

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

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DE ELEMENTOS MAIORES E  
VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS EM UM TRECHO DO RIO  
SOLIMÕES-AMAZONAS

LUÍS FERNANDO LIRA SOUTO

Manaus  
2014

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

LUÍS FERNANDO LIRA SOUTO

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DE ELEMENTOS MAIORES E  
VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS EM UM TRECHO DO RIO  
SOLIMÕES-AMAZONAS**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Química. Área de concentração: Química Analítica.

Orientadora: TEREZA CRISTINA SOUZA DE OLIVEIRA, Dr<sup>a</sup>.  
Co-orientadora: HILLÂNDIA BRANDÃO CUNHA, Dr<sup>a</sup>.

Manaus  
2014

Ficha Catalográfica  
(Catalogação realizada pela Biblioteca Central da UFAM)

S726a Souto, Luís Fernando Lira.  
Análise espaço-temporal de elementos maiores e variáveis físico-químicas em um trecho do Rio Solimões – Amazonas / Luís Fernando Lira Souto. - 2014.  
80 f. : il. color..  
Dissertação (mestrado em Química) — Universidade Federal do Amazonas.  
Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Tereza Cristina Souza de Oliveira.  
Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Hillândia Brandão Cunha

1. Química analítica 2. Química ambiental 3. Rio Solimões (Am) I. Oliveira, Tereza Cristina Souza de, orientador II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

CDU (1997): 543.05(811) (043.3)

LUÍS FERNANDO LIRA SOUTO

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DE ELEMENTOS MAIORES E  
VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS EM UM TRECHO DO RIO  
SOLIMÕES-AMAZONAS**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Química. Área de concentração: Química Analítica.

**BANCA EXAMINADORA**

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Tereza Cristina Souza de Oliveira - Orientadora  
Universidade Federal do Amazonas

Dr. Ézio Sargentini Júnior.  
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia

Prof. Dr. Wanderley Rodrigues Bastos  
Universidade Federal de Rondônia

Manaus  
2014

*“Dedico especialmente à minha mãe, Francisca das Chagas Lira Souto, por todo amor, carinho e dedicação, mãe te amo, e à minha noiva, Railane Inácio dos Santos, por estar ao meu lado, me incentivando e apoiando durante todo esse período”.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado perseverança, paciência, coragem e sabedoria para seguir em frente e ultrapassar as dificuldades em todas as etapas da minha vida.

À minha família por ter me apoiado e me incentivado durante todo esse caminho.

À minha noiva, Railane Inácio dos Santos pelo amor, atenção e companheirismo, por estar comigo em cada fase dessa etapa, dividindo todos os momentos, amo você!

À Universidade Federal do Amazonas e ao Programa de Pós-Graduação em Química dessa instituição por disponibilizar os meios para realização do curso de mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (Capes) pelo apoio financeiro (bolsa).

À minha orientadora, Prof. Dr.<sup>a</sup> Tereza Cristina Sousa de Oliveira, por ter acreditado em mim e ter me concedido a oportunidade de desenvolver este trabalho, espero estar correspondendo às expectativas.

À Dr.<sup>a</sup> Maria do Socorro Rocha da Silva, por ter me inserido no projeto RHIA e me dado à oportunidade de desenvolver esse trabalho no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA.

A todos os professores que me mostraram o caminho do conhecimento nessa etapa de formação.

Ao meu amigo Érikson Santos pela troca de conhecimentos e por todo o apoio durante esses dois anos de curso.

À Maria Cristina pela amizade e por toda a ajuda prestada ao longo do curso.

Aos meus colegas de turma, que junto comigo estão alcançando esse objetivo.

À competente equipe do Laboratório de Química Ambiental (LQA) da Coordenação de Dinâmica Ambiental do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (CEDAM-INPA).

Por fim, agradeço a todas as pessoas que de alguma forma me ajudaram a encarar esse desafio.

## RESUMO

Este estudo pretende contribuir para um melhor entendimento da dinâmica e interações das espécies químicas  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$  em um trecho do rio Solimões-Amazonas, levando-se em consideração as concentrações de  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ , alcalinidade potencial hidrogeniônica (pH), condutividade elétrica (CE) e carbono orgânico total (COT) em amostras de águas superficiais coletadas nos meses de maio, julho e setembro de 2012 em sete pontos no rio Solimões-Amazonas e na foz em alguns dos principais tributários rios Jutai, Juruá, Japurá e Purus, no estado do Amazonas. As atividades de análises químicas foram desenvolvidas no Laboratório de Química Ambiental (LQA) da Coordenação de Dinâmica Ambiental do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (CEDAM-INPA). Os cátions e ânions foram analisados por cromatografia de íons. O pH, CE e alcalinidade por potenciometria, e o COT por oxidação catalítica por combustão. As concentrações médias dos elementos seguiram a seguinte ordem  $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$  e dos ânions  $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ . Com exceção do COT e  $\text{K}^+$  foi observada uma tendência de diminuição nos valores das variáveis ao longo do curso do rio, em parte provocada pelo aporte dos tributários. As técnicas de análise estatística multivariada PCA e HCA apresentaram bom nível de concordância, classificando os pontos amostrais do rio Solimões de acordo com os períodos de coleta e localização, distinguindo os diferentes períodos em que as amostras foram coletadas e os pontos localizados à montante e à jusante do rio.

Palavras-chave: cátions, ânions, bacia amazônica.

