6	2,1	3,4	-	-	-	-	2,7	8,9	9,4
K <sup>+</sup>	1,0	2,7	7,9	7,1	0,6	3,6	0,7	1,2	-	-	-	-	1,3	3,7	10,1
Mg <sup>2+</sup>	2,4	1,4	3,2	4,4	0,6	1,5	1,0	0,6	-	-	-	-	0,9	2,8	3,8
H <sup>+</sup>	-	-	-	-	-	-	11,2	31,7	-	-	-	-	12,7	29,2	26,6
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-	-	2,1	11,0	2,4	8,6	1,2	7,4	-	-	-	-	2,8	14,1	18,5
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	10,2	-	10,3	21,2	6,1	14,5	1,6	2,8	-	-	-	-	1,2	4,0	7,3
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2,1	-	-	-	-	-	3,3	6,4	-	-	-	-	4,9	14,9	15,8
Cl <sup>-</sup>	13,7	-	15,3	36,5	7,7	11,8	4,6	4,5	-	-	-	-	5,2	12,5	18,1
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	-	-	-	-	-	-	0,02	0,1	-	-	-	-	0,1	0,2	0,5
F <sup>-</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3	0,6	-
CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,9	9,3	10,4
HCOO <sup>-</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3	0,8	4,3
DOC ( $\mu\text{M L}^{-1}$ )	-	-	-	-	-	-	159	-	-	-	-	-	135,0	191,0	182,0
Fe	0,1	0,6	-	-	-	-	-	-	2,9	1,2	1,8	1,0	-	-	-
Si	0,3	-	-	-	-	-	-	-	5,4	2,4	2,9	4,1	-	-	-
Al	0,2	0,3	-	-	-	-	-	-	5,1	6,3	4,7	4,4	-	-	-

- não analisado

(1) 80Km a oeste de Manaus (3) 50Km a norte de Manaus

(2) Reserva Ducke - Manaus (4) 100km a oeste de Manaus

Forti & Moreira Nordemann (1991) constataram que o pH da água de chuva da Reserva Ducke (área de floresta preservada) em Manaus é similar no período chuvoso (pH = 4,6) e o seco (pH = 4,5).  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  são os cátions e ânions mais abundantes com maior concentração na floresta.

Em Manacapuru/AM entre 1989 a 1990, o pH médio foi similar a Reserva Duque (4,8) e as águas estavam mais concentradas nos períodos de menor precipitação pluviométrica especialmente em  $\text{H}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{Cl}^-$  (Williams *et al.*, 1997). Já Cornu *et al.*, (1998), que analisaram somente Fe, Si e Al constataram, a norte de Manaus, maior concentração de Fe e Si no período chuvoso, tanto na área de Capinarana como na Floresta, enquanto o Al manteve valores similares nos dois períodos e nos dois ambientes.

Artaxo *et al.* (2006), encontraram águas mais concentradas em  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{H}^+$  no período seco, próximo a Manaus, com aumento substancial de  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{SO}_4^-$  em Rondônia. Na Amazônia, independente se a área está ou não impactada, encontraram no período mais seco valores de carbono orgânico dissolvido (DOC) de 182 a 191  $\mu\text{M L}^{-1}$  (Tabela 3). Essas concentrações são maiores que as de regiões industrializadas de São Paulo (94,4  $\mu\text{M L}^{-1}$  - Tabela 5) (Lara *et al.*, 2001). Artaxo *et al.*, (2006) atribui essa alta concentração a extensa área de solo exposto em Rondônia e ao grande número de queimadas na região. As queimadas também alteram a concentração dos ácidos orgânicos na atmosfera por serem fontes de ácidos carboxílicos (Sanhueza *et al.*, 1996).

Freydier *et al.* (2002) em floresta equatorial na África encontraram maiores teores de  $\text{H}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  e pH ácido semelhante as chuvas da região Amazônica. Contudo em florestas de savana além dos íons anteriores o  $\text{Cl}^-$  e o  $\text{Na}^+$  também apresentam concentrações elevadas (Tabela 4).

Tabela 4: Composição média ponderada pelo volume da água de chuva em florestas na África.

FREYDIER <i>et al.</i> (2002)									
PARÂMETRO $\mu\text{eq L}^{-1}$	KOLLO	LAMTO	BANGUI	NSIMI	PARÂMETRO $\mu\text{eq L}^{-1}$	KOLLO	LAMTO	BANGUI	NSIMI
pH	6,2	5,1	4,7	5,0	Al	26,4	2,9	2,8	1,1
Ca <sup>2+</sup>	20,5	4,6	5,0	2,8	Zn	0,23	0,07	0,06	0,18
Na <sup>+</sup>	11,1	5,1	1,1	1,0	Fe	5,4	0,8	1,1	0,3
K <sup>+</sup>	7,1	1,9	1,9	2,2	Sr	0,039	0,009	0,008	0,003
Mg <sup>2+</sup>	5,0	2,3	1,1	1,2	Mn	0,273	0,038	0,038	0,024
H <sup>+</sup>	0,5	7,8	19,0	11,0	Cu	-	-	-	-
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	15,6	18,1	14,6	4,4	Ba	0,043	0,012	0,009	0,003
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	10,9	7,0	6,9	2,1	Ni	-	-	-	-
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	27,0	24,9	29,6	11,9	Rb	0,015	0,003	0,003	0,002
Cl <sup>-</sup>	11,7	7,3	1,9	1,4	V	0,028	0,004	0,004	0,002
CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>	0,5	5,9	6,5	3,2	Pb	0,005	0,001	0,002	0,001
HCOO <sup>-</sup>	0,3	9,1	15,2	5,2	Mo	-	-	-	-

- não analisado; KOLLO (Savana); LAMTO (Floresta densa e Savana); BANGUI e NSIMI (Floresta equatorial).

Chuvas fora da Amazônia tendem a serem mais concentradas em ânions especialmente SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, e Cl<sup>-</sup> e em cátions Ca<sup>2+</sup> e Na<sup>+</sup> (Tabela 5). Contribuem para essa composição tanto fatores naturais como antrópicos. Em área costeira tropical (Bahia), foram encontradas concentrações mais elevadas de Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> atribuída à deposição seca do spray marinho (Tabela 5). Já os teores de H<sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e NH<sub>4</sub><sup>+</sup> são menores devido, provavelmente ao tamponamento causado pelo spray marinho, no caso de H<sup>+</sup> e maior adsorção nas paredes do coletor de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, além de perdas por atividades microbiológicas (Campos *et al.*, 1998).



Tabela 5: Concentração média ponderada pelo volume da água de chuva ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) em diferentes locais no Brasil.

<b>Autores</b>	CAMPOS <i>et al.</i> , (1998)		LARA <i>et al.</i> , (2001)	MELLO (2001)	LEAL <i>et al.</i> , (2004)	CONCEIÇÃO e BONOTTO (2004)	TRESMOND <i>et al.</i> , (2005)		<sup>(1)</sup> MIGLIAVACCA <i>et al.</i> , (2005)			<sup>(2)</sup> MIGLIAVACCA <i>et al.</i> , (2005)		SOUZA <i>et al.</i> , (2006)
<b>Locais</b>	<sup>(a,b)</sup> Bahia		<sup>(a)</sup> São Paulo	<sup>(a)</sup> Rio de Janeiro	<sup>(a)</sup> São Paulo	<sup>(b)</sup> São Paulo	<sup>(a)</sup> São Paulo		<sup>(a)</sup> Rio G.do Sul			<sup>(a,b)</sup> Rio G. do Sul		<sup>(a)</sup> Rio de Janeiro
<b>pH</b>	5,3	5,5	4,5	4,8	5,2	5,5	4,6	4,8	6,1	4,5	5,3	5,7	6,0	5,2
<b>Cond. (<math>\mu\text{S cm}^{-1}</math>)</b>	23,2	30,7	-	-	13,0	15,1	-	-	7,5	5,2	6,4	8,2	12,6	-
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	7,8	15,6	5,3	30,2	10,7	442,5	4,2	7,9	5,0	12,7	8,8	8,4	28,6	9,2
<b>Na<sup>+</sup></b>	110,0	154,0	2,7	62,6	15,0	42,2	4,6	9,3	4,3	6,3	5,3	11,1	16,0	142,2
<b>K<sup>+</sup></b>	4,5	7,0	2,9	11,1	2,6	6,7	6,6	6,0	1,8	1,5	1,7	2,8	6,2	7,1
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	18,9	23,4	2,3	19,5	5,0	65,8	5,1	2,8	2,1	4,5	3,3	3,9	11,2	40,4
<b>H<sup>+</sup></b>	6,8	4,2	33,0	17,0	6,5	-	26,3	15,4	105,0	4,2	54,6	-	-	6,0
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	7,4	1,0	17,1	18,8	37,6	-	12,8	68,1	7,6	4,0	5,8	-	40,9	9,9
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	22,6	25,0	18,7	41,3	24,8	45,8	5,2	24,2	12,2	16,9	14,6	13,2	26,4	34,8
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	6,1	1,1	16,6	15,8	21,2	72,6	22,3	62,8	7,0	3,5	5,2	2,5	4,6	12,0
<b>Cl<sup>-</sup></b>	152,0	203,0	7,0	66,6	8,5	62,2	8,1	15,5	8,3	6,5	7,6	7,0	13,3	178,2
<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	-	-	-	-	-	11,0	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>F<sup>-</sup></b>	-	-	-	-	-	-	-	-	5,9	2,5	4,2	4,4	6,4	-
<b>Alcalinidade</b>	0,9	1,7	-	-	-	22,9	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup></b>	-	-	-	-	16,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>HCOO<sup>-</sup></b>	-	-	-	-	4,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>SiO<sub>2</sub></b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>DOC (<math>\mu\text{M L}^{-1}</math>)</b>	-	-	94,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

- não analisado; (a) deposição úmida; (b) deposição total; (1) Guaíba/RS; (2) Candiota/RS.

Lara *et al.*, (2001), encontra o  $H^+$  como íon mais concentrado e atribui a acidez da água de chuva na bacia do rio Piracicaba origem natural em consequência do carbono orgânico dissolvido (DOC) e  $H^+$  originado da floresta e também influência antrópica para  $H^+$ ,  $SO_4^{2-}$  e  $NO_3^-$  devido o grande número de indústrias e emissões de gases  $NO_x$  durante a queima de biomassa (Tabela 5).

Na região metropolitana do Rio de Janeiro, Mello (2001), determina a seguinte ordem para as concentrações de ânions  $Cl^- > SO_4^{2-} > NO_3^-$  e cátions  $Na^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+} \sim NH_4^+ \sim H^+ > K^+$  e afirma que os teores mais elevados foram encontrados no período seco, exceto  $H^+$ . Essa ordem é diferente da encontrada nas águas de chuvas na Amazonia.

Na região central de São Paulo, a chuva tem maiores concentrações de cátions  $NH_4^+ > Na^+ > Ca^{2+} > H^+ > Mg^{2+} > K^+$  e ânions  $SO_4^{2-} > NO_3^- > CH_3COO^- > Cl^- > HCOO^-$  (Tabela 5). O  $NH_4^+$  atua na neutralização da acidez na água de chuva, com pH médio 5,2, um pouco acima da média da chuva encontrada na Amazonia. Apesar do baixo teor, o  $NO_3^-$  é um forte indicativo de reatividade do meio por processos oxidativos que ocorre na fase aquosa durante o evento de precipitação. O predomínio do ácido acético em relação ao fórmico demonstra a contribuição da emissão veicular (Leal *et al.*, 2004).

Na bacia do rio Corumbataí, São Paulo, o  $Ca^{2+}$  representa 79% do total de cátions, com teor mais elevado que o somatório de ânions, o que neutraliza o pH da água de chuva e da bacia. A concentração de  $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+ > K^+$  na água pluvial segue a mesma química do rio, o que indica grande contribuição da mesma no rio (Conceição & Bonotto 2004). Tresmond *et al.* (2005), indicam que a chuva ácida na região de Paulínia/SP é consequência do ácido nítrico, já que os óxidos de nitrogênio predominam em relação ao ácido sulfúrico e os íons nitrato em relação a íons sulfato.

O  $SO_4^{2-}$  e o  $NH_4^+$  foram os íons mais concentrados nas águas pluviais da bacia hidrográfica de Guaíba/RS, com origem em fontes antrópicas como centrais elétricas de

queima de carvão e fábrica de fertilizantes. O  $\text{Na}^+$  e o  $\text{Cl}^-$  indicam origens marinhas, porém o segundo também provém de fontes antrópicas (<sup>(1)</sup>Migliavacca et al., 2005).

A química da precipitação na região de Candiota/RS mostra que os íons  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  apresentam concentrações médias mais elevadas e indica que os valores de pH da deposição úmida foi mais ácido que da deposição total, fato que pode estar relacionado à presença de carbonatos e hidróxidos acumulados no sistema de coletor total. Foi observado contribuições marinhas para  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Mg}^{2+}$  e antrópicas para  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{NO}_3^-$ , devido a influência da termoelétrica, da queima de biomassa e da agricultura na região (<sup>(2)</sup>Migliavacca et al., 2005).

A seqüência iônica  $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^-$  e  $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ \sim \text{H}^+$  encontrada por Souza *et al.* (2006) na chuva de Ilha Grande/RJ é similar aos ânions encontrados por Mello (2001) na região metropolitana do Rio de Janeiro. Souza *et al.* (2006), atribuíram a origem do  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Mg}^{2+}$  aos aerossóis de sal marinho. Já o  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  aos aerossóis solúveis procedentes da vegetação na região. O excesso de  $\text{SO}_4^{2-}$  seria proveniente do sulfeto dimetila ( $\text{CH}_3\text{SCH}_3$ ) emitido da superfície do mar ou predominantemente de fontes antrópicas como queima de combustíveis fósseis.

## 6.2 Isótopos de Oxigênio e Hidrogênio

Os isótopos de um elemento químico são caracterizados pelo mesmo número atômico e diferentes números de massa. Essa diferença no número de massa é provocada pela variação do número de nêutrons do elemento e condiciona comportamentos distintos em um processo denominado de fracionamento isotópico. Quanto maior a diferença de massa entre eles, maior o fracionamento, que pode ocorrer por mudança de fase ou estado, diferença na taxa de reação química e na velocidade de difusão molecular (Clark & Fritz, 1997).

A quantidade absoluta do isótopo de um elemento em uma amostra é difícil de ser determinada, mas as diferenças relativas entre os isótopos podem ser obtidas pela medida da relação diferencial com espectrômetros de massa. Essa relação diferencial ou concentração isotópica é expressa em partes por mil (‰) entre a razão medida na amostra e a razão medida em um padrão de referência internacional (Clark & Fritz, 1997).

Os isótopos estáveis oxigênio-18 e deutério, por serem parte integrante da molécula de água, tornam-se traçadores naturais ideais para o estudo hidrológico.

As concentrações médias dos tipos mais abundantes presentes em águas naturais são:  $^{16}\text{O}$  (99,763%),  $^{17}\text{O}$  (0,0375%),  $^{18}\text{O}$  (0,1995%),  $^1\text{H}$  (99,9844%),  $^2\text{H}$  (0,0156%) e  $^1\text{H}_2^{16}\text{O}$  (99,7%),  $^1\text{H}_2^{18}\text{O}$  (0,20%) e  $\text{HD}^{16}\text{O}$  (0,032%) (Dansgaard 1964). No entanto, estas concentrações variam em decorrência de mudanças de fase ao longo do ciclo hidrológico.

A distribuição espacial dos isótopos de oxigênio e deutério na água da chuva são ferramentas úteis para traçar fontes de vapor atmosférico e determinar os parâmetros climáticos que controlam a sua distribuição latitudinal e a formação da chuva. O mais importante é a temperatura que controla a condensação, evaporação e variações em pequena escala dos parâmetros microclimáticos (Celle-jeaton *et al.*, 2003 e Saikat, 2006). Reações com a rocha, solo e plantas também provocam fracionamento (Clark & Fritz, 1997). Nesse contexto, a caracterização isotópica das águas permite compreender os processos atuantes na atmosfera e, conseqüentemente em subsuperfície.

Durante a evaporação, as moléculas leves da água ( $^1\text{H}_2^{16}\text{O}$ ) evaporam mais rápido do que as pesadas ( $^1\text{H}_2^{18}\text{O}$  e  $\text{HD}^{16}\text{O}$ ) de modo que a água remanescente se enriquece em isótopos pesados e torna o vapor relativamente mais leve. Na condensação há novo fracionamento, o vapor residual se torna mais pobre em isótopos pesados, enquanto a porção líquida mais rica. Estes dois processos fazem com que sucessivas condensações do mesmo vapor sejam cada

vez mais pobres em isótopos pesados, como acontece nas precipitações à medida que entram no continente (Gonfiantini, 1985).

A composição isotópica das águas de chuva depende de vários fatores ligados à dinâmica do ciclo hidrológico, como origem do vapor d'água, mecanismo de condensação, temperatura, trocas isotópicas entre a gota d'água e vapor do meio ambiente e evaporação durante a precipitação. Esses fatores integram os mecanismos de condensação e evaporação e dão idéia das possíveis variações nas concentrações isotópicas das águas de precipitação (Matsui *et al.*, 1972).

O estudo com isótopos ambientais na Amazônia iniciou com Matsui *et al.* (1972), com o objetivo de calcular a vazão dos rios Negro e Solimões por meio das concentrações de  $^{18}\text{O}$ . Posteriormente, a caracterização da composição e fracionamento isotópico da chuva foi aplicada na elaboração de uma reta meteórica local que considerasse o efeito da evapotranspiração (Dall'Olio *et al.*, 1979; Salati *et al.*, 1979b; Matsui *et al.*, 1983). A reta meteórica para a chuva na Amazônia mostrou que era condicionada principalmente pelos processos de evapotranspiração da floresta (Salati *et al.*, 1979b; Matsui *et al.*, 1983).

Dall'Olio *et al.* (1979), com base em isótopos de  $^{18}\text{O}$  na chuva da região amazônica, determinaram que o processo de evapotranspiração da floresta é responsável por aproximadamente 50% do vapor d'água que forma a precipitação. Salati *et al.*, (1979b) contataram que a floresta tem papel fundamental no balanço hídrico da região, que a bacia amazônica não é homogênea isotopicamente, com tendência a ser mais positiva na porção mais norte mas sem relação com o clima.

Leopoldo *et al.* (1980) com base em medidas em laboratório de plantas irrigadas com soluções de diferentes valores de  $^2\text{H}$  e  $^{18}\text{O}$ , observaram que na medida em que a água circula pela vegetação há fracionamento decrescente do isótopo leve e conseqüentemente retenção de isótopos pesados entre a folha > raiz > água. Isso faz com que a evapotranspiração libere mais

<sup>16</sup>O. O enriquecimento em isótopos pesados é maior no período diurno e diretamente proporcional à temperatura do ar, mas inversamente proporcional à umidade relativa. Posteriormente, Leopoldo *et al.*, (1982) ainda na bacia modelo, em área experimental próximo ao Km 14 da estrada ZF-2 entre Manaus e Caracaraí, mostraram que os conteúdos isotópicos da água de chuva variam com a estação do ano, sendo mais rica no fim de abril até início de novembro.

## 7. Materiais e Métodos

A amostragem foi feita uma vez ao mês entre janeiro e dezembro de 2006, totalizando 82 amostras, sendo 12 por local, exceto em Manaus que foram coletadas 24, 12 em campo aberto e 12 em área de floresta. Em Boa Vista e Apuí não choveu em fevereiro e junho respectivamente, o que gerou somente 11 amostras em cada um desses locais. As amostras de Manaus foram retiradas no Mini Campus da Universidade Federal do Amazonas, uma no interior da floresta, abaixo das copas das árvores e a outra em área aberta. No restante dos municípios, Boa Vista, Apuí, Tabatinga, Itapiranga e Parintins, foram coletadas amostras somente em área aberta, sem influência da floresta. Essas amostras foram conservadas em uma caixa de isopor até chegada a Manaus por via terrestre, aérea ou fluvial.

Os coletores montados eram constituídos de uma garrafa de 600ml acoplada a um funil de 12cm de diâmetro, com tela protetora de malha de nylon na parte superior. O conjunto foi fixado no solo por estaca de madeira a um metro e meio da superfície. O método de coleta adotado foi de deposição úmida, com menor interferência de poeiras terrestres, pois inclui somente a fração que é retirada da atmosfera durante a chuva. Os coletores foram colocados pouco antes do evento chuvoso e retirados logo após.

As garrafas e os funis foram, inicialmente lavados com solução 3:1 de ácido clorídrico e ácido nítrico e logo após colocados em banho de ácido nítrico 2,5% (v/v) por 24 horas. Cada material foi enxaguado cinco vezes com água deionizada  $0,2\mu\text{S cm}^{-1}$ . Até o momento da coleta as garrafas permaneceram cheias de água deionizada para evitar contaminação. A qualidade da água de lavagem e banho foi determinada pela condutividade, considerada “pura” quando esta era  $<1\mu\text{S cm}^{-1}$  o que garantiu a sua capacidade de manter limpos os materiais utilizados para a coleta. Após a coleta a amostra foi filtrada usando um millex de  $0,45\mu\text{m}$  acoplado a uma seringa de injeção obtendo três alíquotas, uma para cátions, que foi conservada com  $\text{HNO}_3$  bidestilado para minimizar a formação de colóides e precipitados,

outra para ânions e a terceira para isótopos de oxigênio e hidrogênio. Todos os frascos foram mantidos na geladeira até o momento das análises.

Foram determinados os parâmetros de pH e condutividade por potenciometria e alcalinidade por titulação, no laboratório de geoquímica da Universidade Federal do Amazonas.  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{F}^-$  e  $\text{SiO}_2$  por cromatografia iônica e  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ , Al, Zn, Fe, Sr, Cu, Mn, Ba, Ni, Pb, Rb, Mo e V por ICP-MS no laboratório de geoquímica da Université Paul Sabatier, Toulouse, França. As amostras de isótopos de oxigênio e deutério foram coletadas em intervalos de dois em dois meses e analisadas no laboratório LFNA da Universidade Federal da Bahia.