## ABSTRACT

This study aims to contribute for a better understanding the chemical dynamics and interactions species Na, Ca, K and Mg along Solimões-Amazon River, taking into account  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{NO}_3^-$  concentration, hydrogen potential (pH), electrical conductivity (EC) and total organic carbon (TOC) in surface water samples collected in May, July and September 2012 at eight points in the Solimões-Amazonas river and at the some major tax mouth: Jutai, Juruá Japurá, Purus and Madeira rivers in the Amazonas state. Chemical analyzes were performed at the Environmental Chemistry Laboratory (LQA) of Environmental Dynamics Coordination in the National Institute for Amazonian Research (CEDAM-INPA). Chemical elements and anionic species were analyzed by ion chromatography. Hydrogen potential and alkalinity by potentiometry, electrical conductivity by conductometry and TOC by catalytic oxidation combustion. The average concentrations of the elements followed the order  $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$  and anions  $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$ . With exception TOC and  $\text{K}^+$  a decreasing trend in the variables values over the course of the river, partly caused by the inflow of tax was observed. The multivariate statistical analysis PCA and HCA had a good level of agreement, sorting the sample points of the Solimões River in accordance with the sampling times and location, distinguishing the different periods in which samples were collected and the points located upstream and downstream of the river.

Keywords: cations, anions, amazon basin.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Área de abrangência da bacia Amazônica. ....	16
Figura 2: Bacia do Solimões (em azul) e suas sub-bacias (em laranja) no estado do Amazonas. ....	20
Figura 3: Área de estudo, calha do rio Solimões, S= Solimões, T= Tributário. ....	24
Figura 4: Cotograma dos níveis do rio Solimões na estação de Tabatinga nos anos de 2010, 2011 e 2012. ....	25
Figura 5: Cotograma dos níveis do rio Solimões na estação de Itapeuá nos anos de 2010, 2011 e 2012. ....	26
Figura 6: Áreas de afloramento das formações Içá, Solimões e Alter do Chão, nas bacias sedimentares do Solimões e do Amazonas. ....	27
Figura 7: Variação do pH ao longo dos períodos de coleta, com média, mínimo e máximo. ....	35
Figura 8: variação do pH ao longo dos pontos amostrais no rio Solimões-Amazonas em cada período de coleta: a) maio; b) julho; c) setembro. ....	35
Figura 9: variação da condutividade elétrica (CE) ao longo dos períodos de coleta, com média, mínimo e máximo. ....	36
Figura 10: variação da condutividade elétrica (CE) ao longo dos pontos amostrais no rio Solimões-Amazonas em cada período de coleta: a) maio; b) julho; c) setembro. ....	37
Figura 11: variação da temperatura da água (°C) ao longo dos períodos de coleta, com média, mínimo e máximo. ....	38
Figura 12: variação da temperatura da água ao longo dos pontos amostrais no rio Solimões-Amazonas em cada período de coleta: a) maio; b) julho; c) setembro. ....	38
Figura 13: variação do carbono orgânico total (COT) ao longo dos períodos de coleta, com média, mínimo e máximo. ....	39
Figura 14: variação do carbono orgânico total (COT) ao longo dos pontos amostrais no rio Solimões-Amazonas em cada período de coleta: a) maio; b) julho; c) setembro. ....	40
Figura 15: variação dos sólidos totais em suspensão (STS) ao longo dos períodos de coleta, com média, mínimo e máximo. ....	40
Figura 16: variação dos sólidos totais em suspensão (STS) ao longo dos pontos amostrais no rio Solimões-Amazonas em cada período de coleta: a) maio; b) julho; c) setembro. ....	41
Figura 17: variação da alcalinidade ao longo dos períodos de coleta, com média, mínimo e máximo. ....	42