Os parâmetros de pH e condutividade foram medidos após a coleta somente em Manaus e nos demais locais depois de dez dias no máximo. Para verificar a qualidade dos resultados foi feito um estudo prévio em laboratório com medidas diárias desses dois parâmetros durante trinta dias seguidos. A variação nos valores de pH entre 4,2 a 4,7 e condutividade entre 7,5 a 6,1  $\mu\text{S cm}^{-1}$  foi considerada aceitável para este trabalho.

Para o cálculo do balanço iônico da água de chuva foi utilizada a média ponderada pelo volume (MPV), que ajusta a influência de concentrações muito altas que ocorrem em pequenos volumes de chuvas, bem como os efeitos da diluição das mesmas em chuvas muito intensas. No cálculo da MPV é levado em consideração o volume de cada evento de precipitação, e a média da concentração do elemento é calculada de maneira ponderada em relação ao volume total de chuva no local, conforme a equação abaixo.

$$\text{MPV} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i V_i}{\sum_{i=1}^n V_i}$$

Onde:

MPV = média ponderada pelo volume;

$C_i$  = concentração do elemento determinada no evento  $i$ ;

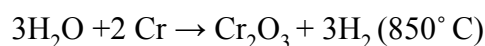


$V_i$  = volume de precipitação (mm) no evento  $i$ .

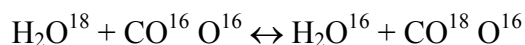
As concentrações de  $H^+$  foram calculadas a partir dos valores de pH, usando a seguinte equação:  $pH = -\log [H^+]$ . O pH MPV (média ponderada pelo volume) foi calculado a partir dos valores das concentrações médias ponderadas  $H^+$  pelo volume de chuva, para os eventos de precipitação em cada local amostrado conforme a equação acima.

### **Isótopos de Oxigênio e Deutério**

Para determinar a razão deutério-hidrogênio ( $^2H/^1H$ ), foi utilizado o método de Brand et al. (2000), que propõe a transformação da água em hidrogênio pela redução da água a centenas de graus Celsius com cromo metálico. Alíquotas de  $\approx 1,0\mu l$  de cada amostra de água são injetadas em um reator (HDevice da Thermofinnigan), onde ocorre a reação de oxidação do cromo a  $850^\circ C$ , com conseqüente liberação do  $H_2$ , como pode ser visto na equação abaixo. O  $H_2$  liberado entra no espectrômetro de massas onde é analisado com respeito a um gás referência de  $H_2$ .



A técnica utilizada para determinar os valores de  $\delta^{18}O$  na água é a proposta por Epstein & Mayeda (1953), que consiste no equilíbrio isotópico entre o gás carbônico e a água ( $CO_2-H_2O$ ) numa temperatura, geralmente, de  $25,0\pm 0,1^\circ C$  por pelo menos 8h. A reação de equilíbrio isotópico ocorre da seguinte maneira:



No método do LFNA-UFBA, foram utilizados 3ml de água e 5ml de  $CO_2$ , com pressão um pouco acima de 1atm, em uma seringa de vidro com uma gota de ácido sulfúrico para ajudar na reação. Essas seringas são acondicionadas em um banho ultratermostático na temperatura acima mencionada onde fica de um dia para o outro, respeitando o período mínimo de 8 horas. O  $CO_2$  resultante desse equilíbrio é extraído para uma linha de purificação de  $CO_2$  de alto vácuo onde são retiradas as impurezas (umidade e gases) e, posteriormente

capturado num porta-amostra. Então é levado para o espectrômetro de massas onde os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  são obtidos com respeito a um padrão de referência internacional (VSMOW). Para controle da qualidade das medidas, foram utilizados padrões secundários acompanhando cada lote, que é composto de amostras com composição isotópica conhecida e referenciada em relação ao VSMOW.

As concentrações isotópicas de oxigênio e hidrogênio foram determinadas experimentalmente por meio das razões do isótopo de menor abundância ( $^{18}\text{O}$  e  $^2\text{H}$ ) com o de maior abundância ( $^{16}\text{O}$  e  $^1\text{H}$ ) em relação ao padrão “Viena Standard Mean Ocean Water” (VSMOW) com razões  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O} = 2,005 \times 10^{-3}$  e  $^2\text{H}/^1\text{H} = 1,56 \times 10^{-3}$ . As razões das variações isotópicas são expressas em valores de  $\delta(\text{‰})$  definido pelas equações:

$$\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O}_{\text{amostra}} = \frac{^{18}\text{O}/^{16}\text{O}_{\text{amostra}} - ^{18}\text{O}/^{16}\text{O}_{\text{padrão}}}{^{18}\text{O}/^{16}\text{O}_{\text{padrão}}} \times 1000$$

$$\delta^2\text{H}/^1\text{H}_{\text{amostra}} = \frac{^2\text{H}/^1\text{H}_{\text{amostra}} - ^2\text{H}/^1\text{H}_{\text{padrão}}}{^2\text{H}/^1\text{H}_{\text{padrão}}} \times 1000$$

## Cálculo da origem dos elementos

### Marinha

Para estimar a origem marinha do  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ , foi usada a concentração de  $\text{Na}^+$  como íon de referência (Keene, 1986). Esta parcela de contribuição marinha pode ser calculada pela seguinte equação:

$$[\text{X}]_{\text{mar}} = [\text{Na}^+]_{\text{chuva}} \times \{[\text{X}]/[\text{Na}^+]\}_{\text{mar}},$$

onde:

$[\text{X}]_{\text{mar}}$  = a concentração dos íons determinada nas águas de chuva, cuja origem é atribuída ao mar;

$[\text{Na}^+]_{\text{chuva}}$  = a concentração do íon  $\text{Na}^+$  determinada na água de chuva;

$\{[\text{X}]/[\text{Na}^+]\}_{\text{mar}}$  = a razão entre as concentrações de íons X e  $\text{Na}^+$ , na água do mar e

X = a concentração do íon em  $\mu\text{eq L}^{-1}$ .

A origem não marinha, oriunda de outras fontes naturais ou antrópicas pode ser calculada pela equação abaixo:

$$[\text{X}]_{\text{excesso}} = [\text{X}]_{\text{total}} - [\text{X}]_{\text{mar}},$$

onde:

$[\text{X}]_{\text{total}}$  = a concentração do íon X determinada na água de chuva e

$[\text{X}]_{\text{mar}}$  = a concentração atribuída a água do mar.

### **Crustal**

O fator de enriquecimento representado pela equação abaixo calcula a concentração do elemento em relação à crosta superior, onde o Al (81.000ppm) foi escolhido como elemento referência para caracterizar a crosta por ter baixa mobilidade. Os valores do FE entre 1 a 10 foram considerados como não enriquecidos, com FE entre 10 a 100 como elementos moderadamente enriquecidos e com  $\text{FE} > 100$  elementos altamente enriquecidos em relação à crosta.

$$\text{FE} = \frac{\text{C}_{\text{chuva}} \times \text{CAI}_{\text{crosta}}}{\text{C}_{\text{crosta}} \times \text{CAI}_{\text{chuva}}}$$

## 8. Resultados e Discussão

### 8.1 Índice Pluviométrico

As localidades estudadas são regidas por períodos pluviométricos distintos. A sul do Equador, o período mais chuvoso compreende os meses de novembro a maio e o mais seco no restante do ano. Em Boa Vista, a norte, o ciclo pluviométrico é invertido, os mais chuvosos vão de maio a setembro. Regionalmente Manaus e Parintins foram às cidades onde mais choveu, entre janeiro e dezembro de 2006, com 2.452mm/ano seguido de Apuí com 2.081mm/ano. Tabatinga apresentou o menor índice pluviométrico (1737mm/ano), mas teve distribuição mais homogênea durante o ano, com menores índices nos meses de junho e julho com 66,8 e 56,1mm respectivamente (Figura 8).

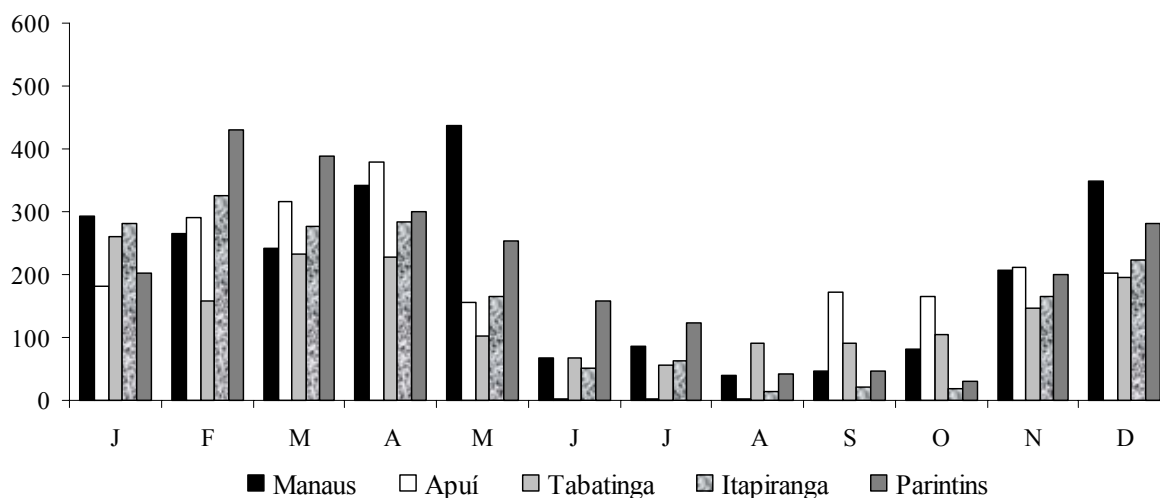


Figura 8: Valores do índice pluviométrico (mm) nos locais amostrados.

Há também variações em relação ao mês mais chuvoso, em Manaus a máxima foi em maio (437 mm/ano), em Apuí em abril (379 mm/ano), em Tabatinga em janeiro (261 mm/ano) e em Itapiranga e Parintins em fevereiro (325 e 429 mm/ano) (Figura 8). Isso está relacionado ao deslocamento em janeiro da massa equatorial continental (mEc), situada a noroeste do estado (Tabatinga) em direção a porção sudoeste e sudeste trazendo maior pluviosidade. Além disso à medida que ocorre o deslocamento da mEc, há um avanço da

massa equatorial atlântica (mEa) que resulta no aumento de chuva na porção este do estado (Parintins e Itapiranga).

Na estiagem, entre junho e agosto, praticamente não choveu em Apuí com valores entre 2 e 2,9 mm/mês e em agosto a outubro em Itapiranga com 13 a 21 mm/mês. Esse fato inviabilizou a coleta de amostra no mês de junho em Apuí (Figura 8).

Boa Vista, com 1992 mm/ano teve maio como mês mais chuvoso, com 562mm, e a estiagem maior em fevereiro o que impediu obter amostra nesse mês. Dezembro e março com 3,1 e 7,7mm/mês respectivamente foram, também bem secos (Figura 9).

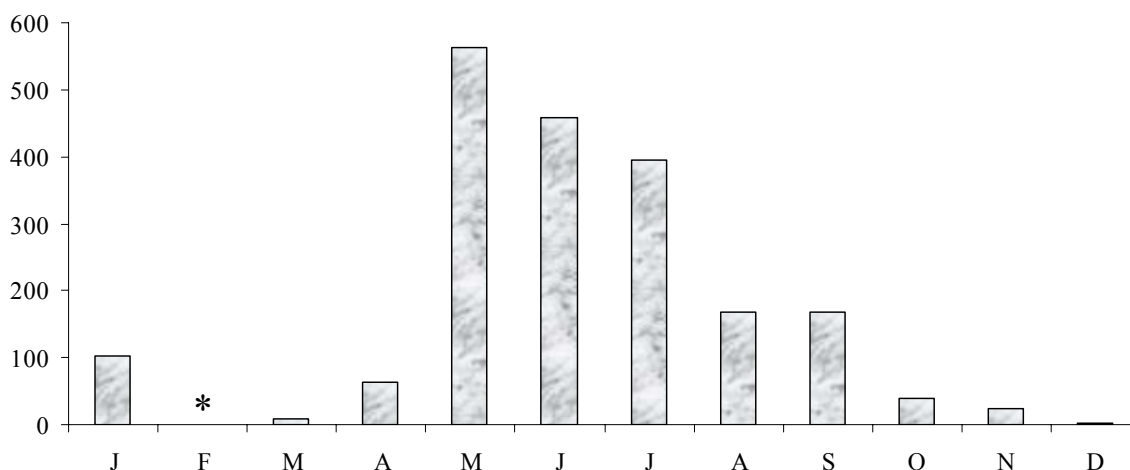


Figura 9: Valores do índice pluviométrico (mm) em Boa Vista.  
\* Não choveu em Boa Vista no mês de fevereiro

A distribuição pluviométrica mostra que de Boa Vista para a porção sul do Amazonas, em Apuí, há um deslocamento do período mais seco de dezembro a abril para junho a agosto, enquanto de oeste para leste o período seco é menor e mais cedo em Tabatinga (junho e julho) e um pouco mais extenso em Itapiranga e Parintins (agosto a outubro). Este fato está relacionado ao recuo das massas equatorial continental (mEc) e equatorial atlântica (mEa), de junho e julho, ocasionando elevado índice pluviométrico em Boa Vista e maior estiagem na porção sul e leste do Amazonas, conforme figura 4 A-B.

## 8.2 Parâmetros Físicos e Químicos

### 8.2.1 pH

O pH encontrado nas águas de chuva foi no geral ácido, menor que 5,9. Tabatinga apresentou valor mais alto de novembro a março, entre 5,2 e 5,9, seguido de Parintins entre 4,9 e 5,8, enquanto em Itapiranga foram os mais ácidos, entre 2,8 a 4,5. Em Boa Vista e Apuí os valores foram intermediários, variaram de 4,0 a 5,1 e 4,3 a 5,2, respectivamente. Deve-se destacar que em Manaus, a chuva abaixo da copa das árvores foi em geral mais ácida do que as de campo aberto e que na estação seca, nos meses de junho a outubro em Manaus, Apuí, Tabatinga, Itapiranga e Parintins os valores de pH são mais ácidos que na estação chuvosa.

A menor variação de pH nos locais amostrados foram de junho e julho entre 3,7 e 4,9, porém desconsiderando Boa Vista, agosto e setembro tiveram pH ainda mais homogêneos, entre 3,8 a 4,5. O pH foi consideravelmente mais alcalino, aproximadamente 5 em Boa Vista entre agosto e outubro, final do período chuvoso, assemelhando-se aos valores de Tabatinga e Parintins entre janeiro e maio, período mais chuvoso. De outubro a dezembro Tabatinga e Parintins voltaram a ter pH mais elevados que as demais localidades no mesmo período, porém mais ácidos que no início do ano (Figura 10).

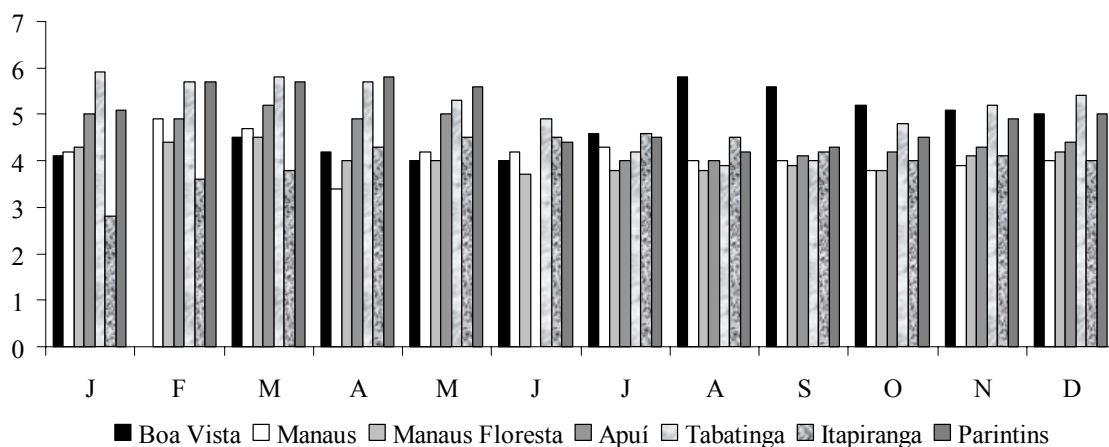


Figura 10: Valores mensais de pH nos locais amostrados.

\* Não choveu em Boa Vista no mês de fevereiro e em Apuí no mês de junho.

Esses dados estão compatíveis com outros trabalhos na região realizados por Artaxo *et al.* (2006), Williams *et al.* (2007), Forti & Moreira Nordeman (1991) e Stallard & Edmond (1983) e indicam que há uma relação direta entre a diminuição da intensidade pluviométrica e a maior acidez da água, que pode estar relacionada às queimadas que conforme Lioussé *et al.* (2004) liberam vários gases para atmosfera como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O. Também contribuem com emissões significativas de CO, NO<sub>2</sub>, hidrocarbonetos não metano (HCNM), Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>CH<sub>3</sub> e compostos orgânicos voláteis (VOCs) (Andreae *et al.*, 2002). O aerossol vegetal também contribui com ácidos orgânicos na água.

### 8.2.2 Cátions, Ânions e SiO<sub>2</sub>

Para validação dos resultados das análises de água de chuva foi utilizado o balanço iônico das concentrações dos cátions H<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> e Mg<sup>2+</sup> e ânions SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e Cl<sup>-</sup> que considera o produto das cargas pela concentração (µeq L<sup>-1</sup>) de cada íon. O balanço iônico obtido pela equação:  $BI (\%) = (\Sigma^+ + \Sigma^-) / (\Sigma^+ - \Sigma^-) \times 100$ , mostra déficit de ânions em 78 amostras das 81 analisadas, exceto em Boa Vista no mês de novembro, Apuí em maio e Tabatinga em abril. Esse déficit na carga negativa varia de 1,4 a 96,5%, entre os pontos amostrados (Tabela 6). Esse desbalanço na química da água de chuva com excesso de cátions em relação a ânions é também observado em Williams *et al.* (1997); Lara *et al.* (2001); Mello (2001); Freydier *et al.* (2002); Conceição & Bonotto (2003) e Artaxo *et al.* (2006).

Tabela 6: Composição química mensal dos cátions, ânions e SiO<sub>2</sub> da água de chuva (μeq L<sup>-1</sup>) nos locais amostrados.