Figura 18: variação da alcalinidade ao longo dos pontos amostrais no rio Solimões-Amazonas em cada período de coleta: a) maio; b) julho; c) setembro.....	42
Figura 19: variação do $\text{Na}^+$ ao longo dos períodos de coleta, com média, mínimo e máximo.....	44
Figura 20: variação do $\text{Na}^+$ ao longo dos pontos amostrais no rio Solimões-Amazonas em cada período de coleta: a) maio; b) julho; c) setembro. ....	44
Figura 21: variação do $\text{K}^+$ ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) ao longo dos períodos de coleta, com média, mínimo e máximo. ....	45
Figura 22: variação do $\text{K}^+$ ao longo dos pontos amostrais no rio Solimões-Amazonas em cada período de coleta: a) maio; b) julho; c) setembro. ....	46
Figura 23: variação do $\text{Mg}^{2+}$ ao longo dos períodos de coleta, com média, mínimo e máximo.....	46
Figura 24: variação do $\text{Mg}^{2+}$ ao longo dos pontos amostrais no rio Solimões-Amazonas em cada período de coleta: a) maio; b) julho; c) setembro. ....	47
Figura 25: variação do $\text{Ca}^{2+}$ ao longo dos períodos de coleta, com média, mínimo e máximo.....	48
Figura 26: comportamento médio do $\text{Ca}^{2+}$ ao longo dos pontos amostrais no rio Solimões: a) maio; b) julho; c) setembro.....	48
Figura 27: variação do $\text{Cl}^-$ ao longo dos períodos de coleta, com média, mínimo e máximo.....	49
Figura 28: variação do $\text{Cl}^-$ ao longo dos pontos amostrais no rio Solimões-Amazonas em cada período de coleta: a) maio; b) julho; c) setembro. ....	50
Figura 29: variação do $\text{SO}_4^{2-}$ ao longo dos períodos de coleta, com média, mínimo e máximo.....	50
Figura 30: variação do $\text{SO}_4^{2-}$ ao longo dos pontos amostrais no rio Solimões-Amazonas em cada período de coleta: a) maio; b) julho; c) setembro. ....	51
Figura 31: Classificação dos pontos amostrais em cada período de coleta, onde: A = maio; B = julho; C = setembro; S1, S2, S3, S4, S5, S6 e S7 são pontos ao longo do Solimões-Amazonas (tabela 2).....	53
Figura 32: Distribuição dos pontos amostrais em todos os períodos de coleta (PC1 X PC2).....	56
Figura 33: Distribuição da nuvem das variáveis (PC1 x PC2).....	57
Figura 34: Comportamento médio das variáveis pH, CE ( $\text{uS.L}^{-1}$ ), Temperatura da água ( $^{\circ}\text{C}$ ), STS ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), COT ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), e Alcalinidade ( $\text{mg de CO}_3^{2-}.\text{L}^{-1}$ ) nos tributários (T) e Solimões (S). ....	59
Figura 35: Comportamento médio das espécies $\text{Na}^+$ (Na), $\text{K}^+$ (K), $\text{Ca}^{2+}$ (Ca) e $\text{Mg}^{2+}$ (Mg) em $\text{mg.L}^{-1}$ nos pontos amostrais ao longo do rio Solimões (S) e tributários (T).....	61

Figura 36: Comportamento médio dos ânions Cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), Sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) e Nitrato ( $\text{NO}_3^{2-}$ ) em $\text{mg.L}^{-1}$ nos pontos amostrais ao longo do rio Solimões (S) e tributários (T).....	62
Figura 37: Distribuição hierárquica dos locais amostrais em pregando o método Ward com distância euclidiana quadrática, onde em S são os pontos ao longo do rio Solimões e T são os tributários de acordo com a Tabela 2.	63
Figura 38: Distribuição dos pontos amostrais em todos os períodos de coleta (PC1 X PC2). .....	65
Figura 39: Distribuição da nuvem das variáveis (PC1 x PC2).....	65

#### LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Participação das unidades da federação (em %) na composição da área total da Bacia Amazônica. Calculado a partir de dados do IBGE, 2003 (ANA, 2006). .....	17
Tabela 2: Localização dos sítios de amostragens no rio Solimões e tributários. J=Jusante, M= Montante. ....	28
Tabela 3: Resultados dos testes de normalidade para todos os parâmetros empregando-se o teste de Shapiro- Wilk ( $\alpha= 0,050$ ). .....	34
Tabela 4: Correlação entre as variáveis, coeficiente de Pearson ( $r^2$ ). .....	52
Tabela 5: Autovalores e variância explicada por todas as componentes principais (CP). .....	55
Tabela 6: Autovalores, peso das componentes para cada uma das variáveis. ....	57

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	13
2 OBJETIVOS .....	15
2.1 <b>Objetivo Geral</b> .....	15
2.2 <b>Objetivos Específicos</b> .....	15
3 REFERENCIAL TEÓRICO .....	16
3.1 <b>Bacia Amazônica</b> .....	16
3.1.2 Rio Solimões-Amazonas .....	18
3.1.3 Características Gerais dos Afluentes do Rio Amazonas .....	21
3.2 <b>Elementos Químicos e o Ambiente Aquático</b> .....	22
4 MATERIAS E MÉTODOS .....	24
4.1 <b>Área de Estudo</b> .....	24
4.1.1 Localização .....	24
4.1.2 Clima e Vegetação .....	25
4.2 <b>Metodologia</b> .....	28
4.2.1 Metodologia de Coleta.....	28
4.2.2 Tratamento das Amostras .....	29
4.2.3 Análises.....	30
4.2.4 Análise Estatística .....	33
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	34
5.1 <b>Variações dos Parâmetros ao Longo do Rio Solimões</b> .....	34
5.1.13 Correlação entre as Variáveis .....	51
5.1.14 Análise dos Agrupamentos Hierárquico (HCA) .....	53
5.1.15 Análise dos Componentes Principais (PCA) .....	55
5.2 <b>Solimões e Tributários</b> .....	58
5.2.1 Análise dos Agrupamentos Hierárquico (HCA).....	63
5.2.2 Análise dos Componentes Principais (PCA) .....	64
6 CONCLUSÃO .....	67
7 REFERÊNCIAS .....	68
APÊNDICES .....	77

## 1 INTRODUÇÃO

A bacia amazônica é a maior e a mais importante bacia hidrográfica tropical do mundo (NEILL *et al.*, 2006). Devido sua evolução geológica e geomorfológica, a bacia tem uma vasta planície que é formada por um complexo sistema de rios, canais, lagos, e ilhas que estão em constante mudança devido à sedimentação e ao transporte de material particulado (AFONSO *et al.*, 2011).

Nesse contexto, o rio Amazonas se destaca apresentando um grande volume de descarga com aproximadamente  $5,5 \times 10^9$  km<sup>3</sup>/ano, o que equivale à cerca de 15 % de todo o volume de água lançado nos oceanos. O trecho localizado entre a confluência com o Rio Negro e a sua entrada no Brasil, é denominado Rio Solimões (MOLINIER *et al.*, 1997; SEYLER e BOAVENTURA, 2003).

Esse trecho do Rio Amazonas é constituído por uma bacia intracratônica, com aproximadamente 450000 km<sup>2</sup> no limite com as rochas de idade paleozóica cuja área sedimentar recobre quase que integralmente o estado do Amazonas (CPRM, 2006). De modo geral, uma região com cobertura vegetal de floresta densa, apresentando clima do tipo tropical quente e úmido. Destaca-se também, a elevada umidade devido à alta taxa de evapotranspiração (QUEIROZ *et al.*, 2009).

Dentre os ambientes do Rio Amazonas destaca-se a várzea que contrasta em variados aspectos com a maior parte da região constituída de terras secas e altas, denominadas de terra firme (VIEIRA, 1992). Cada um desses domínios paisagístico (várzea e terra firme) é constituído por uma heterogeneidade de ambientes (meios, paisagens, habitats e vegetações) que fazem da região Amazônica um mosaico de ecossistemas bem diferenciados. Essa diversidade paisagística reflete-se na diversidade ecológica e social da Amazônia, registrada na história passada e presente da região (FRAXE *et al.*, 2007).

Em um ambiente tão complexo e dinâmico, a distribuição, mobilidade e disponibilidade de elementos químicos dependem tanto de suas concentrações, como também de suas associações químicas e físicas. A geoquímica, especialmente nos estudos relacionados com elementos químicos em águas e sedimentos, oferece importantes informações sobre a origem dos elementos e suas interações com o meio (QUEIROZ *et al.*, 2009).

Embora, nos últimos anos vários estudos tem abordado a dinâmica de elementos químicos ao longo da bacia do rio Amazonas (VITAL e STATTEGGER, 2000; SEYLER e BOAVENTURA, 2003; VIERS *et al.*, 2005; HORBE *et al.*, 2007;

dos SANTOS PINHEIRO *et al.*, 2012), não se observa uma abordagem exclusivamente voltada para o estudo da dinâmica dos elementos maiores e suas relações com espécies aniônica e demais parâmetros químicos e físicos. Nesse sentido, este estudo pretende contribuir para o entendimento da dinâmica e interações de algumas dessas espécies químicas ao longo do curso do rio Solimões, levando-se em consideração o potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), carbono orgânico total (COT), sólidos totais em suspensão (STS) e alcalinidade dessas águas.

Este trabalho é parte do projeto intitulado Recursos Hídricos da Amazônia (RHIA), vinculado à Coordenação de Dinâmica Ambiental do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (CEDAM-INPA), à Universidade Federal do Amazonas (UFAM), à Universidade Federal de Rondônia (UNIR) e à Universidade Federal do Pará (UFPA).

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

- Analisar a dinâmica espaço-temporal de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$  ao longo do rio Solimões e a influência de variáveis físico-químicas na concentração dessas espécies.

### 2.2 Objetivos Específicos

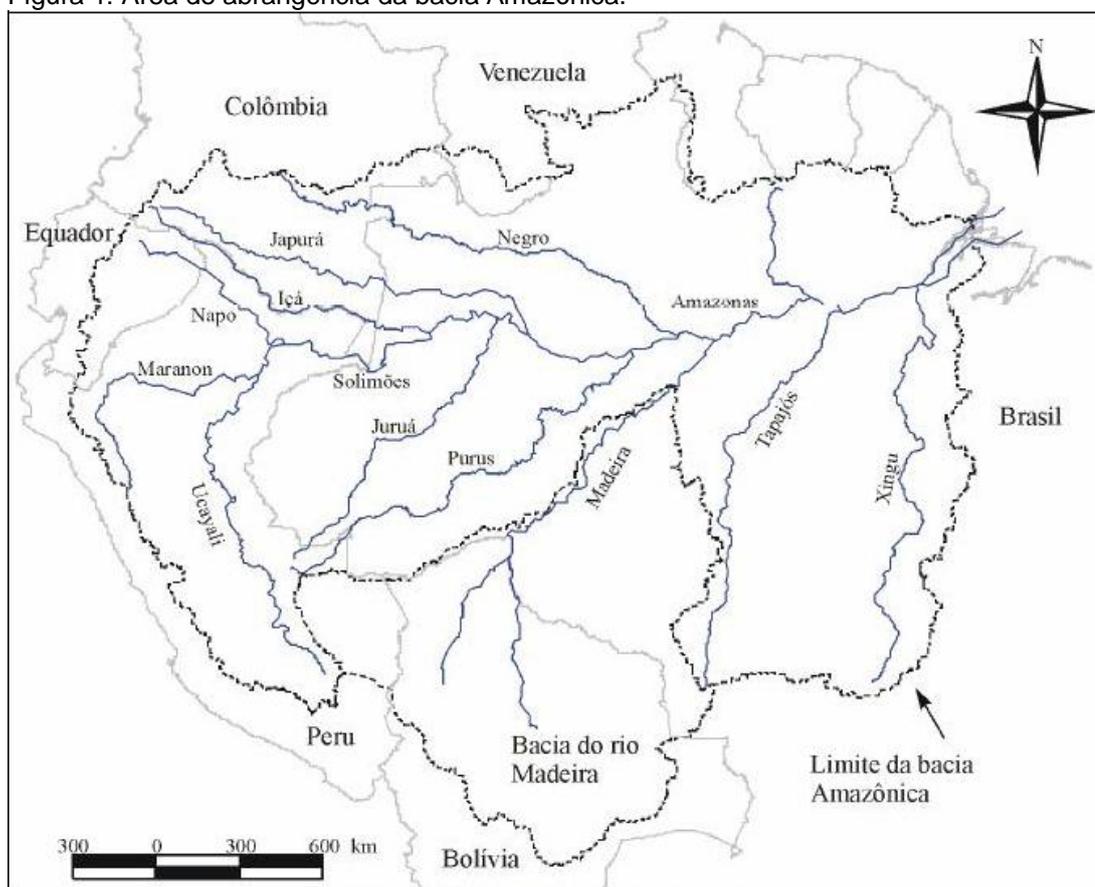
- Determinar as concentrações de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Mg}^+$  ao longo da calha principal do rio Solimões e em pontos próximos à foz em alguns dos principais tributários;
- Determinar as concentrações dos ânions  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  e correlacioná-las com a concentração dos cátions;
- Comparar as concentrações dos cátions, ânions e demais variáveis entre os diferentes períodos de coleta e pontos amostrais localizados à montante e jusante no rio Solimões;
- Verificar a influência das variáveis pH, condutividade elétrica (CE), sólidos totais em suspensão (STS), alcalinidade e carbono orgânico total (COT) na concentração e/ou composição dos elementos químicos a partir de correlação entre todas as variáveis e análise estatística multivariada;
- Identificar padrões de comportamento ente os locais amostrados empregando técnicas de análise estatística multivariada.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Bacia Amazônica