Locais	Meses	PPT (mm)	pH	Cond. (μs cm <sup>-1</sup> )	CÁTIONS (μeq L <sup>-1</sup> )					ÂNIONS (μeq L <sup>-1</sup> )					Σ <sup>+</sup>	Σ <sup>-</sup>	Σ <sup>+</sup> /Σ <sup>-</sup>	BI (%)	
					H <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	F <sup>-</sup>					SiO <sub>2</sub>
BOA VISTA	J	101,7	4,1	2,9	79	17	7	2	2	3	8	10	<LD	<LD	0,6	107	20	5,3	68,3
	F	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	M	7,7	4,5	10,9	31	41	89	11	8	14	40	113	<LD	<LD	6,2	180	167	1,1	3,9
	A	63,8	4,2	2,9	63	9	11	2	0,5	<LD	1	5	<LD	<LD	0,8	85	6	14,3	86,9
	M	562,3	4	5,1	100	10	12	2	3	4	4	15	<LD	<LD	0,2	127	22	5,7	70,0
	J	459,2	4	12,2	100	426	207	13	32	3	6	16	<LD	<LD	4,2	778	25	31,4	93,8
	J	395,7	4,6	4,1	25	6	6	2	1	3	6	4	<LD	<LD	0,6	40	12	3,2	52,9
	A	167,2	5,8	3,1	1,6	4	10	2	1	3	<LD	1	<LD	<LD	<LD	18	4	4,3	62,4
	S	168,8	5,6	5,4	2,5	9	11	2	1	3	<LD	2	<LD	<LD	<LD	25	4	5,7	70,0
	O	39,4	5,2	5,4	6,3	3	27	1	1	9	<LD	3	<LD	<LD	<LD	38	12	3,0	50,5
	N	23,2	5,1	5,3	7,9	6	9	3	1	5	15	8	<LD	<LD	0,2	27	28	1,0	-2,1
	D	3,1	5	5,9	10	7	17	4	1	3	5	5	<LD	<LD	0,2	38	14	2,8	47,5
MPV	-	4,2	6,2	63,0	104,9	55,8	4,4	8,7	3,2	4,3	10,2	<LD	<LD	1,2	237	18	13	86	
MANAUS	J	293	4,2	7,5	63	69	26	4	6	8	10	8	<LD	<LD	0,6	168	27	6,3	72,7
	F	265,5	4,9	6,4	12	7	1	1	1	11	<LD	2	<LD	<LD	0,5	22	13	1,7	26,3
	M	241,8	4,7	7,1	19	15	17	2	3	14	9	15	<LD	<LD	0,9	57	38	1,5	19,9
	A	342,8	3,4	14,3	398	17	12	2	2	22	17	3	<LD	<LD	0,3	430	43	10,0	81,9
	M	437,2	4,2	4,9	63	17	11	2	1	5	<LD	4	<LD	<LD	0,3	94	9	10,0	81,8
	J	67,9	4,2	5	63	44	9	3	4	11	<LD	6	<LD	<LD	1	123	18	7,0	74,9
	J	84,9	4,3	5,7	50	80	29	11	13	89	37	28	<LD	<LD	3	183	154	1,2	8,6
	A	38,7	4	6	100	110	26	10	10	93	51	83	<LD	<LD	2	256	227	1,1	5,9
	S	46,5	4	7,5	100	150	81	14	18	88	38	24	<LD	<LD	2	364	149	2,4	41,9
	O	80,4	3,8	10,5	158	164	21	8	8	89	36	19	<LD	<LD	1	361	144	2,5	43,0
	N	205,9	3,9	11	125	19	13	3	5	9	15	11	<LD	<LD	1	166	36	4,6	64,5
	D	347,9	4	9	100	20	14	3	5	9	18	12	<LD	<LD	1	143	39	3,7	57,0
MPV	-	3,9	8,3	114,6	34,3	15,4	3,2	4,1	19,0	12,3	10,1	<LD	<LD	0,7	172	41	4,1	61	
MANAUS FLORESTA	J	293	4,3	15,7	50	45	41	13	20	55	6	29	4,66	1,06	1,5	169	90	1,9	30,3
	F	265,5	4,4	11,4	39	50	12	30	10	35	4	4	<LD	<LD	2	141	43	3,3	53,8
	M	241,8	4,5	21,8	31	102	13	18	23	69	6	21	<LD	<LD	8	188	97	1,9	31,8
	A	342,8	4	16,9	100	36	9	14	22	31	18	3	<LD	<LD	1	181	52	3,5	55,6
	M	437,2	4	21,1	100	81	25	19	22	75	6	10	<LD	<LD	2	247	91	2,7	46,2
	J	67,9	3,7	20,1	199	958	98	53	33	118	19	22	27,89	<LD	3	1343	159	8,4	78,8
	J	84,9	3,8	18	158	2437	117	44	78	170	77	79	<LD	4,37	8	2835	326	8,7	79,4
	A	38,7	3,8	18	158	2001	108	38	82	169	71	70	<LD	4,68	8,6	2387	310	7,7	77,0
	S	46,5	3,9	20	125	261	62	45	82	168	69	41	<LD	4,16	9	575	279	2,1	34,7
	O	80,4	3,8	20,8	158	840	83	36	55	169	72	70	<LD	<LD	6	1173	310	3,8	58,2
	N	205,9	4,1	16,1	79	34	27	10	9	26	19	16	<LD	<LD	1	160	61	2,6	44,5
	D	347,9	4,2	15,3	63	33	27	10	9	26	18	16	<LD	<LD	1	142	59	2,4	41,1
MPV	-	4,1	17,4	81,9	222,8	31,7	20,0	22,9	61,3	17,4	19,3	1,3	0,4	2,8	379	98	3,8	58	
APUÍ	J	180,8	5	2,1	10	48	18	2	2	8	<LD	8	<LD	<LD	0,3	79	17	4,7	65,1
	F	290,3	4,9	9,7	12	49	18	2	2	4	<LD	5	<LD	<LD	0,3	83	9	9,2	80,4
	M	315,8	5,2	10,1	6,3	19	74	6	3	27	2	23	15,47	<LD	0,5	108	52	2,1	34,6
	A	379,6	4,9	2,6	12	6	5	1	0,5	2	<LD	4	<LD	<LD	<LD	25	5	4,8	65,7
	M	156,9	5	17,2	10	7	6	1	1	70	2	6	44,26	<LD	<LD	25	78	0,3	-52,1
	J	2,9	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	J	2	4	4,5	100	7	12	1	1	5	2	9	<LD	<LD	<LD	121	16	7,4	76,1
	A	2,5	4	18,7	100	11	73	5	2	49	15	12	43	<LD	0,2	192	76	2,5	43,4
	S	171,1	4,1	17,6	79	14	166	6	7	80	17	15	83	<LD	0,5	271	112	2,4	41,7
	O	164,8	4,2	16,8	63	13	210	4	3	42	10	10	<LD	<LD	0,2	294	61	4,8	65,6
	N	211,9	4,3	15,8	50	10	102	3	2	52	3	11	<LD	<LD	2,6	166	67	2,5	42,8
	D	202,8	4,4	17,8	39	11	133	3	1	27	5	5	<LD	<LD	0,3	188	38	5,0	66,6
MPV	-	4,6	11,0	27,3	19,7	70,5	2,9	2,0	28,8	3,5	9,8	12,6	<LD	0,5	122	42	2,9	48	



Continuação da Tabela 6.

Locais	Meses	PPT (mm)	pH	Cond. ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	CÁTIONS ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ )					ÂNIONS ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ )					$\Sigma^+$	$\Sigma^-$	$\Sigma^+/\Sigma^-$	BI (%)	
					H <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	F <sup>-</sup>					SiO <sub>2</sub>
TABATINGA	J	261,2	5,9	5	1,2	9	11	2	1	6	<LD	6	<LD	<LD	<LD	24	11	2,1	36,4
	F	159,2	5,7	5	1,9	9	15	3	1	6	<LD	5	<LD	<LD	<LD	30	11	2,6	44,4
	M	233,1	5,8	5	1,5	9	17	2	1	5	<LD	13	<LD	<LD	1,1	30	18	1,6	24,2
	A	227,8	5,7	4,6	1,9	2	1	0,2	0,2	<LD	56	<LD	<LD	<LD	0,1	5	56	0,1	-84,6
	M	102,9	5,3	5,1	5,0	26	19	3	2	3	<LD	1	<LD	<LD	1,5	56	4	13,6	86,3
	J	66,8	4,9	2,9	12	11	8	2	2	3	<LD	6	<LD	<LD	0,6	35	9	4,0	60,1
	J	56,1	4,2	3,6	63	8	2	2	1	3	9	2	<LD	<LD	0,2	75	14	5,4	68,6
	A	91,6	3,9	4,2	125	8	3	2	1	4	8	2	<LD	<LD	0,1	141	14	10,1	82,0
	S	91,7	4,0	5,5	100	8	2	2	1	4	10	2	<LD	<LD	0,1	112	15	7,3	76,0
	O	104,8	4,8	5,6	15	7	2	2	1	4	11	2	<LD	<LD	0,2	28	17	1,6	23,3
	N	147	5,2	5,5	6,3	6	2	2	1	1	2	4	<LD	<LD	0,3	18	7	2,6	44,6
	D	194,8	5,4	6	3,9	5	1	2	1	1	2	2	<LD	<LD	0,2	13	5	2,7	45,9
MPV	-	4,8	5,0	17,5	8,1	7,7	1,7	1,1	3,4	9,6	4,3	<LD	<LD	0,3	36	17	2,1	35	
ITAPIRANGA	J	280,9	2,8	10,4	1584	37	36	7	6	4	24	8	<LD	<LD	1,0	1670	37	45,4	95,7
	F	325,3	3,6	5,8	251	9	10	2	2	2	0	3	<LD	<LD	0,4	274	5	55,8	96,5
	M	276,1	3,8	5,7	158	14	9	3	5	6	7	18	<LD	<LD	0,2	188	31	6,1	71,8
	A	284	4,3	3,8	50	10	6	4	2	3	<LD	<LD	<LD	<LD	0,8	71	3	22,2	91,4
	M	165,1	4,5	3,9	31	5	1	2	1	4	3	10	<LD	<LD	0,1	40	17	2,4	40,9
	J	50,8	4,5	4,1	31	5	2	2	1	2	3	1	<LD	<LD	0,0	41	7	5,7	70,2
	J	62,5	4,6	12,2	25	22	10	44	7	6	1	11	<LD	<LD	71,8	108	18	5,9	71,2
	A	13,8	4,5	4,5	31	7	3	4	1	2	3	2	<LD	<LD	0,7	46	7	6,8	74,5
	S	21,8	4,2	11,0	63	22	11	44	7	6	4	10	<LD	<LD	72,1	147	21	7,1	75,2
	O	17,8	4,0	5,2	100	4	11	5	2	7	11	8	<LD	<LD	2,2	122	25	4,9	65,9
	N	164	4,1	5,6	79	4	11	5	2	6	7	9	<LD	<LD	15,6	101	22	4,7	64,7
	D	222,9	4,0	6,0	100	7	11	10	4	5	5	9	<LD	<LD	15,6	131	19	7,0	75,1
MPV	-	3,5	6,2	335,2	13,3	12,3	6,2	3,2	4,2	6,4	7,7	<LD	<LD	6,8	370	18	20	90	
PARINTINS	J	203	5,1	4	7,9	24	33	3	3	1	9	5	<LD	<LD	0,5	71	16	4,6	64,2
	F	429,4	5,7	5,7	1,9	12	8	2	3	5	4	11	<LD	<LD	0,9	27	21	1,3	13,5
	M	388,6	5,7	4,4	1,9	34	25	4	6	3	2	17	<LD	<LD	2,0	71	23	3,1	51,2
	A	299	5,8	6	1,5	18	8	2	3	6	6	8	<LD	<LD	0,5	32	20	1,6	22,3
	M	253,9	5,6	4,1	2,5	16	7	2	3	3	4	3	<LD	<LD	0,5	31	10	3,0	49,5
	J	157,6	4,4	5,7	39	21	5	2	3	7	4	13	<LD	<LD	0,6	71	24	3,0	50,0
	J	123,3	4,5	8,2	31	32	4	2	4	5	6	5	<LD	<LD	1,7	75	16	4,8	65,4
	A	41	4,2	7,1	63	10	17	2	2	11	2	6	6,6	<LD	0,1	93	20	4,6	64,5
	S	45,4	4,3	8,8	50	25	5	2	3	26	2	54	<LD	1,1	0,5	84	82	1,0	1,4
	O	29,7	4,5	7,1	31	13	7	3	3	6	12	7	<LD	<LD	0,4	57	24	2,3	40,3
	N	199,5	4,9	7,2	12	21	8	4	4	8	10	8	<LD	<LD	0,5	50	26	1,9	30,7
	D	282	5	8,3	10	24	47	3	6	21	9	14	<LD	<LD	0,8	90	44	2,0	34,3
MPV	-	5,0	5,9	10,4	21,6	16,9	2,7	3,9	7,0	5,7	11,0	0,1	0,02	0,9	56	24	2,3	40	

\* não choveu;

< LD - menor que o limite de detecção;

MPV - Média ponderada pelo volume de chuva;

OBS: Os valores de alcalinidade foram abaixo do limite de detecção para todas as estações.

Esta variação do balanço iônico, que é mais acentuada em Itapiranga e Boa Vista, pode estar relacionado ao tempo de amostragem, variações de temperatura e a concentração dos ácidos orgânicos como acetato (CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>) e formiato (HCOO<sup>-</sup>) que não foram analisados. Esses compostos estão presentes na água da chuva de florestas tropicais úmidas com concentrações individuais médias na faixa de 3 a 15  $\mu\text{eq L}^{-1}$  (Williams *et al.*, 1997 e

Freydier *et al.*, 2002). A baixa concentração dos elementos nas águas analisadas também justifica esse desbalanço.

Dentre os cátions nas águas das chuvas nos locais estudados,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Na}^+$  são em média os que possuem maiores teores, seguidos do  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{H}^+$ . Contudo há variação nesse padrão geral (Figura 11).

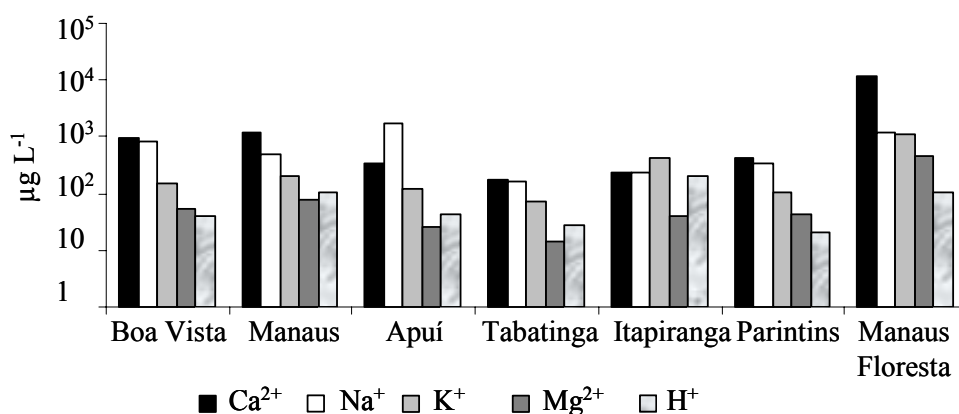


Figura 11: Valores médios de cátions nos locais amostrados.

Boa Vista apresenta maiores concentrações de cátions em março e junho ( $\text{Ca}^{2+}$  818 e 8536  $\mu\text{g L}^{-1}$ ,  $\text{Na}^+$  2051 e 4764  $\mu\text{g L}^{-1}$ ,  $\text{K}^+$  431 e 495  $\mu\text{g L}^{-1}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  94 e 394  $\mu\text{g L}^{-1}$  e  $\text{H}^+$  2 e 100  $\mu\text{g L}^{-1}$ ), o  $\text{Na}^+$  predomina sobre os demais durante quase todo o ano, exceto em janeiro e junho onde  $\text{Ca}^{2+}$  é maior. O  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{H}^+$  são os parâmetros com teores mais baixos, principalmente entre julho e dezembro. O  $\text{H}^+$  supera o  $\text{Mg}^{2+}$  em janeiro e de abril a julho quando as águas tornam-se mais ácidas (Figura 12A).

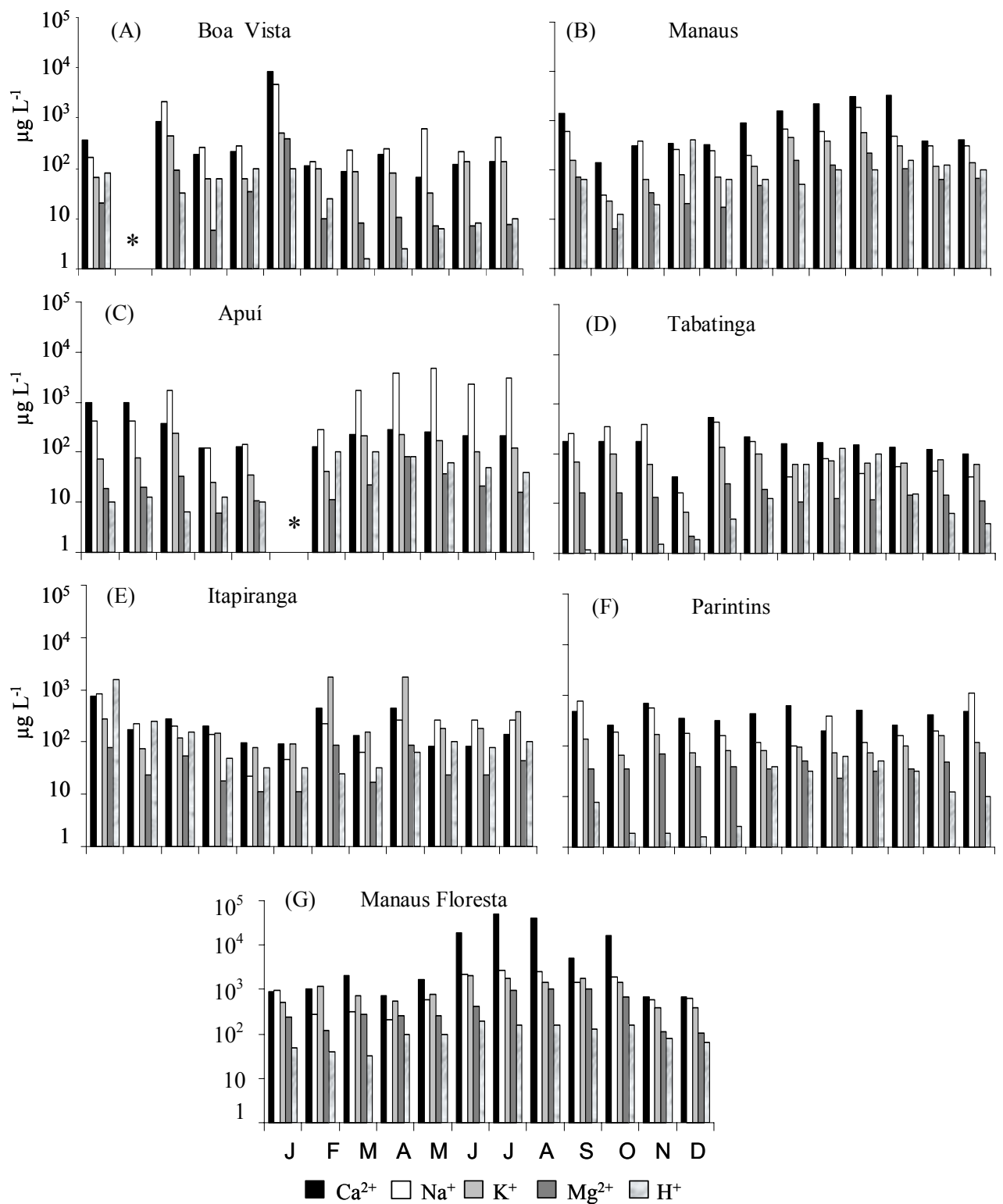


Figura 12: Valores mensais dos cátions nos locais amostrados.

Em Manaus observa-se que  $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$  no decorrer do ano, exceto em março onde  $\text{Na}^+$  é maior que  $\text{Ca}^{2+}$ . O  $\text{H}^+$  tende a ser similar ao  $\text{Mg}^{2+}$  ou  $\text{K}^+$ , exceto em abril onde supera os demais por ser o mês com águas mais ácidas. Em fevereiro há menor concentração desses elementos e de junho a outubro, período mais seco, ocorre o inverso há acréscimo na concentração dos cátions e  $\text{H}^+$  (Figura 12B). Em Apuí há predomínio do  $\text{Na}^+$  em relação aos demais, exceto de janeiro e fevereiro onde o  $\text{Ca}^{2+}$  é maior e de julho a dezembro apresenta elevação de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{H}^+$ . Durante esses meses o  $\text{H}^+$  supera o  $\text{Mg}^{2+}$  (Figura 12C).

Em abril em Tabatinga, foram encontradas as águas mais diluídas em cátions em relação aos demais locais amostrados, com destaque para o  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{H}^+$  que variam, no decorrer do ano, entre 2 a  $25\mu\text{g L}^{-1}$  e 2 a  $126\mu\text{g L}^{-1}$ . As maiores concentrações estão em maio com  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$  igual a 525, 441, 134 e  $25\mu\text{g L}^{-1}$  respectivamente. O  $\text{H}^+$  foi mais elevado e superior aos demais exceto o  $\text{Ca}^{2+}$  de julho a setembro em função do pH mais ácido. O  $\text{Ca}^{2+}$  é o cátion com maior concentração exceto de janeiro a março onde o  $\text{Na}^+$  se destaca. De junho a dezembro o  $\text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$  (Figura 12D).

As chuvas mais concentradas em cátions em Itapiranga ocorreram em janeiro, junho e setembro (Figura 12E). Há acréscimo de  $\text{K}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$  de março a setembro em relação aos demais cátions e de outubro a dezembro o  $\text{Na}^{2+}$  e o  $\text{K}^+$  são maiores. Em janeiro e fevereiro  $\text{H}^+$  é mais elevado que os cátions e em relação aos demais meses  $\text{H}^+$  é, em geral, maior que  $\text{Mg}^{2+}$ .

Em Parintins o  $\text{Ca}^{2+}$  é o cátion predominante, exceto em janeiro, agosto e dezembro. Nos demais meses  $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$  (Figura 12F). O  $\text{H}^+$  supera o  $\text{Mg}^{2+}$  somente em julho, agosto e setembro.

As águas de chuvas mais concentradas em cátions foram as de Manaus com cobertura de floresta, especialmente no período seco de junho a outubro com predomínio de  $\text{Ca}^{2+}$ , sobre os demais cátions como observado em Manaus sem cobertura de floresta (Figuras 12B e 12G).

Dentre os ânions e SiO<sub>2</sub> os mais elevados em condições de campo aberto, foram SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup> e SiO<sub>2</sub>. O PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> e F<sup>-</sup> estiveram na maior parte abaixo do limite de detecção (Figura 13).

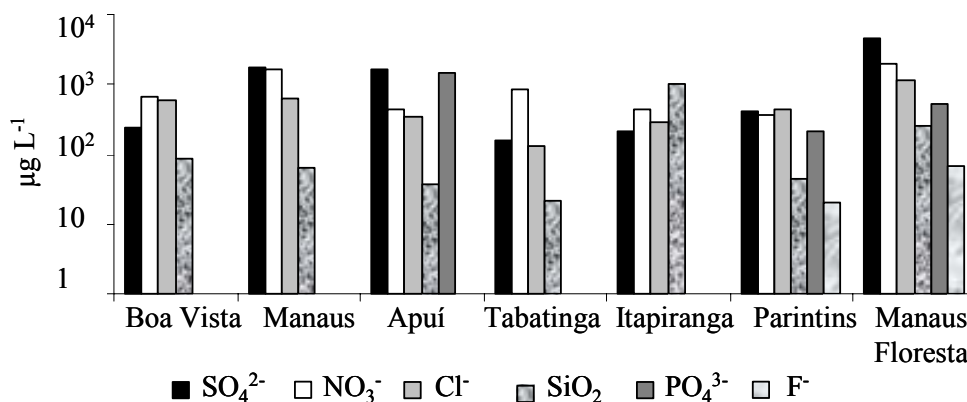


Figura 13: Valores médios de ânions e SiO<sub>2</sub> nos locais amostrados.

Em Boa Vista a proporção de ânions e SiO<sub>2</sub> na água da chuva variou ao longo do ano, as maiores concentrações foram Cl<sup>-</sup>>NO<sub>3</sub><sup>-</sup>>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>>SiO<sub>2</sub> no mês de março e as menores nos meses de agosto e setembro. Há inversão da ordem com o Cl<sup>-</sup> mais elevado de março a junho, enquanto nos demais meses é o NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> que apresentam maiores concentrações. O primeiro no início do período chuvoso e o segundo nos meses mais secos (Figura 14A).