A bacia Amazônica se destaca pela imensa disponibilidade hídrica (GOULDING *et al.*, 2003; SIQUEIRA *et al.*, 2012;), de formação terciário-quaternário, é a maior bacia hidrográfica do mundo, drenando aproximadamente 25% da área da América do Sul. Estendendo-se, a partir do leste da cordilheira dos Andes, do Platô da Guiana ao norte até o Platô Brasileiro ao sul, compreendendo uma área total de 6.925.674 km<sup>2</sup>. A área que corresponde a essa bacia abrange o território de oito países (figura 1): Bolívia, Brasil, Colômbia, Equador, Guiana, Peru, Suriname e Venezuela. No Brasil, o maior detentor dessa riqueza hídrica, estão contidos cerca de 63,88%, na Colômbia 16,14%, na Bolívia 15,61%, no Equador 2,31%, na Guiana 1,35 %, no Peru 0,60 % e na Venezuela 0,11% (ANA, 2006).

Figura 1: Área de abrangência da bacia Amazônica.



Fonte: <http://espacosgeograficos.wordpress.com>

Esse importante complexo hídrico representa cerca de 15% do volume global de água doce lançado no oceano, Richey *et al.* (1986) fizeram uma estimativa de que esse valor seria de aproximadamente de 20%, com média de descarga anual de  $209\ 000\ \text{m}^3\text{s}^{-1}$ , dirigida pelas condições climáticas regionais, em um regime que resulta das contribuições integradas de vários tributários (MOLINIER *et al.*, 1996; MANGIAROTTI *et al.*, 2013;).

A área da bacia amazônica em território brasileiro é definida pela Resolução número 32 de 15/10/2003 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos como Região Hidrográfica Amazônica, que compreende áreas pertencentes aos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia e Roraima (Tabela 1), com uma área total de pouco mais de 4 milhões de  $\text{km}^2$  em território brasileiro (ANA, 2006).

Tabela 1: Participação das unidades da federação (em %) na composição da área total da Bacia Amazônica. Calculado a partir de dados do IBGE, 2003 (ANA, 2006).

<b>Estado</b>	<b>Área na Bacia Amazônica (%)</b>
Amazonas	35,07
Pará	27,86
Mato Grosso	20,17
Rondônia	5,30
Acre	5,01
Roraima	3,41
Amapá	3,19

A região onde está localizada a bacia amazônica é relativamente livre de interferências industriais e agricultura. Quanto aos riscos de contaminação ambiental, é provável que dentre as áreas potencialmente mais críticas esteja a região onde está localizada a cidade de Manaus, às margens do Rio Negro, sede de um dos maiores distritos industriais do país, sem contar a extração de petróleo na bacia do Rio Urucu e o seu transporte até a cidade de Manaus, um risco em potencial ao ambiente local, os demais setores críticos são áreas sujeitas à contaminação por garimpos, regiões metropolitanas com aportes de esgotos domésticos e algumas áreas de mineração no estado do Pará.

Portanto, a maioria dos estudos na bacia amazônica visa compreender melhor a dinâmica complexa desse ambiente, são variados os estudos que avaliaram o comportamento de variáveis químicas e físico-químicas em ambientes aquáticos da Amazônia.

Santana e Barroncas (2007) avaliaram as consequências da liberação do choroço proveniente de aterros sanitários no sistema hídrico da bacia do Rio Tarumã-Açu na cidade de Manaus-AM. Os resultados revelaram que a concentração dos metais pesados é muito acima dos permitidos pela resolução 357/2005 do CONAMA em praticamente todos os locais amostrados, mostrando que o Aterro Sanitário é um dos principais responsáveis pelo impacto ambiental observado nos corpos hídricos estudados.