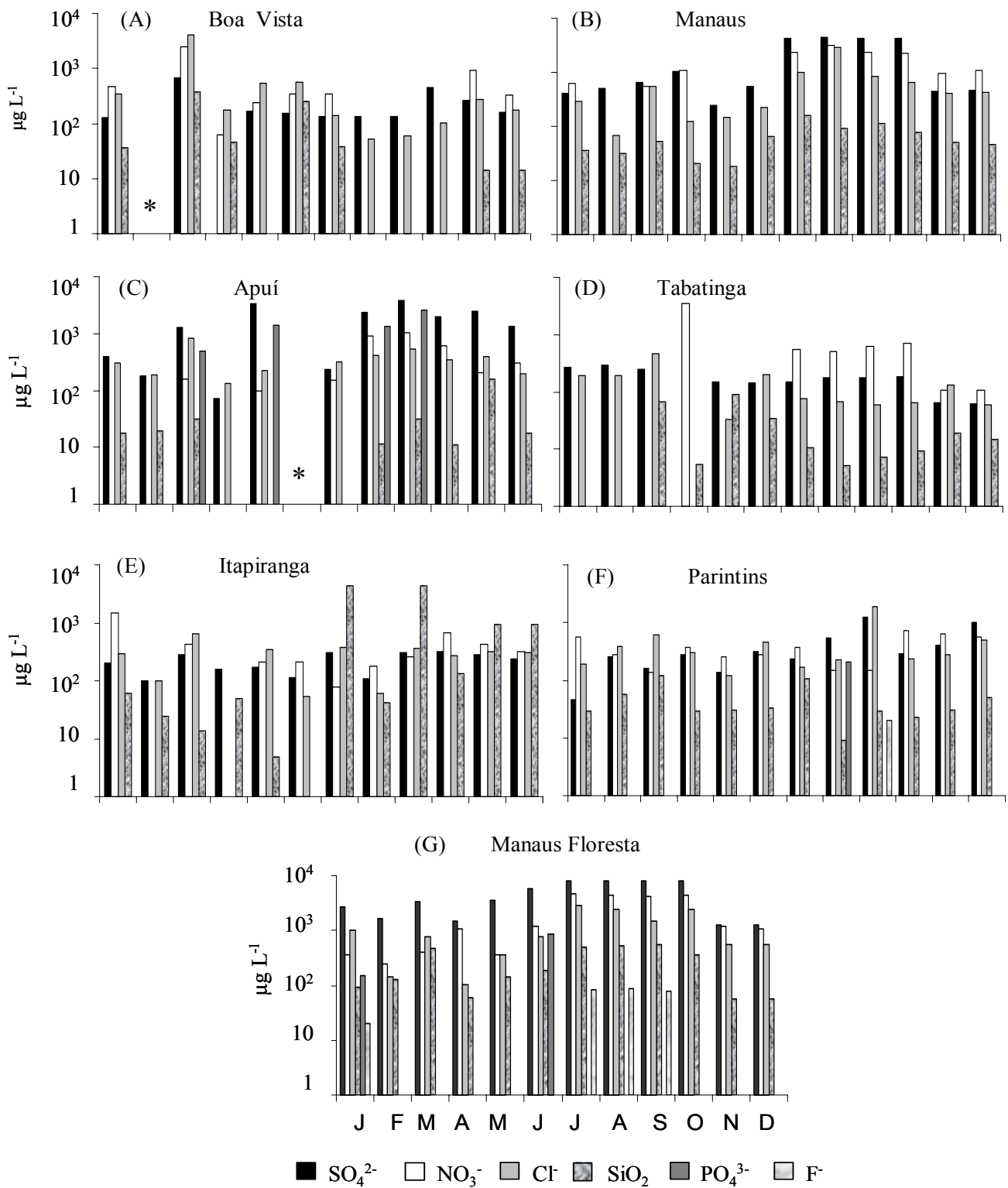


Figura 14: Valores mensais dos ânions e SiO<sub>2</sub> nos locais amostrados.

O  $\text{SO}_4^{2-}$  tem maior teor que os demais ânions em Manaus exceto em janeiro onde o  $\text{NO}_3^-$  predomina. No período seco, de junho a outubro, há acréscimo significativo na carga negativa (Figura 14B). Em Apuí o  $\text{SO}_4^{2-}$  apresenta maiores teores em relação aos demais exceto em abril e julho quando  $\text{Cl}^-$  é um pouco mais elevado. O  $\text{SiO}_2$  tem baixa concentração, especialmente no mês de agosto com  $11\mu\text{g L}^{-1}$  (Figura 14C).

Tabatinga foi a única localidade onde  $\text{NO}_3^-$  predomina sobre os demais ânions e  $\text{SiO}_2$ , especialmente em abril com  $3.457\mu\text{g L}^{-1}$  e na estiagem, entre julho e outubro com valores entre  $514$  e  $713\mu\text{g L}^{-1}$ . No restante dos meses  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{Cl}^-$  predominam (Figura 14D).

Em Itapiranga  $\text{SiO}_2$  tem maior concentração em relação aos demais locais com destaque para os meses de julho e setembro com valores de  $4314$  e  $4331\mu\text{g L}^{-1}$  respectivamente, nos outros meses  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{Cl}^-$  prevalecem (Figura 14E). Parintins foi o local que apresentou maior variação na concentração de ânions; em agosto  $\text{SO}_4^{2-}$  predomina, em fevereiro, março, junho e setembro  $\text{Cl}^-$  e no restante dos meses  $\text{NO}_3^-$  (Figura 14F).

As águas de chuvas mais concentradas em ânions foram as de Manaus floresta com destaque para junho a outubro, com predomínio de  $\text{SO}_4^{2-}$  em relação aos demais, como observado em Manaus campo aberto (Figura 14G).

A soma das concentrações dos cátions em  $\mu\text{g L}^{-1}$ , predominam sobre os ânions e  $\text{SiO}_2$  em Boa Vista e Manaus floresta, nos demais locais ocorre o inverso. A chuva é mais concentrada em Manaus, especialmente na floresta seguido de Apuí e Boa Vista. Há tendência das chuvas serem mais diluídas no sentido E-W que N-S e os ânions decrescem mais acentuadamente que os cátions (Figura 15). Essa diluição pode ser atribuída a orientação dos ventos vindos do Atlântico que sopram de leste para oeste. Esses ventos trazem vapor d'água que é reciclado pela floresta, cai como chuva e evapora no mínimo duas vezes até chegar o extremo oeste da região (Fearnside 2004) (Figura 5).

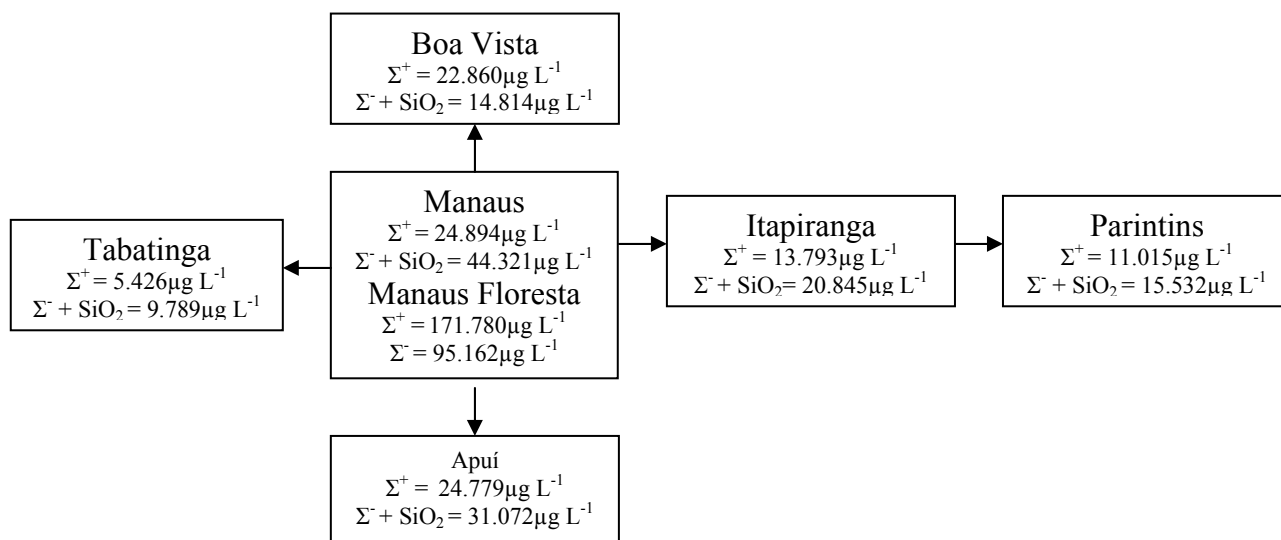


Figura 15: Somatório das concentrações dos cátions e ânions + SiO<sub>2</sub> nos locais amostrados.

A chuva mais concentrada em Manaus Floresta é consequência da capacidade da água dissolver poeira acumulada na superfície das folhas e troncos, além da emissão de aerossóis biogênicos pela floresta. Estes são constituídos de fungos, esporos e uma enorme variedade de partículas de origem orgânica e inorgânica (Artaxo et al., 1990) oriundos da ciclagem natural dos nutrientes. Além disso, Manaus, e em menor proporção Boa Vista, tem a influência da queima de combustíveis, a principal fonte de contaminação do ar.

Apuí, localizada no sul do Amazonas, está no cinturão do fogo da Amazônia, onde há grandes queimadas da floresta entre os meses de agosto e novembro. A queima produz grande quantidade de cinzas e aerossóis que ficam em suspensão e podem alcançar até 30.000 partículas por cm<sup>3</sup>, quando o normal é de 100 a 300 partículas por cm<sup>3</sup> na estação chuvosa (Yamasoe, 1999). A dissolução dessas partículas pela chuva eleva a concentração de elementos dissolvidos na água.

A tabela 7 apresenta a seqüência decrescente da concentração dos cátions e ânions + SiO<sub>2</sub>. Essa seqüência é similar em Boa Vista e Parintins tanto para cátions (Ca<sup>2+</sup>>Na<sup>+</sup>>K<sup>+</sup>>Mg<sup>2+</sup>>H<sup>+</sup>) como para ânions (Cl<sup>-</sup>>NO<sub>3</sub><sup>-</sup>>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>>SiO<sub>2</sub>>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>~F<sup>-</sup>). Manaus floresta difere de Boa Vista e Parintins pela inversão do K<sup>+</sup>>Na<sup>+</sup>. Manaus e Apuí têm a



mesma seqüência de cátions ( $\text{Ca}^{2+}>\text{Na}^+>\text{K}^+>\text{H}^+>\text{Mg}^{2+}$ ), diferenciam-se de Boa Vista e Parintins pela troca de  $\text{Mg}^{2+}$  por  $\text{H}^+$ . Tabatinga é o único local onde o  $\text{Na}^+>\text{Ca}^{2+}$  e Itapiranga é a estação que mais se diferencia das demais ( $\text{H}^+>\text{Na}^{2+}>\text{Ca}^{2+}>\text{K}^+>\text{Mg}^{2+}$ ).

Tabela 7: Seqüência (MPV) para cátions e ânions +  $\text{SiO}_2$  em todas as estações.

ESTAÇÕES	CÁTIONS	ÂNIONS + $\text{SiO}_2$
Boa Vista	$\text{Ca}^{2+}>\text{Na}^+>\text{K}^+>\text{Mg}^{2+}>\text{H}^+$	$\text{Cl}^->\text{NO}_3^->\text{SO}_4^{2-}>\text{SiO}_2>\text{PO}_4^{3-}\sim\text{F}^-$
Manaus	$\text{Ca}^{2+}>\text{Na}^+>\text{K}^+>\text{H}^+>\text{Mg}^{2+}$	$\text{SO}_4^{2-}>\text{NO}_3^->\text{Cl}^->\text{SiO}_2>\text{PO}_4^{3-}\sim\text{F}^-$
Apuí	$\text{Ca}^{2+}>\text{Na}^+>\text{K}^+>\text{H}^+>\text{Mg}^{2+}$	$\text{SO}_4^{2-}>\text{PO}_4^{3-}>\text{Cl}^->\text{NO}_3^->\text{SiO}_2>\text{F}^-$
Tabatinga	$\text{Na}^+>\text{Ca}^{2+}>\text{K}^+>\text{H}^+>\text{Mg}^{2+}$	$\text{NO}_3^->\text{Cl}^->\text{SO}_4^{2-}>\text{SiO}_2>\text{PO}_4^{3-}\sim\text{F}^-$
Itapiranga	$\text{H}^+>\text{Na}^{2+}>\text{Ca}^{2+}>\text{K}^+>\text{Mg}^{2+}$	$\text{SiO}_2>\text{NO}_3^->\text{Cl}^->\text{SO}_4^{2-}>\text{PO}_4^{3-}\sim\text{F}^-$
Parintins	$\text{Ca}^{2+}>\text{Na}^+>\text{K}^+>\text{Mg}^{2+}>\text{H}^+$	$\text{Cl}^->\text{NO}_3^->\text{SO}_4^{2-}>\text{SiO}_2>\text{PO}_4^{3-}>\text{F}^-$
Manaus Floresta	$\text{Ca}^{2+}>\text{K}^+>\text{Na}^+>\text{Mg}^{2+}>\text{H}^+$	$\text{SO}_4^{2-}>\text{NO}_3^->\text{Cl}^->\text{SiO}_2>\text{PO}_4^{3-}>\text{F}^-$

Com relação aos ânions Manaus e Manaus floresta têm a mesma seqüência ( $\text{SO}_4^{2-}>\text{NO}_3^->\text{Cl}^->\text{SiO}_2>\text{PO}_4^{3-}>\text{F}^-$ ). Apuí ( $\text{SO}_4^{2-}>\text{PO}_4^{3-}>\text{Cl}^->\text{NO}_3^->\text{SiO}_2>\text{F}^-$ ), Tabatinga ( $\text{NO}_3^->\text{Cl}^->\text{SO}_4^{2-}>\text{SiO}_2>\text{PO}_4^{3-}\sim\text{F}^-$ ) e Itapiranga ( $\text{SiO}_2>\text{NO}_3^->\text{Cl}^->\text{SO}_4^{2-}>\text{PO}_4^{3-}\sim\text{F}^-$ ) são diferentes entre si. Ou seja, as águas são mais diversificadas na proporção de ânions que cátions.

A seqüência de cátions e ânions difere de outros autores na região, somente ânions em Tabatinga é similar a encontrada por Artaxo *et al.*, (2006) e Williams *et al.*, (1997), porém difere de Stallard e Edmond (1983), Furch (1984) e Forti e Moreira Nordemann (1991), onde o  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{Cl}^-$  geralmente predomina sobre os demais como observado em Manaus e Apuí.

### 8.2.3 Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica, que é a capacidade da água em conduzir eletricidade, é muito baixa na chuva dos locais estudados, com valores no geral menores que  $7,7\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ . Boa Vista, apresenta baixa condutividade no decorrer do ano, com acréscimo somente no mês de março ( $10,97\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ ) e junho ( $12,2\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ ). Manaus tem maiores valores em abril e de setembro a janeiro, variam entre 7,5 a  $14,3\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$  e no restante dos meses 4,9 a  $7,1\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ .

Em Manaus floresta a condutividade é sistematicamente mais elevada, varia de 11,4 a 20,8 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ , seguido de Apuí, especialmente na estiagem, de agosto a dezembro com valores entre 15,8 a 18,7 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ .

Em relação as demais localidades, Tabatinga apresenta condutividade mais homogênea durante o ano, entre 2,9 e 6,0 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ . Isso pode estar relacionado à maior homogeneidade na distribuição de chuva nessa localidade. Em Itapiranga a condutividade foi maior em janeiro e julho com 10,4 e 12,2 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ , respectivamente e Parintins de julho a dezembro entre 7,1 e 8,8  $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$  (Figura 16).

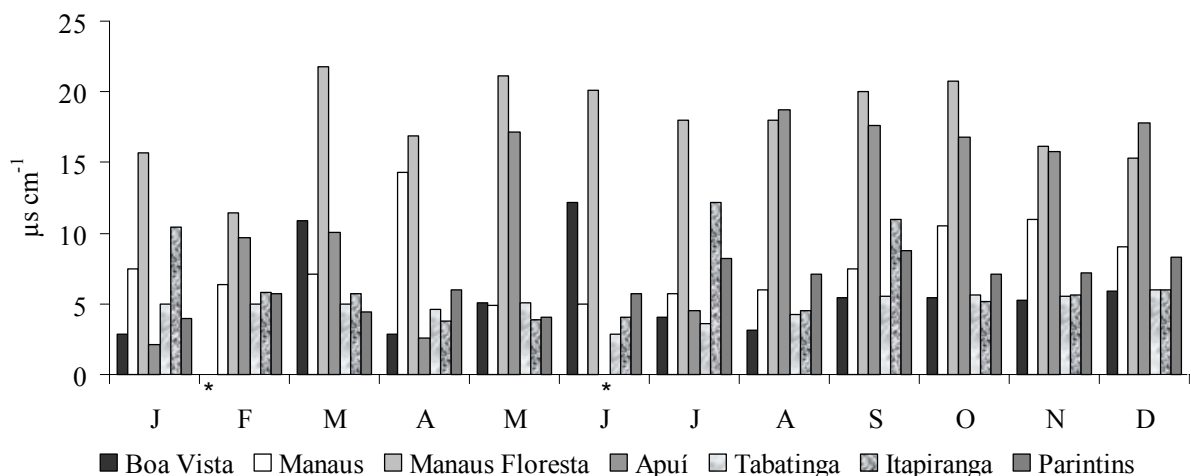


Figura 16: Valores mensais de condutividade nos locais amostrados. (\* Não choveu em Boa Vista no mês de Fevereiro e em Apuí no mês de junho).

A condutividade versus o somatório de cátions e ânions mais  $\text{SiO}_2$  tem correlação significativa somente em Boa Vista ( $r = 0,94$ ), Apuí ( $r = 0,80$ ), Itapiranga ( $r = 0,97$ ) e com menor grau, em Parintins ( $r = 0,55$ ) (Figura 17). A ausência de correlação em Manaus, Manaus Floresta e Tabatinga, que são os locais onde a carga química é mais elevada, deve estar relacionado a falta de quantificação dos constituintes orgânicos gerados por poluição e queimadas, como ressaltado anteriormente quando se discutiu o desbalanço químico.

A relação entre o regime pluviométrico e o somatório de cátions e ânions mais  $\text{SiO}_2$  apresenta correlação significativa, mas negativa ( $r = -0,76$ ) somente em Manaus campo aberto e floresta (Figura 17). A figura ilustra muito bem o aumento na concentração dos íons à medida que diminui a pluviosidade.

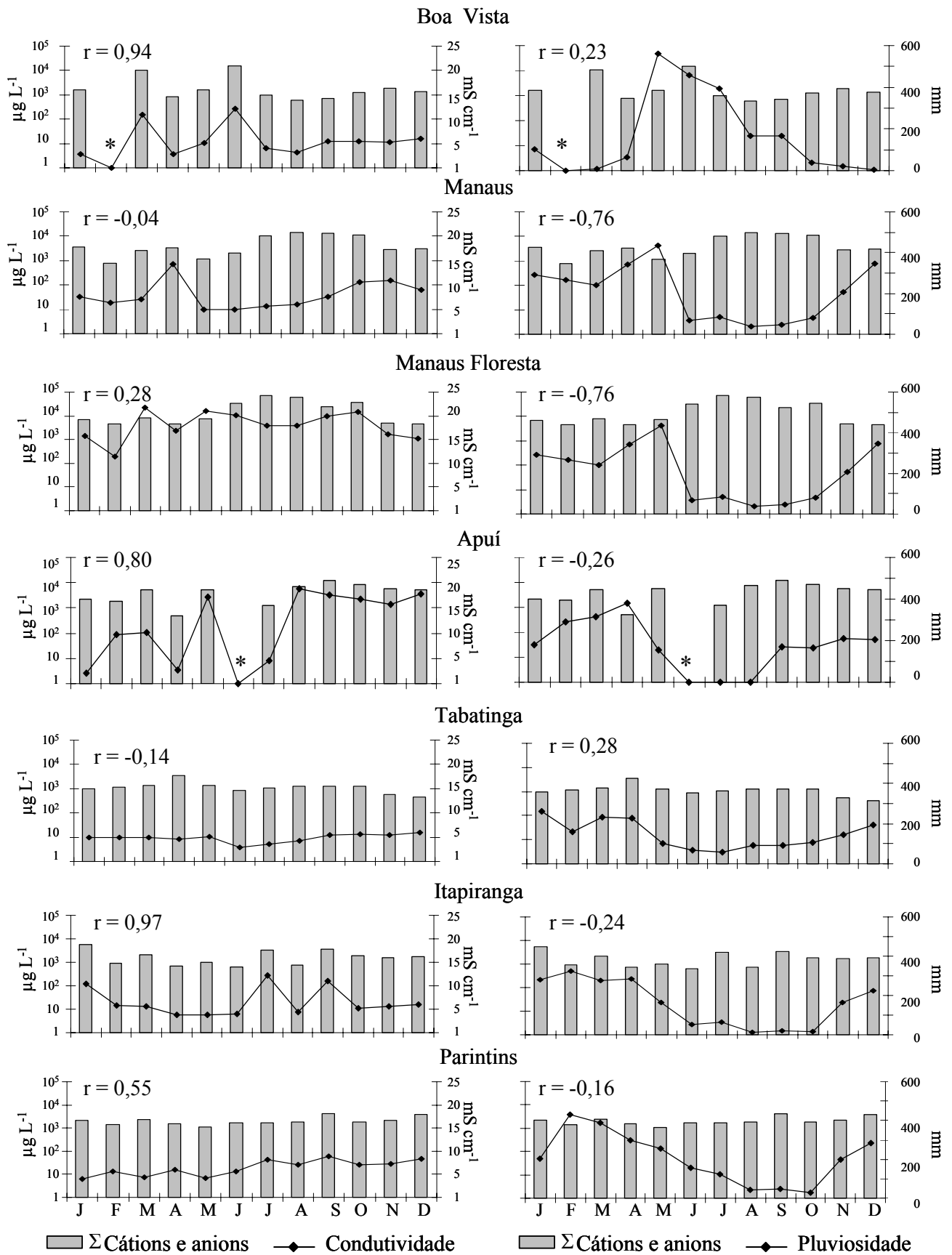


Figura 17: Correlação dos valores mensais do somatório de cátions e anions versus condutividade e pluviosidade, nos locais amostrados.

#### 8.2.4 Elementos-Traço

Dos elementos-traço Al, Zn, Fe, Sr, Mn e Cu, exibem maiores concentrações em relação ao Ba, Ni, Rb, V, Pb e Mo (Figura 18).

Em Boa Vista os teores são mais elevados em junho. O Zn predomina sobre o Al durante quase todo ano exceto em junho e no início da estiagem (outubro e novembro). O Fe, Sr e, em parte Mn e Cu, tendem a acompanhar o índice pluviométrico (Figura 18A). O Ba, Ni, Rb, Pb e Mo tem distribuição irregular e V e Mo são menos concentrados em relação aos demais parâmetros especialmente de agosto e setembro (Figura 18A').

Al, Zn e Fe são os elementos mais abundantes em Manaus (Figura 18B). Nos meses mais secos (julho a outubro) há aumento da maioria deles (Al, Zn, Fe, Sr, Mn, Cu, Ni, Rb e V), enquanto Ba, Pb e em parte o Mo tem padrão oposto, estão mais concentrados na estação chuvosa. Deve-se destacar ainda que as menores concentrações estão em fevereiro, exceto Al, Fe e Ba mais baixos em maio e Pb em junho (Figuras 18B e B').

O Zn prevalece em Apuí, exceto em julho e de outubro a dezembro, quando respectivamente o Fe ou o Al são maiores. As menores concentrações de Al, Zn, Fe, Sr, Mn e Cu ocorrem em abril e maio no início da estiagem e se mantém quase constantes de janeiro a março (Figura 18C). O Ba e Ni decrescem com o aumento do índice pluviométrico e o Rb tem menores teores em abril, maio e junho. No início da estiagem o V é o elementos com menor concentração, exceto em março e de junho a setembro onde Mo é menor. O Pb é o que apresenta menor variação durante o ano com valores entre 0,7 a 2,3  $\mu\text{g L}^{-1}$  (Figura 18C').

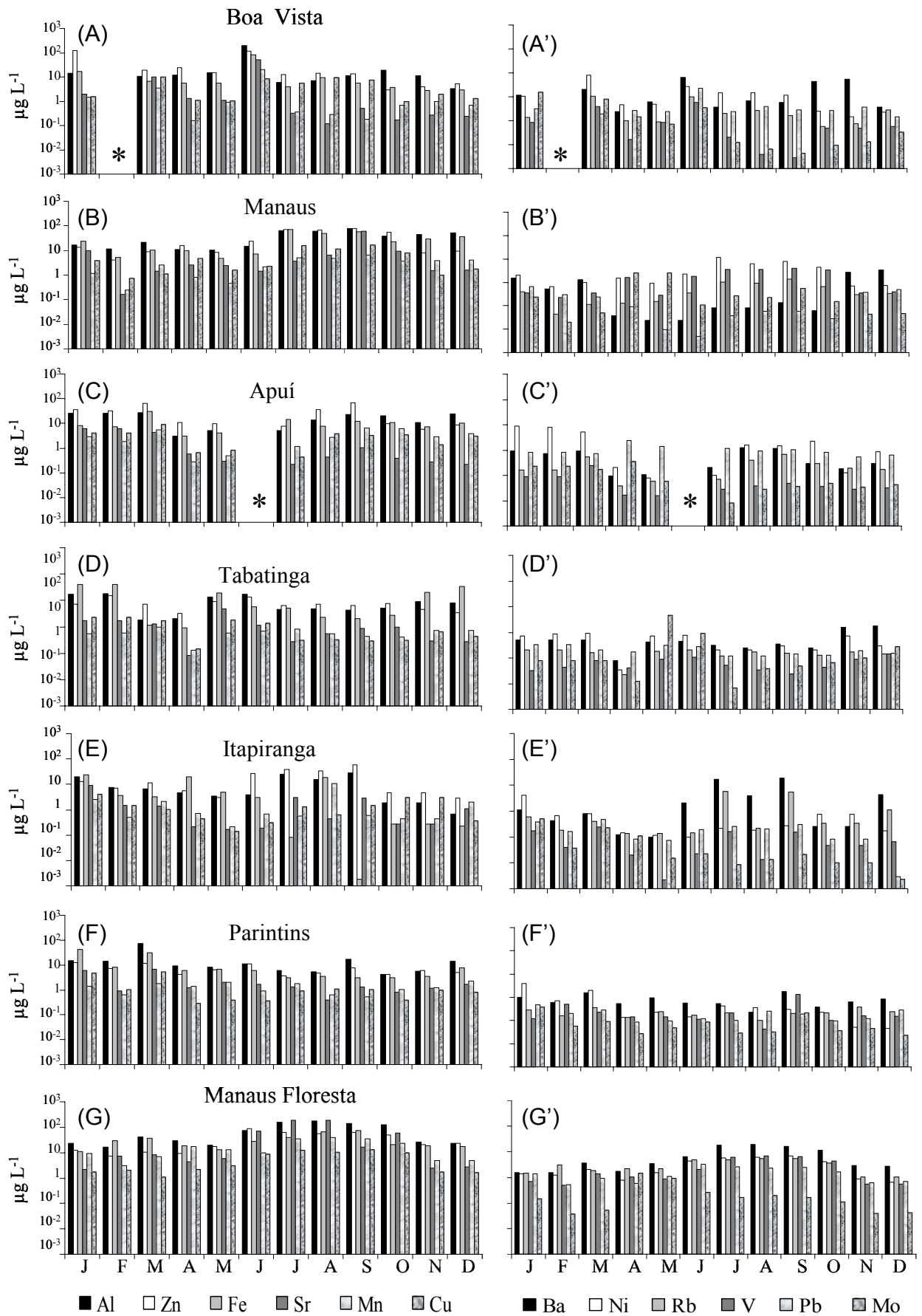


Figura 18: Valores mensais dos elementos traços nos locais amostrados. (\* Não choveu em Boa Vista no mês de Fevereiro e em Apuí no mês de junho).

Em Tabatinga o Zn predomina em março, abril e de julho a outubro, no restante dos meses o Fe é maior exceto em junho onde o Al domina. Apesar de haver variação, esses três elementos tendem a serem mais elevados no período chuvoso e o Sr é pelo menos três vezes mais elevado em maio que no restante do ano (Figura 18D). As menores concentrações de elementos-traço estão em abril, exceto V, Pb e Mo, que são mais baixos no período seco de junho a outubro (Figura 18D'). O Al também tende a ser menor no período seco, contudo em maio e abril eles foram excepcionalmente mais baixos.

O Zn tende a ser mais elevado em março e de junho a dezembro em Itapiranga, coincidindo com o período seco e início das chuvas, enquanto o Fe é no período de maior pluviosidade (janeiro, abril e maio) e o Al em fevereiro, o mais chuvoso. Os demais elementos são mais erráticos na sua distribuição ao longo do período hidrológico: Sr e Cu predomina em janeiro, Mn em agosto, Ba e Rb nos meses mais secos, especialmente em julho ( $17,1$  e  $5,6\mu\text{g L}^{-1}$  respectivamente) e setembro ( $18,7\mu\text{g L}^{-1}$  e  $5,4\mu\text{g L}^{-1}$  respectivamente). Já Ni, V, Pb e Mo são os menos abundantes e apresentam pequena variação durante o ano (Figura 18E').

Parintins é o local onde a variação dos elementos é menos acentuada ao longo do ano com tendência do Al ser um pouco mais concentrado (Figura 18F). Os demais elementos têm variações erráticas, Sr e Cu são significativamente mais elevados em janeiro e março, Ba apresenta elevação em março e setembro, Ni em janeiro e março e V em setembro. Já Rb, Pb e Mo apresentam menores concentrações com variações no decorrer do ano entre  $0,02$  e  $0,4\mu\text{g L}^{-1}$  (Figura 18F').

Manaus Floresta apresenta as maiores concentrações de elemento-traço em relação aos demais locais amostrados, especialmente no período seco de junho a outubro, o que acompanha os constituintes principais. Alumínio predomina em maior parte do ano e, assim como em Parintins, se alterna com Fe em fevereiro e com Zn em junho (Figura 18G). O Sr foi

excepcionalmente mais elevado em julho e agosto e diferencia a composição da chuva de Manaus Floresta em relação às demais localidades (Figura 18G’).

A tabela 8 apresenta a seqüência decrescente dos elementos-traço. Em Boa Vista e Manaus a seqüência é similar somente para os elementos com maiores teores Al>Zn>Fe>Sr. Parintins e Manaus Floresta também para os elementos mais abundantes, tem a mesma seqüência, Al>Fe>Zn>Sr e diferencia do grupo anterior pela troca do Fe>Zn. Apuí, Tabatinga e Itapiranga são as estações que mais se diferenciam entre si e das demais.

Tabela 8: Seqüência (MPV) para elementos-traço em todas as estações.

ESTAÇÕES	ELEMENTOS-TRAÇO
Boa Vista	Al>Zn>Fe>Sr>Mn>Cu>Ba>Ni>Pb>Rb>Mo~V
Manaus	Al>Zn>Fe>Sr>Cu>Mn>Ni>Ba>Mo~V>Pb~Rb
Apuí	Zn>Al>Fe>Cu>Mn~Ni>Sr>Pb>Ba>Rb~Mo>V
Tabatinga	Fe>Al>Zn>Sr~Cu>Mn~Ba>Ni>Mo>Pb~Rb>V
Itapiranga	Zn>Fe>Al>Sr>Ba>Cu>Mn>Ni>Rb>Pb>Mo~V
Parintins	Al>Fe>Zn>Sr>Cu>Mn>Ba~Ni>Pb~Rb~V>Mo
Manaus Floresta	Al>Fe>Zn>Sr>Mn>Ba>Cu>Rb>Ni>V>Pb>Mo

### 8.2.5 Isótopos de Oxigênio e Deutério

Os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta\text{D}$  nas águas de chuvas estudadas variam entre 1,1 a -18,1‰ e 18 a -138‰ com maiores variações em março e maio, especialmente em Tabatinga e Itapiranga como mostra a tabela 9. Esses valores significam que o oxigênio é menos fracionado que o deutério e que a maior parte da composição isotópica da água de chuva da região estudada é empobrecida em relação ao padrão “Viena Standard Mean Ocean Water”. A relação entre  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta\text{D}$  das amostras ( $\delta\text{D} = 7,9 \delta^{18}\text{O} + 8,4$ ) pouco diferencia a curva meteórica global ( $\delta\text{D} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$ ) (Figura 19). Isto indica que a posição geográfica e a baixa latitude da Amazônia não influem na composição isotópica em relação a média mundial.



Tabela 9: Valores dos isótopos de Oxigênio e Deutério nas água de chuva.

ESTAÇÕES	ISÓTOPOS	JAN	MAR	MAI	JUL	SET	NOV
Boa Vista	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$	-8,5	-9,6	-1,3	-4,3	-6,6	-6,5
	$\delta\text{D}(\text{‰})$	-68	-65	-4	-21	-44	-43
Manaus	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$	0,3	-3,3	-0,03	-5,3	-6,2	-1,7
	$\delta\text{D}(\text{‰})$	-0,1	-29	4	-31	-34	-4
Apuí	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$	-6,0	-6,8	-5,6	-1,2	1,1	-3,3
	$\delta\text{D}(\text{‰})$	-38	-48	-32	3	18	-20
Tabatinga	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$	-4,8	-18,1	-9,1	-4,1	-1,3	0,1
	$\delta\text{D}(\text{‰})$	-26	-138	-60	-17	4	12
Itapiranga	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$	-1,6	-3,9	-13,5	-2,3	-1,5	-1,9
	$\delta\text{D}(\text{‰})$	-6	-26	-98	-5	-4	-5
Parintins	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$	-8,4	-4,7	-9,1	-1,1	0,7	-1,3
	$\delta\text{D}(\text{‰})$	-66	-24	-59	0,4	14	3
Manaus Floresta	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$	-0,3	-4,3	-0,7	-4,2	-6,1	-1,1
	$\delta\text{D}(\text{‰})$	1	-31	2	-27	-34	-3

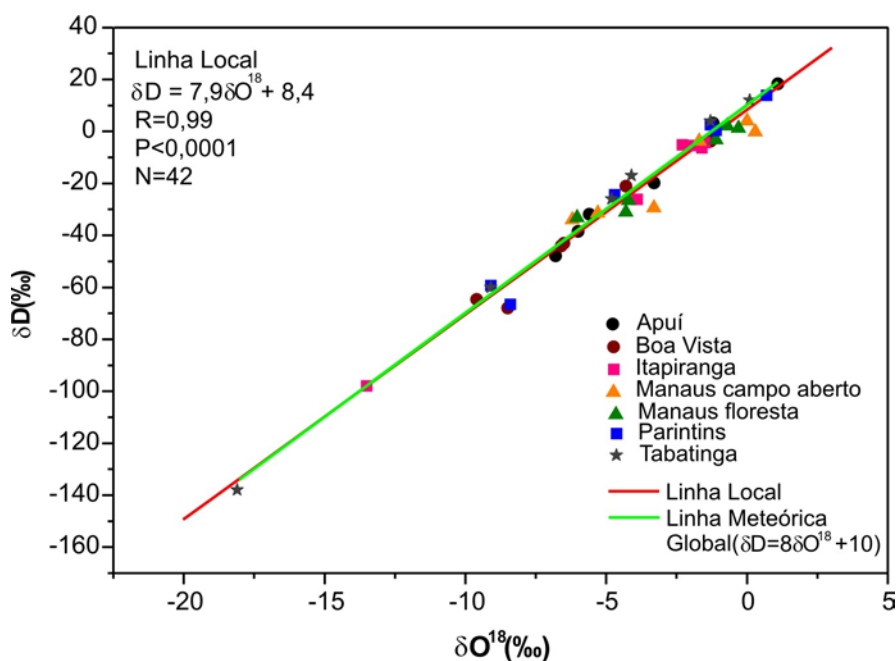


Figura 19: Correlação entre os isótopos de  $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$  e  $\delta\text{D}(\text{‰})$ , nos locais amostrados.

Vários fatores como temperatura, intensidade pluviométrica, latitude, direção da massa de ar e evapotranspiração influenciam a composição isotópica de  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta\text{D}$  da água (Drever, 1997), de modo que os fatores locais é que realmente determinam o fracionamento isotópico

(Fricke & O'Neil, 1999). De forma geral as menos fracionadas são as das regiões tropicais que possuem menor variação de temperatura. Contudo, Tabatinga e Itapiranga com  $\delta^{18}\text{O}$  máximos de -18,1(‰) e -13,5 (‰) respectivamente, assemelham-se a composição isotópica de regiões de médias latitudes com clima de temperaturas mais contrastadas (Fricke & O'Neil, 1999). O maior fracionamento em Tabatinga poderia ser explicado por influência da massa de ar mais fria proveniente dos Andes, contudo essa explicação não se aplica para Itapiranga a leste de Manaus.

Em Apuí, Tabatinga, Itapiranga e Parintins há tendência de menor fracionamento no período mais seco (julho a novembro) o que pode ser explicado pela maior influência da evapotranspiração da vegetação em condição de clima menos chuvoso. Esse comportamento condiz ao observado por autores como Mazor (1991) e Fricke & O'Neil (1999) que atribuem maior fracionamento a chuvas mais intensas. Considerando ainda o índice pluviométrico, em Manaus e Boa Vista o fracionamento foi menor em maio, mês com maior índice pluviométrico (Figuras, 20, 8 e 9). No restante do ano o fracionamento aumenta, contudo a intensidade de chuva diminui para Manaus e aumenta em Boa Vista.

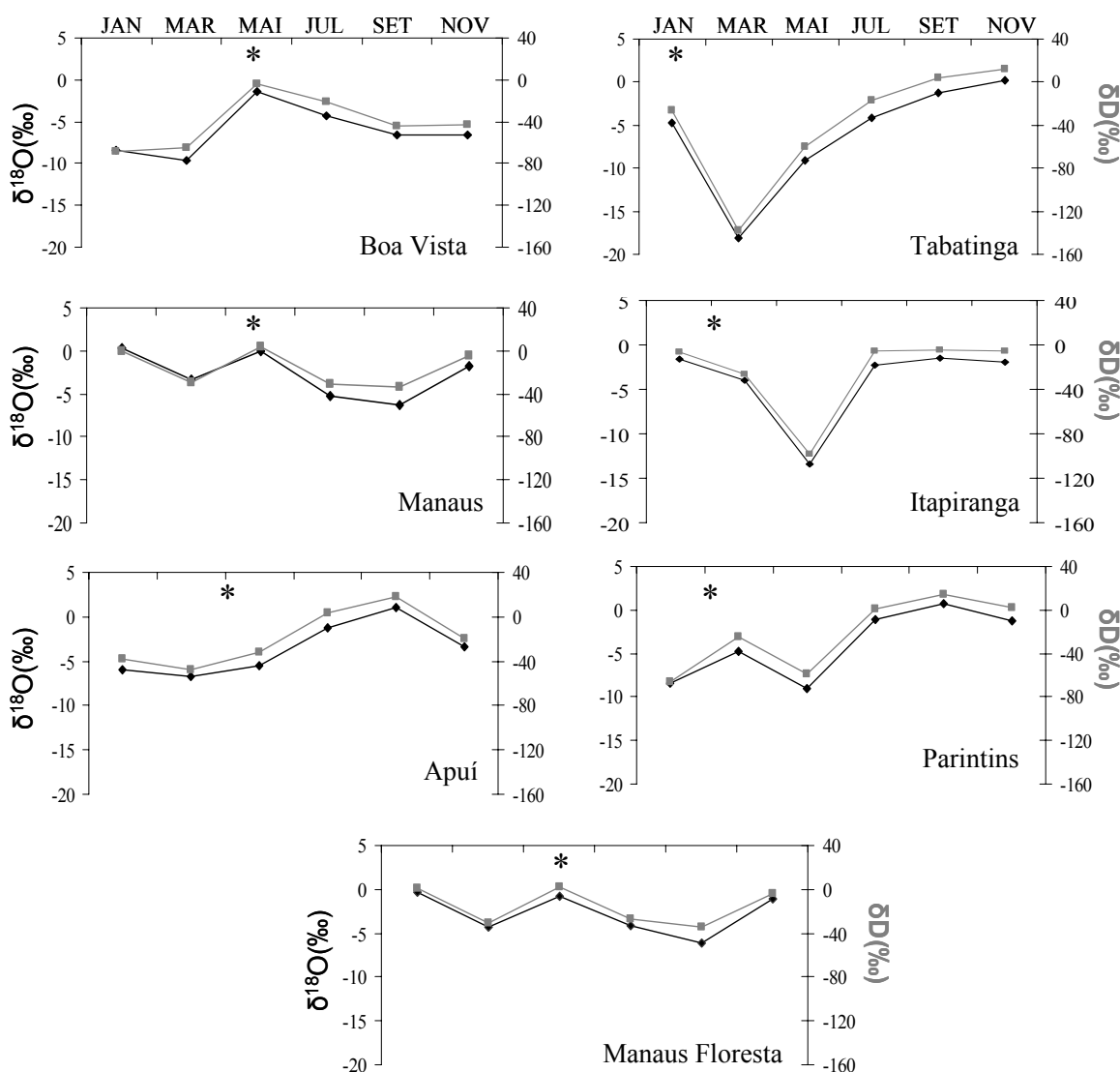


Figura 20: Valores mensais dos isótopos de  $\delta^{18}\text{O}$  (‰) e  $\delta\text{D}$  (‰), nos locais amostrados, \* mês mais chuvoso.

As chuvas de Manaus e Manaus Floresta são isotopicamente homogêneas entre si (Tabela 10 e figura 20) o que demonstra que não há influência direta da vegetação durante a percolação da água na superfície das folhas, galhos e troncos.

A variabilidade observada na composição isotópica mostra que não há um padrão único de fracionamento na composição isotópica da água de chuva nos locais estudados, como observado por Fricke & O'Neil (1999). Isto pode ser atribuído a influências locais de temperatura, intensidade de precipitação e movimentos de massas de ar (Celle-Jeanton *et al.*,

2004 e Saikat Sengupta, 2006). A similaridade isotópica entre Manaus e Boa Vista em relação ao mês mais chuvoso, pode estar relacionada a possível fonte de  $\delta^{18}\text{O}$  na atmosfera em consequência da queima de combustíveis, já que as mesmas no mês mais chuvoso apresentam baixo fracionamento. Contudo, estudos devem ser realizados para confirmar tal hipótese.

## 8.3 Origem dos elementos

### 8.3.1 Origem marinha

Há dois modos de calcular a origem da composição da água de chuva, uma é simplesmente obter a razão dos elementos em relação à concentração média ponderada pelo volume ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) e comparar com a da razão marinha (Tabela 10). A outra é considerar a equação marinha definida por Keene (1986) (Capítulo 7). Parte-se do princípio que o Cl e Na tem duas origens, a água do mar ou as rochas evaporíticas (Stallard & Edmond, 1981) com razões nesses ambientes de 1:1.

A razão média de  $\text{Cl}^-/\text{Na}^+$  mostra que somente em Boa Vista ( $0,28\mu\text{g L}^{-1}$ ) e Apuí ( $0,21\mu\text{g L}^{-1}$ ) (Tabela 10) não há contribuição marinha. Isto pode está relacionado a menor influência dos ventos vindos do Atlântico com direção E-W, apesar de Boa Vista geograficamente está mais próxima do mar que as demais estações (Figura. 5). Nos outros locais essa razão variou entre 0,86 a  $1,01\mu\text{g L}^{-1}$  o que pode-se considerar contribuição marinha já que razões  $\text{Cl}^-/\text{Na}^+$  nesses ambientes são de 1:1. Contudo, o  $\text{Cl}^-$  pode ter origem de aerossol biogênico natural e, também a partir de partículas emitidas pelas queimadas (Lara *et al.*, 2001).