Pinto *et al.* (2009) avaliaram o efeito da ação antrópica sobre o rio Negro por meio da análise de diversos parâmetros físico-químicos: pH, condutividade elétrica, alcalinidade, oxigênio dissolvido, nitrogênio amoniacal e de nitritos, elementos maiores Ca, Mg, Na, K, e elementos traços Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn. Esse estudo mostrou que apesar da contribuição antrópica dos tributários urbanos, o rio Negro mantém, ainda, sua capacidade de diluir os poluentes, principalmente, no período de maior volume de água.

Bouchez *et al.* (2010) verificaram o grau de hominização de espécies dissolvidas nas águas do Rio Solimões na altura de Manacapuru, por meio da determinação da concentração de isótopos de Na e Sr em uma seção transversal a diferentes profundidades.

Pereira *et al.* (2011) estudaram a distribuição dos elementos As, Al, Mn, e Pb nas águas do estuário do rio Amazonas no estado do Pará, encontrando em vários pontos valores médios de As, Al, Mn e Pb acima do permitido pela legislação brasileira.

Esses trabalhos fornecem valiosas informações sobre a dinâmica da bacia amazônica. Tendo em vista que, nos últimos anos em virtude do crescimento populacional aliado ao desenvolvimento urbano, tem ocorrido a diversificação dos usos da água na região amazônica, o que pode gerar um aumento do despejo de efluentes e resíduos sólidos e a destruição das matas ciliares, vindo a produzir condições ambientais inadequadas (SIQUEIRA *et al.*, 2012).

### 3.1.2 Rio Solimões-Amazonas

O Rio Amazonas percorre cerca de 6992,06 km, sendo o maior do planeta em extensão e vazão de água. Sua largura média é de 5 Km, possuindo inúmeros tributários. Devido a sua ampla extensão, o rio Amazonas é influenciado pelas variações de precipitações dos hemisférios Norte e Sul, sendo por isso conhecido pelo regime fluvial de duas cheias, fato que ajuda a tornar a Bacia Amazônica a

maior do mundo, com uma área de drenagem, em território nacional, correspondente a 64% da bacia como um todo, em uma extensão que representa cerca de 40% da superfície brasileira (ANEEL, 1997; MARTINI *et al.*, 2007; CPRM, 2010). A contribuição média da bacia hidrográfica do rio Amazonas, em território brasileiro, é da ordem de 133000 m<sup>3</sup>/s (ANA, 2009).

Ao nascer no Peru é conhecido como Vilcanota, recebe posteriormente os nomes de Ucaiali, Urubamba e Marañon. Quando entra no Brasil, passa-se a chamar Solimões e, após o encontro com o Rio Negro, perto de Manaus, recebe o nome de Rio Amazonas. O termo “Solimões” foi empregado em substituição a “Alto Amazonas” (ANA, 2006).

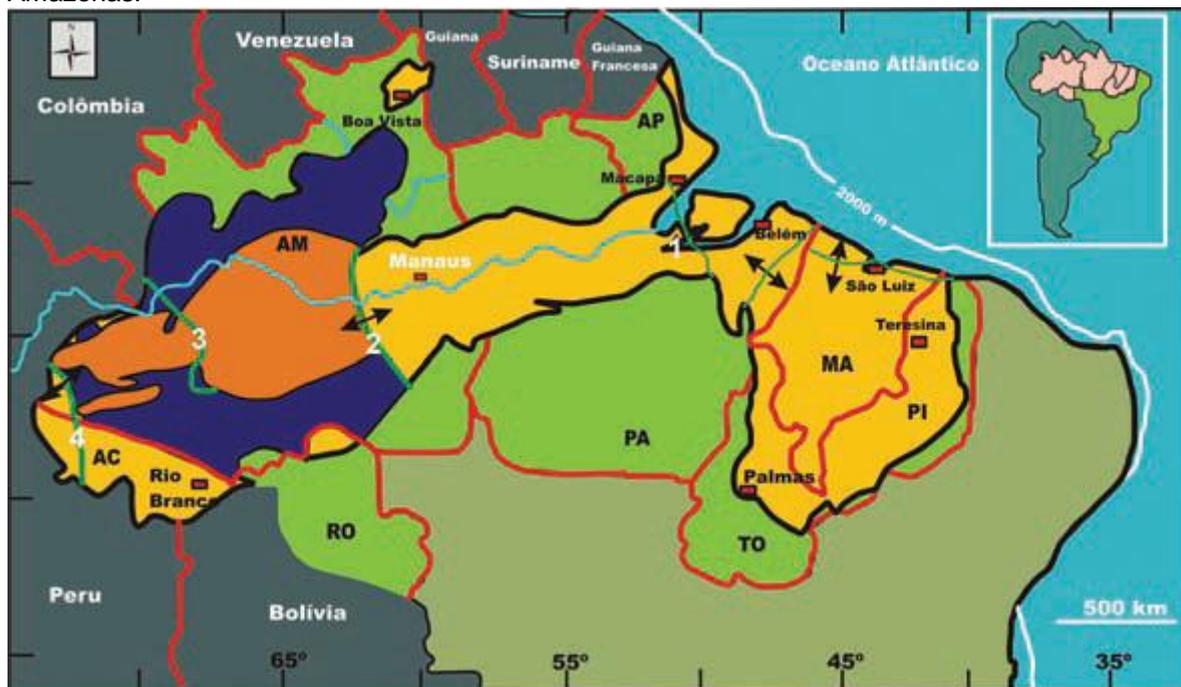
Com suas principais nascentes localizadas na Cordilheira dos Andes, passa pela planície da Amazônia, dividindo-a em duas partes, várzea e terra firme, considera-se terra firme as proporções mais elevadas e nunca inundadas pelo rio, enquanto que, várzea é a planície inundável de depósitos holocênicos. A várzea está submetida a um ciclo hidrológico sazonal por meio do transbordo da água lateral dos grandes rios, o qual transforma periodicamente ambientes terrestres em ambientes aquáticos (JUNK *et al.*, 1997).