Tabela 10: Razão (MPV em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) dos elementos  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$  em relação ao  $\text{Na}^+$  nas águas estudadas e na água do mar (Razão marinha - Fonte: Drever, 1997).

ESTAÇÕES	$\text{Cl}^-/\text{Na}^+$	$\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$	$\text{K}^+/\text{Na}^+$	$\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$	$\text{SO}_4^{2-}/\text{Na}^+$
Boa Vista	0,28	0,08	0,14	1,64	0,12
Manaus	1,01	0,14	0,36	1,94	2,58
Apuí	0,21	0,02	0,07	0,24	0,85
Tabatinga	0,86	0,08	0,38	0,92	0,18
Itapiranga	0,96	0,14	0,86	0,94	0,71
Parintins	1,01	0,12	0,28	1,12	0,87
Manaus Floresta	0,94	0,38	1,07	6,12	4,04
<b>ÁGUA DO MAR</b>	<b>1,79</b>	<b>0,12</b>	<b>0,036</b>	<b>0,038</b>	<b>0,25</b>

As razões  $\text{K}^+/\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$  e  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Na}^+$  para todas as estações exceto  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Na}^+$  em Boa Vista e Tabatinga, são maiores quando comparadas ao mar e indica que, além de aerossóis marinhos, existem outras contribuições naturais ou antrópicas nas águas de chuvas. A razão  $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$  em Manaus campo aberto, Itapiranga e Parintins mostra boa correlação com a razão marinha (0,12) (Tabela 10).

Segundo a equação marinha (Keene 1986), a tabela 11 demonstra que há contribuição do mar para  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Mg}^{2+}$  em todos os locais, exceto  $\text{Mg}^{2+}$  em Manaus Floresta. O  $\text{SO}_4^{2-}$  tem contribuição marinha somente em Boa Vista.

Tabela 11: Concentração média ponderada pelo volume de  $[\text{X}]_{\text{mar}}$  em  $\mu\text{eq L}^{-1}$  e % nos locais amostrados (porcentagens >50% significam maior influência marinha).

ESTAÇÕES	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{K}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^-$
Boa Vista	2,4 (2%)	1,2 (27%)	12,6 (100%)	6,7 (100%)	65,4 (100%)
Manaus	0,7 (2%)	0,3 (10%)	3,5 (85%)	1,8 (10%)	18,0 (100%)
Apuí	3,0 (15%)	1,5 (51%)	15,9 (100%)	8,4 (29%)	82,5 (100%)
Tabatinga	0,3 (4%)	0,2 (10%)	1,7 (100%)	0,9 (27%)	9,0 (100%)
Itapiranga	0,5 (4%)	0,3 (4%)	2,8 (87%)	1,5 (35%)	14,4 (100%)
Parintins	0,7 (3%)	0,4 (13%)	3,8 (98%)	2,0 (29%)	19,7 (100%)
Manaus Floresta	1,3 (1%)	0,7 (3%)	7,2 (31%)	3,8 (6%)	37,1 (100%)

Desse modo estima-se em média, que quase a totalidade do  $\text{Ca}^{2+}$  (96% a 99%), pelo menos 73% a 97% de  $\text{K}^+$  e 65% a 95% de  $\text{SO}_4^{2-}$  estão em excesso na chuva (tabela 12) e são

originados de fontes biogênicas e antropogênicas, como observado pelas razões  $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  e  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Na}^+$  nas águas de chuva em relação ao mar (Tabela 10).

Tabela 12: Concentração média ponderada pelo volume de  $[\text{X}]_{\text{excesso}}$  em  $\mu\text{eq L}^{-1}$  e % nos locais amostrados.

ESTAÇÕES	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{K}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^-$
Boa Vista	102,5 (98%)	3,3 (73%)	-3,9 (0%)	-3,4 (0%)	-55,2 (0%)
Manaus	33,6 (98%)	2,9 (90%)	0,6 (15%)	17,2 (90%)	-7,9 (0%)
Apuí	16,7 (85%)	1,4 (49%)	-13,9 (0%)	20,4 (71%)	-72,7 (0%)
Tabatinga	7,7 (96%)	1,5 (90%)	-0,6 (0%)	2,5 (73%)	-4,7 (0%)
Itapiranga	12,8 (96%)	6,0 (96%)	0,4 (13%)	2,7 (65%)	-6,8 (0%)
Parintins	20,9 (97%)	2,4 (87%)	0,1 (2%)	5,0 (71%)	-8,7 (0%)
Manaus Floresta	221,4 (99%)	19,3 (97%)	15,7 (69%)	57,5 (94%)	-17,8 (0%)

As fontes biogênicas mais prováveis para origem dos elementos, especialmente Ca e K, são fungos, esporos, fragmentos de folhas, bactérias e queima de biomassa (Artaxo *et al.*, 2004, Lara *et al.*, 2001), atividade muito freqüente na região no período de estiagem. O  $\text{SO}_4^{2-}$  provém da fotooxidação de gases de enxofre de origem biológica e da queima de combustíveis fósseis. As maiores concentrações de origem marinha para  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , foi também observado em Freydier *et al.*, (2002), Migliavacca *et al.*, (2005) e Souza *et al.*, (2006).

### 8.3.2 Origem crustal

A presença de metais na atmosfera deve ser explicada por fontes naturais como aerossol marinho, vegetação, solo, poeira e gases de origem vulcânica (Galloway *et al.*, 1982). Já as emissões antropogênicas ocorrem pelas atividades industriais, queima de biomassa e, principalmente de combustíveis fósseis. Conforme Galloway *et al.* (1982) para determinar a origem da concentração dos metais na água de chuva pode-se usar três formas: 1) fator de mobilização, que compara as taxas emitidas de fontes antropogênicas com as de fontes naturais; 2) pela análise de material de geleira, com a determinação histórica dos teores de

metais na atmosfera e 3) pelo fator de enriquecimento com a razão da concentração dos elementos na água de chuva em relação a abundância na crosta superior.

Para esse trabalho foi determinado o fator de enriquecimento usando o alumínio como elemento referência devido sua baixa mobilidade e por ter única fonte a crosta (Tabela 13) (Duce *et al.*,1975).

Tabela 13: Fator de enriquecimento dos elementos em relação a crosta superior.

ESTAÇÕES	Ca	Na	K	Mg	Zn	Fe	Sr	Cu	Mn	Ba	Ni	Pb	Rb	Mo	V
Boa Vista	98	79	11	10	823	1,0	63	151	8	5	28	114	4	58	2
Manaus	64	44	16	9	622	1,3	43	203	6	6	74	80	6	537	18
Apuí	55	297	21	7	1599	1,1	36	318	14	4	191	500	7	149	2
Tabatinga	45	65	24	7	820	3,5	34	210	5	10	65	200	9	723	4
Itapiranga	82	115	98	23	1231	1,8	72	304	13	32	131	205	43	278	6
Parintins	51	60	17	11	367	1,1	34	138	6	6	45	79	6	64	6
Manaus Floresta	279	60	64	34	536	1,0	121	131	24	14	47	217	30	176	18

Foram determinados três grupos: 1) elementos com FE entre 1 a 10 que são aqueles que não apresentam enriquecimento, ou seja, são provenientes da crosta; 2) elementos com FE entre 10 a 100 são aqueles moderadamente enriquecidos devido, principalmente a contribuição natural da crosta além de outras fontes naturais ou antrópicas e o 3) elementos com FE>100 que são aqueles altamente enriquecidos em relação à crosta, e sua presença na água de chuva é atribuída principalmente a atividades antrópicas (Tabela 14).

Tabela 14: Classificação dos elementos em relação ao fator de enriquecimento com a crosta superior.

ESTAÇÕES	NAO ENRIQUECIDOS FE (1 – 10)	MODERADAMENTE ENRIQUECIDOS FE (10 – 100)	ALTAMENTE ENRIQUECIDOS FE >100
Boa Vista	Fe, Mg, Mn, Ba, Rb, V	Ca, Na, K, Sr, Ni, Mo	Zn, Cu, Pb
Manaus	Fe, Mg, Mn, Ba, Rb	Ca, Na, K, Sr, Ni, Pb, V	Zn, Cu, Mo
Apuí	Fe, Mg, Ba, Rb, V	Ca, K, Sr, Mn,	Na, Zn, Cu, Ni, Pb, Mo
Tabatinga	Fe, Mg, Mn, Ba, Rb, V	Ca, Na, K, Sr, Ni,	Zn, Cu, Pb, Mo
Itapiranga	Fe, V	Ca, K, Mg, Sr, Mn, Ba, Rb	Na, Zn, Cu, Ni, Pb, Mo
Parintins	Fe, Mn, Ba, Rb, V	Ca, Na, K, Mg, Sr, Ni, Pb, Mo	Zn, Cu
Manaus Floresta	Fe	Na, K, Mg, Mn, Ba, Ni, Rb, V	Ca, Zn, Sr, Cu, Pb, Mo

De acordo com a tabela 14, Fe, V, Mg, Mn, Ba e Rb no geral não estão enriquecidos, em relação a crosta e indicam que a presença dos mesmos na água de chuva é resultado de processos naturais. O Ca, Na, K, Sr, Ni são, em geral, moderadamente enriquecidos o que confirma que além da crosta, as fontes marinhas, biogênicas e antropogênicas contribuem nas concentrações desses elementos nas águas estudadas. Os elementos Zn, Cu, Pb e Mo representam o grupo dos elementos altamente enriquecidos, e associados a elevada contribuição antrópica.

A contribuição dos metais, assim como Fe, Mg, Mn, Ba, Rb e V, são originados do intemperismo das rochas. O Na, Mg e Cl, além de origem a partir de aerossóis marinhos, juntamente com o Ca e o K, podem provir de partículas biogênicas da vegetação e em maior escala da queima da biomassa. Já o Zn, Cu e Mo provém da queima de vegetação e, principalmente de combustíveis fósseis (Gaudichet *et al.*, 1995 e Freydier *et al.*, 2002).



## 9. Conclusões

No Amazonas os meses mais chuvosos vão de novembro a maio e o restante do ano é mais seco. Boa Vista, tem o ciclo pluviométrico invertido, os meses mais chuvosos estão entre maio a setembro. Tabatinga apresentou o menor índice pluviométrico, mas teve distribuição mais homogênea durante o ano, fato esse justificado pelo clima que é mais úmido na porção oeste do estado, devido a massa equatorial continental presente durante todo o ano.

O pH médio foi no geral ácido, variou entre 2,8 e 5,9, enquanto o pH calculado a partir dos valores das concentrações médias ponderadas de  $H^+$  pelo volume de chuva, teve menor variação 3,9 e 5,0. Na época de estiagem a chuva tem, em geral, maior concentração de íons e tende a ser mais ácida, exceto em Itapiranga. A maior abundância de gases e poeiras na atmosfera, especialmente de queimadas na floresta, fontes significativas de ácidos carboxílicos alteram a concentração dos ácidos orgânicos na região e, conseqüentemente o pH. Além disso, Manaus e em menor proporção Boa Vista, as duas maiores cidades estudadas, a queima de combustíveis também contribuiu para essa acidez.

Quimicamente os ânions predominam sobre os cátions em Manaus, Apuí, Tabatinga, Itapiranga e Parintins, exceto em Boa Vista e Manaus Floresta. O  $Ca^{2+}$  e o  $Na^+$  seguido do  $K^+$  são os cátions mais abundantes, exceto em Tabatinga onde o  $Na^+$  é maior que o  $Ca^{2+}$  e em Itapiranga com  $H^+ > Na^+ > Ca^{2+}$ . Dentre os ânions há maior variação na composição química,  $SO_4^{2-}$  seguido de  $NO_3^-$  e  $Cl^-$  predominam em Manaus e Manaus Floresta,  $SO_4^{2-}$ ,  $PO_4^{3-}$  e  $Cl^-$  em Apuí,  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$  e  $SO_4^{2-}$  em Boa Vista e Parintins. Apuí é o único local onde o  $PO_4^{3-}$ , é o segundo ânions em abundância depois do  $SO_4^{2-}$ . Tabatinga e Itapiranga são os locais que apresentam maior diversidade química em relação as demais localidades estudadas com  $NO_3^-$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$  e  $SiO_2$ ,  $NO_3^-$ ,  $Cl^-$  respectivamente, como os ânions mais abundantes. Os elementos-traço apresentam similaridades somente entre os elementos de maiores teores como Al, Zn, Fe e Sr, com seqüências iguais para Boa Vista e Manaus (Al>Zn>Fe>Sr) e para Parintins e

Manaus Floresta (Al>Fe>Zn>Sr). Como observado para os ânions Apuí, Tabatinga e Itapiranga são as estações que mais se diferenciam entre si e das demais.

De acordo com a origem dos elementos, a vegetação natural e o processo de combustão na queima de biomassa são as principais fontes que emitem aerossóis que ao serem dissolvidos enriquecem a água da chuva em Fe, Mg, Mn, Ba, Rb, V, Ca, Na, K, Sr, Ni, Mo, Zn, Cu, Pb,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{PO}_4^3$ . Os elementos Fe, Mg, Mn, Ba, Rb e V, são originados do intemperismo das rochas. Além disso os dados mostram que há influências de aerossóis marinhos para Na, Mg e Cl e dos gases produzidos diretamente na queima de combustíveis fósseis para Zn, Cu, Pb e Mo.

Os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta\text{D}$  nas águas de chuvas mostram que Apuí, Tabatinga, Itapiranga e Parintins apresentam menor fracionamento no período de estiagem (julho a novembro) e portanto maior contribuição da evapotranspiração da vegetação em condição de clima menos chuvoso, pois gera água cada vez mais rica em  $^{16}\text{O}$ . Já em Manaus e Boa Vista ocorre o inverso, com menor fracionamento no mês de maior índice pluviométrico. Isso pode estar relacionado a quantidade de chuva e temperatura, mas um possível aumento de  $\delta^{18}\text{O}$  na atmosfera em consequência da queima de combustíveis não deve ser descartado, porém estudos devem ser realizados para confirmar tal hipótese.

A variabilidade observada mostra que não há um padrão único de fracionamento isotópico, bem como na composição química da água de chuva nos locais estudados. E isso pode ser atribuído a influências locais da vegetação, temperatura, intensidade de precipitação e movimentos de massas de ar que aportam poeiras e gases que ao se dissolverem na água da chuva modificam a química.

## 10. Referências

- ALVES C. 2005. Aerossóis atmosféricos: Perspectiva histórica, fontes, processos químicos de formação e composição orgânica. *Química Nova*, 28, 859-870.
- ANDREAE, M. O.; CRUTZEN, P. J. 1997. Atmospheric aerosols: biogeochemical sources and role in atmospheric chemistry. *Science*, 276: 1.052-1.058.
- ANDREAE, M.O.; ALMEIDA, S. S. DE; ARTAXO, P.; BRANDÃO, C.; CARSWELL, F. E.; CICCIOLI, P.; CULF, A.; ESTEVES, J. L.; GASH, J.; GRACE, J.; KABAT, P.; LELIEVELD, J.; MALHI, Y.; MANZI, A. O.; MEIXNER, F. X.; NOBRE, A.; NOBRE, C.; RUIVO, M. A. DE L.; SILVA-DIAS, M. A. F.; STEFANI, P.; VALENTINI, R.; JOUANNE, J. VON; WATERLOO, M. 2002. Biogeochemical cycling of carbon, water, energy, trace gases and aerosols in Amazonia: The LBA-EUSTACH experiments. *Journal of Geophysical Research*, 07, 20, p.8.066 – 8.09.
- ANDREAE, M.O.; ROSENFELD, D.; ARTAXO, P.; COSTA, A. A.; FRANK, G. P.; LONGO, K. M.; SILVA DIAS, M. A. F. 2004. Smoking rain clouds over the Amazon. *Science*, 303: 1342-13.
- ARTAXO, P.; MAENHAUT, W.; STORMS, H.; VAN GRIEKEN, R. 1990, Aerosol characteristics and sources for the Amazon basin during the wet season. *Journal of Geophysical Research*, 95 (D10): 16.971-16.985.
- ARTAXO, P.; MARTINS, J. V.; YAMASOE, M. A.; PROCÓPIO, A. S.; PAULIQUEVIS, T. M.; ANDREAE, M. O.; GUYON, P.; GATTI, L. V.; CORDOVA, A. M. 2002. Physical and chemical properties of aerosols in the wet and dry season in Rondônia, Amazonia. *Journal of Geophysical Research*, 107 (D20) 8.081–8.095.
- ARTAXO, P. 2004. Mudanças climáticas globais e a Amazônia. *Ciência Hoje* , 35, 206, 40-42.
- ARTAXO P.; GATTI L. V.; LEAL A. M. C.; LONGO C. M.; FREITAS S. R.; LARA L. L.; PAULIQUEVES T. M.; PROCÓPIO A. S.; RIZZO L. V. 2005. Química atmosférica na Amazônia: A floresta e as emissões de queimadas controlando a composição da atmosfera amazônica. *Acta Amazônica*, 35(2), 185-196.
- ARTAXO P.; OLIVEIRA, P. H.; LARA, L. L.; PAULIQUEVES T. M.; RIZZO L. V.; JUNIOR C. P.; PAIXÃO, M. A.; LONGO, K.M.; FREITAS, F.; CORREIA, A. L. B. 2006. Efeitos climáticos de partículas de aerossóis biogênicos e emitidos em queimadas na Amazônia. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 21(3), 1-22.
- AZEVEDO A. 1964. Brasil, a terra e o homem. São Paulo: Nacional, vol 1, p 429 e 430.
- BERNER, E. K. & BERNER, R. A. R. 1987. *Global water cycle, geochemistry and environmental*, New jersey, Prentice Hall, p 397.
- BONETTI, José Carlos. Pressupostos bioclimáticos de conforto térmico para uma arquitetura dos trópicos úmidos. Manaus, 1999. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais), Universidade Federal do Amazonas. p 57.
- CAMPOS, V. P.; COSTA, A. C. A.; TAVARES, T. M. 1998. Comparação de dois tipos de amostragem de chuva: deposição total e deposição apenas úmida em área costeira tropical. *Química Nova* 21(4), 418-421.
- CELLE-JEANTON, H.; GONFIANTINI, R.; TRAVI, Y.; SOL, B. 2004. Oxygen-18 variations of rainwater during precipitation: application of the Rayleigh model to selected rainfalls in southern France. *Journal of Hydrology*. 289, 165-177.
- CLARK, I. & FRITZ, P. 1997. *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. New York, CRC Press. 328p.
- CONCEIÇÃO F. T. e BONOTTO D. M. 2004. Weathering rates and anthropogenic influences in a sedimentary basin, São Paulo State, Brazil. *Applied Geochemistry*, 19, 575-591.

- CORNU S.; LUCAS Y.; AMBROSI J. P & DESJARDINS T. 1998. Transfer of dissolved Al, Fe and Si in two Amazonian Forest environments in Brasil. *European Journal of Soil Science*, 49, 337-384.
- DALL'OLIO A.; SALATI, E.; AZEVEDO, C.T. & MATSUI, E. 1979. Modelo de fracionamento isotópico da água na bacia Amazônica (Primeira aproximação) *Acta Amazonica*, 9, 675-687.
- DANSGAARD. W. 1964. Stable isotopes in precipitation. *Tellus*. 16, 436-468.
- DINGMAN, S. L. *Physical hydrology: upper saddle river*. New Jersey: Prentice-Hall, 1993. 575 p.
- DREVER J. I. 1997. *The geochemistry of natural waters: surface and groundwater environments*. 3rd ed. 345p.
- DUCE, R. A.; HOFFMAN G. L.; ZOLLER W. H. 1975. Atmospheric trace metals at remote northern and southern hemisphere sites-pollution or natural?. *Science*. 187, 339-342.
- ESTEVES F.A., 1998. *Fundamentos de Limnologia*. 2ª ed. Editora Interciência Ltda. 60 p.
- EPSTEIN, S. AND MAYEDA, T. 1953. Variations of oxygen-18 content of water from natural sources. *Geochimical Cosmochimical Acta*. 4, 213-224.
- FEARNSIDE P. M. 2004. A água de São Paulo e a floresta amazônica. *Ciência hoje*, 34, 63-65.
- FORTI M. C.; MOREIRA-NORDEMANN L. M. 1991. Rainwater and Throughfall in a "Terra Firme" na Rain Florest: Central Amazonia. *Journal of Geophysical Research*. 96, D4, 7415-7421.
- FREYDIER, R.; DUPRÉ, B.; DANDURAND, J.L.; FORTUNE, J.P.; SINGHANKAMDJOU, L. 2002. Trace elements and major species in precipitation at African Stations concentrations and sources. *Bll. Soc. Geol. France*. 173, 2, 129-146.
- FRICKE, H. C. e O'NEIL, J. R. 1999. The correlation between  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  ratios of meteoric water and surface temperature: its use in investigating terrestrial climate change over geologic time. *Eart and Planetary Science Letters* 170, 181-196.
- GALLOWAY, J. N.; LIKENS, G. E.; KEENE, W. C.; MILLER, J. M. 1982. The composition of precipitation in remote areas of the world. *Journal of Geophysical Research*. 87, 11, 8771-8786.
- GAUDICHET, A.; ECHALAR F.; CHATENET B.; QUISEFIT J. P.; MALINGRE G.; CACHIER H.; BUAT-MENARD P.; ARTAXO P.; MAENHAUT W. 1995. Trace elements in tropical African savanna biomass burning aerosols. *Journal Atmospheric Chemical*. 22, 19-39.
- GONFIANTINI, R. 1985. On the isotopic composition of precipitation in tropical stations. *Acta Amazonica*, 15, 121-139.
- IBGE – 2007 – Publicação On-line: Disponível em: <http://www.ibge.gov.br> Acesso em 09 de setembro de 2007.
- KEENE, W. C. ; PSZENNY, A. A. P.; GALLOWAY, J. N.; HAWLEY, M. E.; 1986. Sea-salt corrections and interpretation of constituent ratios in marine precipitation. *Journal of Geophysical Research*, 91, 6647-6658.
- LARA, L. B. L. S.; ARTAXO, P.; MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R. L.; CAMARGO, P. B.; KRUSCHE, A.; AYERS, G.; FERRAZ, E. S.B.; BALLESTER, M. V. 2001. Chemical composition of rainwater and landuse changes in Piracicaba river basin: Southeast Brasil. *Atmospheric Environment* 35, 4937-4945.
- LEAL, T. F. M.; FONTENELE, A. P. G.; PEDROTTI, J. J.; FORNARO, A. 2004. Composição iônica majoritária de águas de chuva no centro da cidade de São Paulo. *Química Nova*, 27, 6.

- LEOPOLDO, P.R.; MATSUI, E.; SOUSA, A.P. & SALATI, E. 1980. Fracionamento isotópico aplicado ao estudo de evapotranspiração. *Energia Nuclear e Agricultura*, 2, 57-70.
- LEOPOLDO, P.R.; MATSUI, E.; SALATI, E.; FRANKEN, W. & RIBEIRO, M.N.G. 1982. Composição isotópica da água de chuva e da água do solo em floresta amazônica do tipo terra firme, região de Manaus. *Acta Amazonica*, 12, 7-13.
- LIOUSSE C.; CACHIER, H.; GRÉGOIRE, J. M.; PENNER, J.; LAVOUÉ, D.; HOBBS, P.; SCHOLLES, M.; BARBOSA, P.; ANDREAE, M. O.; ARTAXO, P. 2004. Deriving global quantitative estimates for spatial and temporal distributions of biomass burning emissions. 77-140.
- MATSUI, E.; SALATI, E.; BRINKMANN, W.L.F. & FRIEDMAN, J. 1972. Vazões relativas dos rios Negro e Solimões através das concentrações de  $^{18}\text{O}$ . *Acta Amazonica*, 2, 31-46.
- MATSUI, E.; SALATI, E.; RIBEIRO, M.N.G.; REIS, C.M.; TANCREDI, A.C.S.N.F. & GAT, J.R. 1983. Precipitation in the Central Amazon basin: - The isotopic composition of rain and atmospheric moisture at Belém and Manaus. *Acta Amazonica*, 13: 307-369.
- MAZOR, E. 1991. Chemical and isotopic groundwater hydrology. Dhe applied approach. Editorial Marcel Bekker, inc. 413p.
- MELLO, W.Z. 2001. Precipitation chemistry in the coast of the Metropolitan Region of Rio de Janeiro, Brazil. *Environmental Pollution* 114, 235-242.
- MIGLIAVACCA, D.; TEIXEIRA, E. C.; WIEGAND, F.; MACHADO, A. C. M.; SANCHEZ J. 2005 (1) . Atmospheric precipitation and chemical composition of an urban site, Guaíba hydrographic basin, Brazil. *Atmospheric Environment* 39, 1829-1844.
- MIGLIAVACCA, D. M; TEIXEIRA, E. C.; MACHADO, A. C. M. 2005 (2). Composição química da precipitação atmosférica no sul do Brasil – Estudo preliminar. *Química Nova* 28, 3, 371-379.
- NIMER, Edson. *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 1979.
- ROBERTS, G. C.; ANDREAE, M. O.; ZHOU J.; ARTAXO, P. 2001. Cloud condensation nuclei in the Amazon basin: “marine conditions over a continent?”. *Geophysical Research Letters*, 28(14), 2.807-2.810.
- RIZZO, L. V. 2002. Modelamento de propriedades físicas e químicas de aerossóis e suas interações com gases traços na Amazônia. Masters Thesis Instituto de Física da USP, São Paulo, São Paulo, 240 p.
- SAIKAT SENGUPTA, A. S. 2006. Stable isotope evidence of dual (Arabian Sea and Bay of Bengal) vapour sources in monsoonal precipitation over north India. *Earth and planetary Science Letters*. 250, 511-521.
- SALATI, E.; DALL'OLIO A.; MATSUI, E. & GAT, J.R. 1979b. Recycling of water in the Amazon basin: an isotopic study. *Water Resources Research*, 15, 1250-1258.
- SANHUEZA, E.; FIGUEROA, L.; SANTANA, M. 1996. Atmospheric formic and acetic acids in Venezuela. *Atmospheric Environmet*. 30, 861-87.
- SANTOS A. G. S., 2004. Hidrogeoquímica da região dos lagos da porção central do estado do Amazonas. Dissertação de mestrado do programa de Pós-Graduação em Geociências - UFAM.
- SOUZA, P. A.; MELLO, W. Z.; MALDONADO, J. 2006. Composição química da chuva e aporte atmosférico na Ilha Grande, RJ. *Química Nova* 29, 3, 471-476.
- STALLARD R. F. and EDMOND J. M., 1983. Geochemistry of the amazon 2. The influence of geology and weathering environment on the dissolved load. *Journal of geophysical research*, 88, 9671-9688.

- TRESMONDI, A.C. C. L.; TOMAZ, E.; KRUSCHE, A. V. 2005. Avaliação de pH e composição iônica das águas de chuva em Paulínia-SP. Engenharia ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 2, n. 1, p. 070-084.
- WHITBY, K. T. 1973. IIIth International Conference on Nucleation, Leningrad, URSS.
- WILLIAMS, M. R.; FISHER T. R.; MELACK J. M. 1997. Gemical Composition and Deposition of Rain in the Central Amazon, Brasil. Atmospheric Environment, 31(2), 207-217.
- YAMASOE, M. A.; 1999. Estudos de propriedades ópticas de partículas de aerossóis a partir de uma rede de radiômetros solares. PhD Tese Instituto de Física da USP, São Paulo, 255 p.

# ANEXOS

Tabela 15: Composição química mensal dos cátions, ânions e SiO<sub>2</sub> na água de chuva (µg L<sup>-1</sup>) nos locais amostrados.

Locais	Meses	PPT (mm)	pH	Cond. (µs cm <sup>-1</sup> )	CÁTIONS (µg L <sup>-1</sup> )					ÂNIONS (µg L <sup>-1</sup> )					
					Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	H <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	F <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
BOA VISTA	J	101,7	4,1	2,9	349	163	66	20	79	129	472	351	<LD	<LD	37
	F	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	M	7,7	4,5	10,9	818	2051	431	94	32	676	2457	4010	<LD	<LD	373
	A	63,8	4,2	2,9	183	255	62	6	63		63	176	<LD	<LD	46
	M	562,3	4	5,1	210	283	63	35	100	171	244	531	<LD	<LD	1
	J	459,2	4	12,2	8536	4764	495	394	100	152	351	566	<LD	<LD	250
	J	395,7	4,6	4,1	112	139	96	10	25	135	349	138	<LD	<LD	37
	A	167,2	5,8	3,1	88	223	83	8	2	136	<LD	51	<LD	<LD	<LD
	S	168,8	5,6	5,4	188	243	80	10	3	132	<LD	61	<LD	<LD	<LD
	O	39,4	5,2	5,4	67	615	33	7	6	454	<LD	104	<LD	<LD	<LD
	N	23,2	5,1	5,3	117	215	133	7	8	257	935	276	<LD	<LD	14
	D	3,1	5	5,9	137	398	140	8	10	157	335	176	<LD	<LD	14
	<b>Média</b>	<b>181,1</b>	<b>4,7</b>	<b>5,7</b>	<b>982</b>	<b>850</b>	<b>153</b>	<b>54</b>	<b>39</b>	<b>240</b>	<b>-</b>	<b>585</b>	<LD	<LD	<b>-</b>
MANAUS	J	293	4,2	7,5	1388	604	153	73	63	400	623	294	<LD	<LD	36
	F	265,5	4,9	6,4	136	31	23	6	13	516	<LD	69	<LD	<LD	31
	M	241,8	4,7	7,1	310	388	65	33	20	659	548	542	<LD	<LD	52
	A	342,8	3,4	14,3	341	265	79	20	398	1053	1083	124	<LD	<LD	21
	M	437,2	4,2	4,9	332	249	73	17	63	249	<LD	149	<LD	<LD	18
	J	67,9	4,2	5	884	201	116	48	63	546	<LD	222	<LD	<LD	66
	J	84,9	4,3	5,7	1600	671	445	154	50	4259	2309	1000	<LD	<LD	160
	A	38,7	4	6	2200	598	375	126	100	4456	3185	2939	<LD	<LD	91
	S	46,5	4	7,5	3008	1858	560	225	100	4203	2338	838	<LD	<LD	114
	O	80,4	3,8	10,5	3297	491	308	103	158	4285	2232	660	<LD	<LD	77
	N	205,9	3,9	11	385	300	121	65	126	440	956	405	<LD	<LD	50
	D	347,9	4	9	404	312	136	67	100	456	1103	418	<LD	<LD	47
	<b>Média</b>	<b>204,4</b>	<b>4,2</b>	<b>7,7</b>	<b>1190</b>	<b>497</b>	<b>204</b>	<b>78</b>	<b>104</b>	<b>1794</b>	<b>-</b>	<b>638</b>	<LD	<LD	<b>64</b>
MANAUS FLORESTA	J	293	4,3	15,7	894	932	513	245	50	2659	364	1024	148	20	92
	F	265,5	4,4	11,4	993	275	1188	118	40	1664	244	141	<LD	<LD	129
	M	241,8	4,5	21,8	2052	307	713	274	32	3337	400	759	<LD	<LD	478
	A	342,8	4	16,9	728	213	539	265	100	1501	1096	101	<LD	<LD	61
	M	437,2	4	21,1	1623	575	759	262	100	3585	363	366	<LD	<LD	141
	J	67,9	3,7	20,1	19208	2263	2074	404	200	5671	1169	790	883	<LD	185
	J	84,9	3,8	18	48834	2702	1731	943	158	8153	4760	2818	<LD	83	487
	A	38,7	3,8	18	40097	2477	1488	994	158	8136	4401	2465	<LD	89	516
	S	46,5	3,9	20	5227	1420	1745	994	126	8074	4281	1468	<LD	79	550
	O	80,4	3,8	20,8	16829	1917	1423	669	158	8116	4448	2471	<LD	<LD	365
	N	205,9	4,1	16,1	690	611	398	115	79	1250	1208	567	<LD	<LD	56
	D	347,9	4,2	15,3	655	631	400	107	63	1256	1085	554	<LD	<LD	56
	<b>Média</b>	<b>204,4</b>	<b>4,0</b>	<b>17,9</b>	<b>11486</b>	<b>1194</b>	<b>1081</b>	<b>449</b>	<b>105</b>	<b>4450</b>	<b>1985</b>	<b>1127</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>260</b>
APUÍ	J	180,8	5	2,1	958	415	73	19	10	400	<LD	300	<LD	<LD	18
	F	290,3	4,9	9,7	978	418	75	20	13	179	<LD	187	<LD	<LD	19
	M	315,8	5,2	10,1	377	1702	236	34	6	1295	155	815	490	<LD	32
	A	379,6	4,9	2,6	121	123	25	6	13	73	<LD	130	<LD	<LD	<LD
	M	156,9	5	17,2	131	143	35	11	10	3370	99	225	1401	<LD	<LD
	J	2,9	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	J	2	4	4,5	132	278	41	11	100	231	154	323	<LD	<LD	<LD
	A	2,5	4	18,7	225	1687	209	23	100	2369	917	411	1355	<LD	11
	S	171,1	4,1	17,6	275	3815	226	79	79	3832	1027	541	2629	<LD	31
	O	164,8	4,2	16,8	258	4841	173	38	63	1997	609	345	<LD	<LD	11
	N	211,9	4,3	15,8	209	2335	104	21	50	2515	206	389	<LD	<LD	157
	D	202,8	4,4	17,8	211	3067	120	16	40	1316	299	193	<LD	<LD	18
	<b>Média</b>	<b>173,5</b>	<b>4,5</b>	<b>12,1</b>	<b>352</b>	<b>1711</b>	<b>120</b>	<b>25</b>	<b>44</b>	<b>1598</b>	<b>-</b>	<b>351</b>	<b>-</b>	<b>&lt;LD</b>	<b>-</b>



Continuação da Tabela 15.

Locais	Meses	PPT (mm)	pH	Cond. ( $\mu\text{s cm}^{-1}$ )	CÁTIONS ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )					ÂNIONS ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )					
					Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	H <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	F <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
TABATINGA	J	261,2	5,9	5	174	250	68	16	1	269	<LD	195	<LD	<LD	<LD
	F	159,2	5,7	5	174	350	98	17	2	287	<LD	193	<LD	<LD	<LD
	M	233,1	5,8	5	179	394	63	14	2	249	<LD	472	<LD	<LD	66
	A	227,8	5,7	4,6	34	16	7	2	2	<LD	3457	<LD	<LD	<LD	5
	M	102,9	5,3	5,1	525	441	134	25	5	152	<LD	33	<LD	<LD	89
	J	66,8	4,9	2,9	215	180	97	19	13	145	<LD	204	<LD	<LD	35
	J	56,1	4,2	3,6	162	35	60	11	63	149	541	76	<LD	<LD	11
	A	91,6	3,9	4,2	168	79	74	13	126	177	514	68	<LD	<LD	5
	S	91,7	4,0	5,5	152	39	64	12	100	178	614	58	<LD	<LD	7
	O	104,8	4,8	5,6	133	56	64	15	16	187	713	65	<LD	<LD	9
	N	147	5,2	5,5	125	45	76	15	6	65	106	132	<LD	<LD	19
	D	194,8	5,4	6	97	34	60	11	4	62	108	60	<LD	<LD	15
	<b>Média</b>	<b>144,8</b>	<b>5,1</b>	<b>4,8</b>	<b>178</b>	<b>160</b>	<b>72</b>	<b>14</b>	<b>28</b>	-	-	-	<LD	<LD	-
ITAPIRANGA	J	280,9	2,8	10,4	735	835	276	77	1584	200	1500	300	<LD	<LD	62
	F	325,3	3,6	5,8	177	226	75	23	251	100	<LD	100	<LD	<LD	25
	M	276,1	3,8	5,7	271	201	121	55	158	288	424	640	<LD	<LD	14
	A	284	4,3	3,8	200	139	148	18	50	155	<LD	<LD	<LD	<LD	50
	M	165,1	4,5	3,9	98	22	79	11	32	173	209	354	<LD	<LD	5
	J	50,8	4,5	4,1	93	46	90	11	32	113	212	53	<LD	<LD	<LD
	J	62,5	4,6	12,2	449	222	1722	86	25	301	78	380	<LD	<LD	4314
	A	13,8	4,5	4,5	133	62	159	17	32	108	177	60	<LD	<LD	41
	S	21,8	4,2	11,0	436	257	1725	86	63	303	261	365	<LD	<LD	4331
	O	17,8	4,0	5,2	83	259	179	23	100	313	679	269	<LD	<LD	134
	N	164	4,1	5,6	83	259	179	23	79	279	423	322	<LD	<LD	935
	D	222,9	4,0	6,0	139	262	372	43	100	238	323	302	<LD	<LD	935
	<b>Média</b>	<b>157,1</b>	<b>4,1</b>	<b>6,5</b>	<b>242</b>	<b>232</b>	<b>427</b>	<b>39</b>	<b>209</b>	<b>214</b>	-	-	<LD	<LD	-
PARINTINS	J	203	5,1	4	490	752	135	35	8	46	568	192	<LD	<LD	29
	F	429,4	5,7	5,7	250	186	67	34	2	253	279	383	<LD	<LD	56
	M	388,6	5,7	4,4	685	574	173	70	2	163	134	618	<LD	<LD	121
	A	299	5,8	6	355	174	72	38	2	277	374	299	<LD	<LD	29
	M	253,9	5,6	4,1	315	162	82	39	3	134	255	123	<LD	<LD	30
	J	157,6	4,4	5,7	422	117	82	35	40	315	275	449	<LD	<LD	34
	J	123,3	4,5	8,2	640	102	94	50	32	240	364	168	<LD	<LD	104
	A	41	4,2	7,1	199	382	74	23	63	546	151	224	209	<LD	9
	S	45,4	4,3	8,8	499	116	74	31	50	1235	149	1914	<LD	20	29
	O	29,7	4,5	7,1	259	160	102	35	32	284	730	233	<LD	<LD	23
	N	199,5	4,9	7,2	414	195	160	48	13	398	630	281	<LD	<LD	31
	D	282	5	8,3	488	1085	115	72	10	997	575	501	<LD	<LD	51
	<b>Média</b>	<b>204,4</b>	<b>5,0</b>	<b>6,4</b>	<b>418</b>	<b>334</b>	<b>102</b>	<b>43</b>	<b>21</b>	<b>407</b>	<b>374</b>	<b>449</b>	-	-	<b>46</b>

\* não choveu

<LD - menor que o limite de detecção

Tabela 16: Composição química mensal dos cátions, ânions e SiO<sub>2</sub> na água de chuva (µeq L<sup>-1</sup>) nos locais amostrados.

Locais	Meses	PPT (mm)	pH	Cond. (µs cm <sup>-1</sup> )	CÁTIONS (µeq L <sup>-1</sup> )					ÂNIONS (µeq L <sup>-1</sup> )					Σ <sup>+</sup>	Σ <sup>-</sup>	Σ <sup>+</sup> /Σ <sup>-</sup>	BI (%)	
					H <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	F <sup>-</sup>					SiO <sub>2</sub>
BOA VISTA	J	101,7	4,1	2,9	79,4	17	7	2	2	3	8	10	<LD	<LD	0,6	107	20	5,3	68,3
	F	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	M	7,7	4,5	10,9	31,6	41	89	11	8	14	40	113	<LD	<LD	6,2	180	167	1,1	3,9
	A	63,8	4,2	2,9	63,0	9	11	2	0,5	<LD	1	5	<LD	<LD	0,8	85	6	14,3	86,9
	M	562,3	4	5,1	100,0	10	12	2	3	4	4	15	<LD	<LD	0,2	127	22	5,7	70,0
	J	459,2	4	12,2	100,0	426	207	13	32	3	6	16	<LD	<LD	4,2	778	25	31,4	93,8
	J	395,7	4,6	4,1	25,1	6	6	2	1	3	6	4	<LD	<LD	0,6	40	12	3,2	52,9
	A	167,2	5,8	3,1	1,6	4	10	2	1	3	<LD	1	<LD	<LD	<LD	18	4	4,3	62,4
	S	168,8	5,6	5,4	2,5	9	11	2	1	3	<LD	2	<LD	<LD	<LD	25	4	5,7	70,0
	O	39,4	5,2	5,4	6,3	3	27	1	1	9	<LD	3	<LD	<LD	<LD	38	12	3,0	50,5
	N	23,2	5,1	5,3	7,9	6	9	3	1	5	15	8	<LD	<LD	0,2	27	28	1,0	-2,1
	D	3,1	5	5,9	10,0	7	17	4	1	3	5	5	<LD	<LD	0,2	38	14	2,8	47,5
MANAUS	J	293	4,2	7,5	63,0	69	26	4	6	8	10	8	<LD	<LD	0,6	168	27	6,3	72,7
	F	265,5	4,9	6,4	12,5	7	1	1	1	11	<LD	2	<LD	<LD	0,5	22	13	1,7	26,3
	M	241,8	4,7	7,1	19,9	15	17	2	3	14	9	15	<LD	<LD	0,9	57	38	1,5	19,9
	A	342,8	3,4	14,3	398,1	17	12	2	2	22	17	3	<LD	<LD	0,3	430	43	10,0	81,9
	M	437,2	4,2	4,9	63,0	17	11	2	1	5	<LD	4	<LD	<LD	0,3	94	9	10,0	81,8
	J	67,9	4,2	5	63,0	44	9	3	4	11	<LD	6	<LD	<LD	1	123	18	7,0	74,9
	J	84,9	4,3	5,7	50,1	80	29	11	13	89	37	28	<LD	<LD	3	183	154	1,2	8,6
	A	38,7	4	6	100,0	110	26	10	10	93	51	83	<LD	<LD	2	256	227	1,1	5,9
	S	46,5	4	7,5	100,0	150	81	14	18	88	38	24	<LD	<LD	2	364	149	2,4	41,9
	O	80,4	3,8	10,5	158,4	164	21	8	8	89	36	19	<LD	<LD	1	361	144	2,5	43,0
	N	205,9	3,9	11	125,8	19	13	3	5	9	15	11	<LD	<LD	1	166	36	4,6	64,5
	D	347,9	4	9	100,0	20	14	3	5	9	18	12	<LD	<LD	1	143	39	3,7	57,0
MANAUS FLORESTA	J	293	4,3	15,7	50,1	45	41	13	20	55	6	29	4,66	1,06	1,5	169	90	1,9	30,3
	F	265,5	4,4	11,4	39,8	50	12	30	10	35	4	4	<LD	<LD	2	141	43	3,3	53,8
	M	241,8	4,5	21,8	31,6	102	13	18	23	69	6	21	<LD	<LD	8	188	97	1,9	31,8
	A	342,8	4	16,9	100,0	36	9	14	22	31	18	3	<LD	<LD	1	181	52	3,5	55,6
	M	437,2	4	21,1	100,0	81	25	19	22	75	6	10	<LD	<LD	2	247	91	2,7	46,2
	J	67,9	3,7	20,1	199,5	958	98	53	33	118	19	22	27,89	<LD	3	1343	159	8,4	78,8
	J	84,9	3,8	18	158,4	2437	117	44	78	170	77	79	<LD	4,37	8	2835	326	8,7	79,4
	A	38,7	3,8	18	158,4	2001	108	38	82	169	71	70	<LD	4,68	8,6	2387	310	7,7	77,0
	S	46,5	3,9	20	125,8	261	62	45	82	168	69	41	<LD	4,16	9	575	279	2,1	34,7
	O	80,4	3,8	20,8	158,4	840	83	36	55	169	72	70	<LD	<LD	6	1173	310	3,8	58,2
	N	205,9	4,1	16,1	79,4	34	27	10	9	26	19	16	<LD	<LD	1	160	61	2,6	44,5
	D	347,9	4,2	15,3	63,0	33	27	10	9	26	18	16	<LD	<LD	1	142	59	2,4	41,1
APUÍ	J	180,8	5	2,1	10,0	48	18	2	2	8	<LD	8	<LD	<LD	0,3	79	17	4,7	65,1
	F	290,3	4,9	9,7	12,5	49	18	2	2	4	<LD	5	<LD	<LD	0,3	83	9	9,2	80,4
	M	315,8	5,2	10,1	6,3	19	74	6	3	27	2	23	15,47	<LD	0,5	108	52	2,1	34,6
	A	379,6	4,9	2,6	12,5	6	5	1	0,5	2	<LD	4	<LD	<LD	<LD	25	5	4,8	65,7
	M	156,9	5	17,2	10,0	7	6	1	1	70	2	6	44,26	<LD	<LD	25	78	0,3	-52,1
	J	2,9	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	J	2	4	4,5	100,0	7	12	1	1	5	2	9	<LD	<LD	<LD	121	16	7,4	76,1
	A	2,5	4	18,7	100,0	11	73	5	2	49	15	12	43	<LD	0,2	192	76	2,5	43,4
	S	171,1	4,1	17,6	79,4	14	166	6	7	80	17	15	83	<LD	0,5	271	112	2,4	41,7
	O	164,8	4,2	16,8	63,0	13	210	4	3	42	10	10	<LD	<LD	0,2	294	61	4,8	65,6
	N	211,9	4,3	15,8	50,1	10	102	3	2	52	3	11	<LD	<LD	2,6	166	67	2,5	42,8
	D	202,8	4,4	17,8	39,8	11	133	3	1	27	5	5	<LD	<LD	0,3	188	38	5,0	66,6

Continuação da Tabela 16.