O Rio Solimões apresenta variações ao longo de seu percurso, exibindo trechos anastomosados e meandriformes, prevalecendo uma tendência geral ao anastomosamento, ou seja, trechos com ilhas e bifurcações (FRAXE *et al.*, 2007). Sua participação na descarga média total do Rio Amazonas na foz é de aproximadamente 49% (ANA, 2006), e a estimativa da contribuição na carga total de sedimentos é de 62% da média de descarga anual (770 x 10<sup>6</sup> t em Óbidos) (SEYLER e BOAVENTURA, 2003). Quanto à extensão de sua bacia, esta representa 36% da área total da Bacia Amazônica continental, seguida pelas bacias dos rios Madeira, com 23% e do rio Negro, com 11% da superfície total (MOLINIER *et al.*, 1994; CPRM, 2010).

Classificado por Sioli (1968) como um rio de águas brancas, o Solimões apresenta pH próximo da neutralidade, sendo relativamente rico em cátions totais e sedimentos em suspensão, que são formados basicamente por esmectitas, illita e em menor quantidade por kaolinita, a qual está também presente nos sedimentos da várzea, junto com quartzo e Na- ou Ca-plagioclasticos (AUCOUR *et al.*, 2003).

A Bacia do Solimões constitui uma bacia sedimentar intracratônica, com aproximadamente 500000 km<sup>2</sup> de área (figura 2), quase toda contida no estado do Amazonas.

Figura 2: Bacia do Solimões (em azul) e suas sub-bacias (em laranja) no estado do Amazonas.



Fonte: CPRM, 2010; Eiras 2005.

Encontra-se limitada a oeste pelo Arco Iquitos, que a separa da Bacia do Acre, e a leste pelo Arco Purus, que a separa da Bacia do Amazonas. Ao norte e sul é bordejada, respectivamente, por rochas proterozoicas dos escudos das Guianas e Brasil Central. Encontra-se compartimentada em duas sub-bacias (Jandiatuba e Juruá), a primeira situada a oeste do Arco Carauari e a segunda situada leste deste mesmo arco, um destaque é que na sub-bacia Juruá, encontram-se as províncias de óleo e gás, Juruá e Urucu (CPRM, 2010).

Na busca por um maior conhecimento sobre a dinâmica de elementos químicos na bacia amazônica, vários estudos avaliaram as concentrações e o comportamento dessas espécies ao longo dos rios Solimões e Amazonas.

Vital e Stattegger (2000) investigaram a geoquímica de 10 elementos maiores e 38 traço em sedimentos de fundo do baixo Amazonas. Aucour *et al.* (2003) estudaram o comportamento dos metais (Fe, Al e Mn) e a matéria orgânica dissolvida na mistura inicial da confluência do rio Negro como o Solimões. Seyler e Boaventura (2003) investigaram a distribuição dos elementos traços V, Cr, Mn, Co, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Mo, Cd, Sb, Cs, Ba e U em águas superficiais do rio Solimões ao Amazonas, entre Tabatinga - AM e Santarém - PA. Viers *et al.* (2005) verificaram o papel da várzea e sua vegetação na dinâmica dos elementos traços Al, Mn, Fe, Co, Cu, Mo, Rb, Sr, Ba, e U, entre Manacapuru e a ilha de Marchantaria, esse estudo apontou que o fluxo de elementos traço da várzea para

o rio apresenta influência sobre fluxo dessas espécies nos rios Solimões e Amazonas. Horbe *et al.* (2007) investigaram o perfil geoquímico e mineralógico dos sedimentos dos sedimentos neógenos e quaternários da bacia do Solimões na região de Coari no estado do Amazonas. Viers *et al.* (2008) estudaram a concentração de isótopos de Sm-Nb e Rb-Sr, além de elementos maiores e traço na descarga diária nos rios Solimões e Madeira. Dos Santos Pinheiro *et al.* (2012) investigaram o ciclo dos isótopos de ferro ( $^{57}\text{Fe}$  e  $^{56}\text{Fe}$ ) no material em suspensão nos rios Negro, Solimões, Madeira e Amazonas, não encontrando nem uma variação significativa dos isótopos ao longo do ciclo do ferro nos locais estudados.

### 3.1.3 Características Gerais dos Afluentes do Rio Amazonas

O rio Amazonas recebe grande número de afluentes. Da margem direita, os mais importantes são: Huallaga, Ucayali (no Peru); Javari, Juruá, Purus, Madeira, Tapajós e Xingu (no Brasil). Pela margem esquerda: Pastaza, Napo (no Peru); Içá, Japurá, Negro, Trombetas, Paru e Jari (no Brasil) (CPRM, 2010). Esses rios apresentam águas com características físico-químicas diferentes e influenciam diretamente as características do rio Amazonas.