Locais	Meses	PPT (mm)	pH	Cond. ( $\mu\text{s cm}^{-1}$ )	CÁTIONS ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ )					ÂNIONS ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ )						$\Sigma^+$	$\Sigma^-$	$\Sigma^+/\Sigma^-$	BI (%)
					H <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	F <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>				
TABATINGA	J	261,2	5,9	5	1,2	9	11	2	1	6	<LD	6	<LD	<LD	<LD	24	11	2,1	36,4
	F	159,2	5,7	5	1,9	9	15	3	1	6	<LD	5	<LD	<LD	<LD	30	11	2,6	44,4
	M	233,1	5,8	5	1,5	9	17	2	1	5	<LD	13	<LD	<LD	1,1	30	18	1,6	24,2
	A	227,8	5,7	4,6	1,9	2	1	0,2	0,2	<LD	56	<LD	<LD	<LD	0,1	5	56	0,1	-84,6
	M	102,9	5,3	5,1	5,0	26	19	3	2	3	<LD	1	<LD	<LD	1,5	56	4	13,6	86,3
	J	66,8	4,9	2,9	12,5	11	8	2	2	3	<LD	6	<LD	<LD	0,6	35	9	4,0	60,1
	J	56,1	4,2	3,6	63,0	8	2	2	1	3	9	2	<LD	<LD	0,2	75	14	5,4	68,6
	A	91,6	3,9	4,2	125,8	8	3	2	1	4	8	2	<LD	<LD	0,1	141	14	10,1	82,0
	S	91,7	4,0	5,5	100	8	2	2	1	4	10	2	<LD	<LD	0,1	112	15	7,3	76,0
	O	104,8	4,8	5,6	15,8	7	2	2	1	4	11	2	<LD	<LD	0,2	28	17	1,6	23,3
	N	147	5,2	5,5	6,3	6	2	2	1	1	2	4	<LD	<LD	0,3	18	7	2,6	44,6
D	194,8	5,4	6	3,98	5	1	2	1	1	2	2	<LD	<LD	0,2	13	5	2,7	45,9	
ITAPIRANGA	J	280,9	2,8	10,4	1584,0	37	36	7	6	4	24	8	<LD	<LD	1,0	1670	37	45,4	95,7
	F	325,3	3,6	5,8	251,1	9	10	2	2	2	0	3	<LD	<LD	0,4	274	5	55,8	96,5
	M	276,1	3,8	5,7	158,4	14	9	3	5	6	7	18	<LD	<LD	0,2	188	31	6,1	71,8
	A	284	4,3	3,8	50,1	10	6	4	2	3	<LD	<LD	<LD	<LD	0,8	71	3	22,2	91,4
	M	165,1	4,5	3,9	31,6	5	1	2	1	4	3	10	<LD	<LD	0,1	40	17	2,4	40,9
	J	50,8	4,5	4,1	31,6	5	2	2	1	2	3	1	<LD	<LD	0,0	41	7	5,7	70,2
	J	62,5	4,6	12,2	25,1	22	10	44	7	6	1	11	<LD	<LD	71,8	108	18	5,9	71,2
	A	13,8	4,5	4,5	31,6	7	3	4	1	2	3	2	<LD	<LD	0,7	46	7	6,8	74,5
	S	21,8	4,2	11,0	63,0	22	11	44	7	6	4	10	<LD	<LD	72,1	147	21	7,1	75,2
	O	17,8	4,0	5,2	100,0	4	11	5	2	7	11	8	<LD	<LD	2,2	122	25	4,9	65,9
	N	164	4,1	5,6	79,4	4	11	5	2	6	7	9	<LD	<LD	15,6	101	22	4,7	64,7
D	222,9	4,0	6,0	100,0	7	11	10	4	5	5	9	<LD	<LD	15,6	131	19	7,0	75,1	
PARINTINS	J	203	5,1	4	7,9	24	33	3	3	1	9	5	<LD	<LD	0,5	71	16	4,6	64,2
	F	429,4	5,7	5,7	1,9	12	8	2	3	5	4	11	<LD	<LD	0,9	27	21	1,3	13,5
	M	388,6	5,7	4,4	1,9	34	25	4	6	3	2	17	<LD	<LD	2,0	71	23	3,1	51,2
	A	299	5,8	6	1,58	18	8	2	3	6	6	8	<LD	<LD	0,5	32	20	1,6	22,3
	M	253,9	5,6	4,1	2,51	16	7	2	3	3	4	3	<LD	<LD	0,5	31	10	3,0	49,5
	J	157,6	4,4	5,7	39,8	21	5	2	3	7	4	13	<LD	<LD	0,6	71	24	3,0	50,0
	J	123,3	4,5	8,2	31,6	32	4	2	4	5	6	5	<LD	<LD	1,7	75	16	4,8	65,4
	A	41	4,2	7,1	63	10	17	2	2	11	2	6	6,6	<LD	0,1	93	20	4,6	64,5
	S	45,4	4,3	8,8	50,1	25	5	2	3	26	2	54	<LD	1,1	0,5	84	82	1,0	1,4
	O	29,7	4,5	7,1	31,6	13	7	3	3	6	12	7	<LD	<LD	0,4	57	24	2,3	40,3
	N	199,5	4,9	7,2	12,5	21	8	4	4	8	10	8	<LD	<LD	0,5	50	26	1,9	30,7
D	282	5	8,3	10	24	47	3	6	21	9	14	<LD	<LD	0,8	90	44	2,0	34,3	

\* não choveu

< LD - menor que o limite de detecção

Tabela 17: Composição química mensal dos elementos-traço na água de chuva ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) nos locais amostrados.

Locais	Meses	ELEMENTOS-TRAÇO ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )											
		Al	Zn	Fe	Sr	Mn	Cu	Ba	Ni	Rb	V	Pb	Mo
BOA VISTA	J	15	125	17	2	1	2	1	1	0,1	0,09	0,3	2
	F	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	M	11	19	7	10	4	10	2	8	1	0,4	0,2	0,8
	A	12	24	6	1	0,2	1	0,2	0,5	0,1	0,02	0,3	0,1
	M	15	15	6	1	1	1	1	0,5	0,1	0,09	0,2	0,07
	J	191	114	83	51	20	8	6	3	1	0,6	2	0,4
	J	6	13	4	0,3	0,4	6	0,4	1	0,2	0,02	0,2	0,01
	A	7	14	10	0,1	0,3	9	1	1	0,3	0,004	0,4	0,01
	S	11	13	6	1	0,2	7	1	1	0,2	0,003	0,3	0,004
	O	19	3	4	0,2	1	1	4	0,3	0,1	0,05	0,3	0,01
	N	11	4	3	0,3	1	2	5	0,2	0,1	0,05	0,4	0,01
	D	3	5	3	0,2	1	1	0,4	0,2	0,3	0,06	0,1	0,03
	<b>Média</b>		<b>27,4</b>	<b>31,9</b>	<b>13,3</b>	<b>6,1</b>	<b>2,7</b>	<b>4,4</b>	<b>2,0</b>	<b>1,5</b>	<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0,5</b>
MANAUS	J	16	13	23	10	1	4	2	2	0,4	0,4	1	0,23
	F	11	4	5	0,2	0	1	1	1	0,04	0,2	0,3	0,02
	M	22	9	10	1	3	1	1	1	0,1	0,4	0,2	0,05
	A	11	16	10	3	1	5	0,04	1	0,1	2	0,1	2
	M	10	8	5	2	0,5	2	0,02	1	0,2	0,3	0,01	2
	J	15	23	7	1	2	2	0,02	2	0,4	2	0,005	0,1
	J	64	72	69	4	5	15	0,1	12	1	4	0,04	0,3
	A	62	66	48	7	5	11	0,1	6	1	4	0,1	0,2
	S	79	80	59	59	7	16	0,1	8	1	4	0,1	1
	O	38	55	22	9	4	8	0,1	4	1	3	0,03	0,1
	N	43	8	29	2	4	1	3	1	0,3	0,4	0,4	0,04
	D	53	9	37	2	4	2	3	1	0,3	0,4	1	0,05
	<b>Média</b>		<b>35,4</b>	<b>30,3</b>	<b>27,0</b>	<b>8,3</b>	<b>3,0</b>	<b>5,7</b>	<b>0,8</b>	<b>3,3</b>	<b>0,5</b>	<b>1,7</b>	<b>0,2</b>
MANAUS FLORESTA	J	24	12	11	2	9	2	2	1	1	0,7	1	0,1
	F	17	7	30	7	3	2	2	1	3	0,5	0,5	0,04
	M	42	10	37	8	7	1	4	2	2	1	0,9	0,05
	A	30	9	18	4	17	2	2	1	2	1	1	1
	M	20	17	13	6	13	3	3	2	2	1	1	1
	J	76	88	28	68	10	9	7	4	5	2	3	0,3
	J	161	61	39	187	35	12	18	6	5	6	3	0,2
	A	176	55	67	184	38	10	19	6	5	7	2	0,2
	S	141	62	75	16	35	13	16	7	5	7	2	0,2
	O	125	49	21	60	23	10	11	4	4	4	2	0,1
	N	25	21	18	2	5	2	3	1	1	1	1	0,04
	D	24	23	18	3	5	2	3	1	1	1	1	0,04
	<b>Média</b>		<b>71,8</b>	<b>34,7</b>	<b>31,3</b>	<b>45,6</b>	<b>16,7</b>	<b>5,7</b>	<b>7,4</b>	<b>3,0</b>	<b>3,1</b>	<b>2,6</b>	<b>1,5</b>
APUÍ	J	25	37	8	6	3	4	0,9	9	0,2	0,09	0,8	0,2
	F	25	33	7	6	2	4	0,7	8	0,2	0,09	0,8	0,2
	M	28	64	31	4	5	9	0,9	5	0,5	0,2	0,7	0,2
	A	3	11	3	0,6	0,3	0,6	0,1	0,2	0,0	0,02	2	0,4
	M	5	10	4	0,3	0,5	0,8	0,1	0,1	0,1	0,02	1	0,1
	J	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	J	5	8	14	0,2	1	0,4	0,2	0,1	0,1	0,03	1	0,01
	A	13	36	8	0,4	3	4	1,3	2	0,4	0,04	0,9	0,03
	S	23	67	12	1	7	3	1	2	1	0,05	1	0,04
	O	20	9	11	0,4	6	4	0,3	2	0,3	0,04	1	0,05
	N	11	6	7	0,3	3	1	0,2	0,1	0,2	0,03	1	0,03
	D	24	9	10	0,2	4	3	0,3	1	0,2	0,03	1	0,04
	<b>Média</b>		<b>16,5</b>	<b>26,3</b>	<b>10,5</b>	<b>1,8</b>	<b>3,1</b>	<b>3,1</b>	<b>0,6</b>	<b>2,6</b>	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>1,0</b>

Continuação da Tabela 17.

Locais	Meses	ELEMENTOS-TRAÇO ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )											
		Al	Zn	Fe	Sr	Mn	Cu	Ba	Ni	Rb	V	Pb	Mo
TABATINGA	J	17	7	40	2	0,5	2	0,5	0,7	0,2	0,03	0,3	0,08
	F	18	15	41	2	0,6	2	0,5	0,8	0,2	0,04	0,3	0,08
	M	2	7	1	1	1,0	2	0,5	0,9	0,2	0,08	0,2	0,08
	A	2	3	0,9	0,08	0,1	0,14	0,08	0,03	0,02	0,04	0,2	0,01
	M	14	9	19	5	0,6	2	0,4	1	0,2	0,1	0,3	5
	J	17	14	6	1	0,7	1	0,4	1	0,2	0,1	0,3	1
	J	5	7	5	0,3	0,8	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0
	A	5	7	2	1	0,6	0,3	0,3	0,2	0,2	0,03	0,1	0,04
	S	4	6	2	1	0,4	0,3	0,4	0,3	0,2	0,02	0,1	0,05
	O	5	7	3	1	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1	0,04	0,1	0,1
	N	9	5	21	0,3	1	1	2	1	0,2	0,1	0,2	0,1
	D	8	3	34	0,3	1	0,4	2	0,3	0,1	0,1	0,1	0,3
		<b>Média</b>	<b>8,8</b>	<b>7,7</b>	<b>14,6</b>	<b>1,2</b>	<b>0,6</b>	<b>1,0</b>	<b>0,6</b>	<b>0,4</b>	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>
ITAPIRANGA	J	20	13	23	9	3	4	1	4	0,6	0,2	0,4	0,5
	F	8	7	4	1	0,5	1	0,4	0,7	0,2	0,04	0,2	0,04
	M	7	12	3	1,4	2	1	0,8	1	0,4	0,2	0,5	0,2
	A	5	5	20	0,2	1	0,5	0,1	0,1	0,1	0,02	0,1	0,1
	M	3	3	5	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,00	0,1	0,01
	J	4	27	3	0,2	1	0,3	2,0	0,1	0,1	0,02	0,2	0,02
	J	25	39	0,1	3	1	1	17	0,2	6	0,2	0,3	0,01
	A	16	33	18	0,5	11	1	4	0,2	0,2	0,0	0,2	0,01
	S	29	60	0,002	3	1	1	19	0,3	5	0,2	0,3	0,02
	O	2	5	0,3	0,3	0,5	3	0,3	1	0,3	0,05	0,1	0,01
	N	2	5	0,3	0,3	0,5	3	0,3	1	0,3	0,05	0,1	0,01
	D	1	3	0,2	1	2	0,4	4	0,2	1	0,06	0,003	0,002
		<b>Média</b>	<b>10,1</b>	<b>17,6</b>	<b>6,4</b>	<b>1,7</b>	<b>1,8</b>	<b>1,4</b>	<b>4,1</b>	<b>0,7</b>	<b>1,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>
PARINTINS	J	15	12	43	6	1	5	1	4	0,3	0,1	0,5	0,4
	F	14	7	8	1	0,7	1	0,6	0,7	0,16	0,5	0,2	0,06
	M	72	12	31	7	2	5	2	2	0,4	0,2	0,3	0,09
	A	9	4	6	1	1	0,3	1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,03
	M	8	6	7	2	2	0,4	1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,05
	J	11	11	6	2	1	0,4	1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,09
	J	6	4	3	1	2	1	1	0,4	0,2	0,2	0,1	0,03
	A	5	5	3	0,4	1	1	0,2	0,4	0,1	0,04	0,3	0,03
	S	17	7	3	1	1	1	2	0,3	0,2	1	0,2	0,2
	O	4	4	3	1	1	0,4	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1	0,04
	N	6	6	4	1	1	1	1	0,1	0,4	0,2	0,1	0,04
	D	14	5	8	2	2	1	1	0,05	0,2	0,2	0,3	0,02
		<b>Média</b>	<b>15,2</b>	<b>7,0</b>	<b>10,4</b>	<b>2,1</b>	<b>1,3</b>	<b>1,4</b>	<b>0,8</b>	<b>0,7</b>	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>0,2</b>

\* não choveu

Tabela 18: Concentração média ponderada pelo volume dos cátions, ânions e SiO<sub>2</sub> (µeq L<sup>-1</sup>) nos locais amostrados (condutividade em µS cm<sup>-1</sup>).

MPV (µeq L <sup>-1</sup> )	pH	Cond.	H <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	F <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>
<b>Boa Vista</b>	4,2	6,2	63,0	104,9	55,8	4,4	8,7	3,2	4,3	10,2	<LD	<LD	1,2
<b>Manaus</b>	3,9	8,3	114,6	34,3	15,4	3,2	4,1	19,0	12,3	10,1	<LD	<LD	0,7
<b>Apuí</b>	4,6	11,0	27,3	19,7	70,5	2,9	2,0	28,8	3,5	9,8	12,6	<LD	0,5
<b>Tabatinga</b>	4,8	5,0	17,5	8,1	7,7	1,7	1,1	3,4	9,6	4,3	<LD	<LD	0,3
<b>Itapiranga</b>	3,5	6,2	335,2	13,3	12,3	6,2	3,2	4,2	6,4	7,7	<LD	<LD	6,8
<b>Parintins</b>	5,0	5,9	10,4	21,6	16,9	2,7	3,9	7,0	5,7	11,0	0,1	0,02	0,9
<b>Manaus Floresta</b>	4,1	17,4	81,9	222,8	31,7	20,0	22,9	61,3	17,4	19,3	1,3	0,4	2,8

Tabela 19: Concentração média ponderada pelo volume dos cátions, ânions e SiO<sub>2</sub> (µg L<sup>-1</sup>) nos locais amostrados.

MPV (µg L <sup>-1</sup> )	pH	Cond.	H <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	F <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>
<b>Boa Vista</b>	4,2	6,2	63,0	2103,3	1284,5	174,0	106,2	154,2	266,1	362,2	<LD	<LD	72,9
<b>Manaus</b>	3,9	8,3	114,6	687,5	354,1	125,9	49,8	915,3	764,1	358,3	<LD	<LD	43,2
<b>Apuí</b>	4,6	11,0	27,3	394,2	1621,7	114,7	24,7	1384,5	214,9	347,7	397,8	<LD	30,3
<b>Tabatinga</b>	4,8	5,0	17,5	161,4	176,1	66,3	13,4	32,1	594,3	151,2	<LD	<LD	21,0
<b>Itapiranga</b>	3,5	6,2	335,2	266,6	283,6	242,9	38,8	200,4	397,9	271,9	<LD	<LD	410,2
<b>Parintins</b>	5,0	5,9	10,4	433,7	387,6	107,5	47,1	336,4	356,4	390,2	3,5	0,4	54,9
<b>Manaus Floresta</b>	4,1	17,4	81,9	4466,7	729,7	781,5	278,0	2946,7	1076,0	685,9	42,1	8,2	170,9

Tabela 20: Somatório dos cátions e ânions e Balanço iônico da média ponderada pelo volume (µeq L<sup>-1</sup>) nos locais amostrados (condutividade em µS cm<sup>-1</sup>).

ESTAÇÕES	pH	Cond.	H <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Σ <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Σ <sup>-</sup>	BI %
<b>Boa Vista</b>	4,2	6,2	63	105	56	4	9	237	3	4	10	18	86
<b>Manaus</b>	3,9	8,3	115	34	15	3	4	172	19	12	10	41	61
<b>Apuí</b>	4,6	11,0	27	20	71	3	2	122	29	3	10	42	48
<b>Tabatinga</b>	4,8	5,0	17	8	8	2	1	36	3	10	4	17	35
<b>Itapiranga</b>	3,5	6,2	335	13	12	6	3	370	4	6	8	18	90
<b>Parintins</b>	5,0	5,9	10	22	17	3	4	56	7	6	11	24	40
<b>Manaus Floresta</b>	4,1	17,4	82	223	32	20	23	379	61	17	19	98	58

Tabela 21: Concentração média ponderada pelo volume dos elementos-traço ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) nos locais amostrados.

<b>MPV (<math>\mu\text{g L}^{-1}</math>)</b>	<b>Al</b>	<b>Zn</b>	<b>Fe</b>	<b>Sr</b>	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>Ba</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Rb</b>	<b>Mo</b>	<b>V</b>
<b>Boa Vista</b>	52,7	42,8	23,9	12,3	4,9	5,1	2,1	1,4	0,7	0,4	0,2	0,2
<b>Manaus</b>	26,2	16,1	19,4	4,2	3,3	2,1	1,1	1,8	0,3	0,3	0,9	0,9
<b>Apuí</b>	17,7	28,0	10,9	2,4	3,5	3,1	0,5	3,1	1,1	0,2	0,2	0,1
<b>Tabatinga</b>	8,8	7,2	17,6	1,1	1,1	0,6	0,6	0,5	0,2	0,2	0,4	0,1
<b>Itapiranga</b>	8,0	9,7	8,4	2,1	1,5	1,3	1,8	1,0	0,2	0,6	0,1	0,1
<b>Parintins</b>	20,8	7,5	13,2	2,6	1,8	1,4	0,9	0,9	0,2	0,2	0,1	0,2
<b>Manaus Floresta</b>	39,3	20,8	22,5	17,6	3,2	11,6	4,0	1,7	1,1	2,2	0,4	1,3