Os rios que tem suas cabeceiras nas regiões andinas, tais como o Solimões, Purus, Madeira e Juruá, apresentam águas com pH próximo da neutralidade, elevado percentual de íons minerais (cálcio, magnésio, sódio, potássio, entre outros) e carregam grande quantidade de sedimentos das montanhas em direção à planície central e os depositam nas extensas áreas alagadas durante as enchentes, formando os solos das várzeas, os mais férteis da Amazônia (SIOLI, 1968; WALKER, 1990).

Há os afluentes com alto teor de matéria orgânica oriunda da floresta em suas águas, ricos em substâncias húmicas, que nascem nos escudos (formações continentais planas) pré-cambrianos das Guianas e do Brasil Central ou nos sedimentos terciários da bacia Amazônica, dentre os rios com essas características destacam-se o Negro, Urubu e Uatumã. Suas águas apresentam baixas cargas de sedimentos em função do fraco processo de erosão dos terrenos e da densa vegetação. Também apresentam baixa concentração de cálcio e magnésio e pH ácido (3,8 a 4,9) (SIOLI, 1968; WALKER, 1990).

Existem ainda, os tributários que apresentam aparência cristalina e carregam pouco material em suspensão, como os rios Tapajós e Xingu, com origem nos sedimentos terciários da bacia Amazônica ou no escudo do Brasil Central, sendo

ácidos e pobres em sais minerais (STALLARD e EDMOND, 1983; SANTOS e RIBEIRO, 1988).

### 3.2 Elementos Químicos e o Ambiente Aquático

Os elementos químicos distribuem-se no ambiente de maneira não uniforme, essa distribuição está associada a processos geológicos, ambientais e pedológicos (SIEGEL, 2002). Os mecanismos de dispersão dos elementos químicos no meio ambiente são objeto de estudo da geoquímica ambiental (BROWN Jr., 2011).

As espécies cujos teores médios nos materiais crustais, excedem 1 % são chamados de elementos maiores ou majoritários, como Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti e Fe. Por outro lado, aquelas encontradas em baixas concentrações são chamados de elementos-traço, de acordo com a definição descrita pela IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*) trata-se de qualquer espécie com concentração média menor que 100 ppm (MCNAUGHT e WILKINSON, 1997; BROWN e MILTON, 2005).

Em águas naturais as rochas minerais são as grandes fontes repositoras de elementos químicos, o que pode incluir contaminantes e poluentes, além das espécies essenciais aos organismos vivos (BROWN Jr., 2011). A água é reconhecidamente o principal veículo de transporte e distribuição de elementos químicos no ambiente. Geralmente essas espécies são transportadas associadas à partícula de sedimento e solo, ou de forma dissolvida nas águas dos rios, mares, estuários e na chuva. A introdução dos elementos químicos para o meio onde ocorre sua dispersão depende do intemperismo químico, ou seja, da decomposição dos minerais das rochas, originadas por uma série de reações de oxidação, redução, hidrólise e hidratação (PEREIRA *et al.*, 2011).

A mobilidade de um elemento químico é influenciada por características físico-químicas das soluções e das especiações iônicas. Podem mover-se na forma de íons livres ou íons complexos em solução, adsorvidos, co-precipitados em sólidos finos (óxidos hidratados, argilominerais, matéria orgânica) ou em coloides. Em ambientes naturais, os elementos estão principalmente ligados aos silicatos e aos minerais primários, com baixo grau de mobilidade. Em áreas de interferência antrópica os elementos-traço apresentam maior mobilidade e estão ligados ao sedimento, na forma de carbonatos, óxidos, hidróxidos e sulfetos (PEREIRA, 2007).

Segundo Atxmann e Luoma (1991), o sedimento é o compartimento mais significativo na concentração de elementos-traço, originam-se da integração de todos os processos que ocorrem em uma bacia de drenagem, desempenham importante papel no transporte e acumulação, além de subsidiar a identificação das fontes e formas de dispersão dos elementos na coluna d'água (SIQUEIRA *et al.*, 2006; PEREIRA *et al.*, 2007).

A matéria orgânica também é um fator importante no ciclo dos elementos traços em ambientes aquáticos (SALONEN *et al.*, 1992; KAWASAKI *et al.*, 2011). A decomposição da matéria orgânica associada aos sedimentos provoca modificações que influenciam no ciclo biogeoquímico de vários elementos, determinando a forma na qual os mesmos encontram-se ali presentes (BERNER e BERNER, 1996; PEREIRA *et al.*, 2006;).

O material orgânico presente no rio Amazonas e no Solimões é essencialmente oriundo da imensa floresta que cerca a bacia. Sabe-se que, a presença de compostos orgânicos nos corpos hídricos pode influenciar diversos aspectos do ecossistema, tais como: acidez de águas naturais, por meio de ácidos orgânicos; atividade biológica, por meio da absorção de luz; química da água, por meio da complexação de metais e produção de compostos tóxicos pela interação com outras substâncias; disponibilidade de nutrientes, pela formação de compostos orgânicos; solubilidade e toxicidade de contaminantes (OUYANG, 2003).

Todavia, a biodisponibilidade de elementos químicos para os organismos animais e vegetais, e indiretamente para o homem, é condicionada pela composição química das águas e solos, além de depender das propriedades específicas de cada elemento (BROWN Jr., 2011).

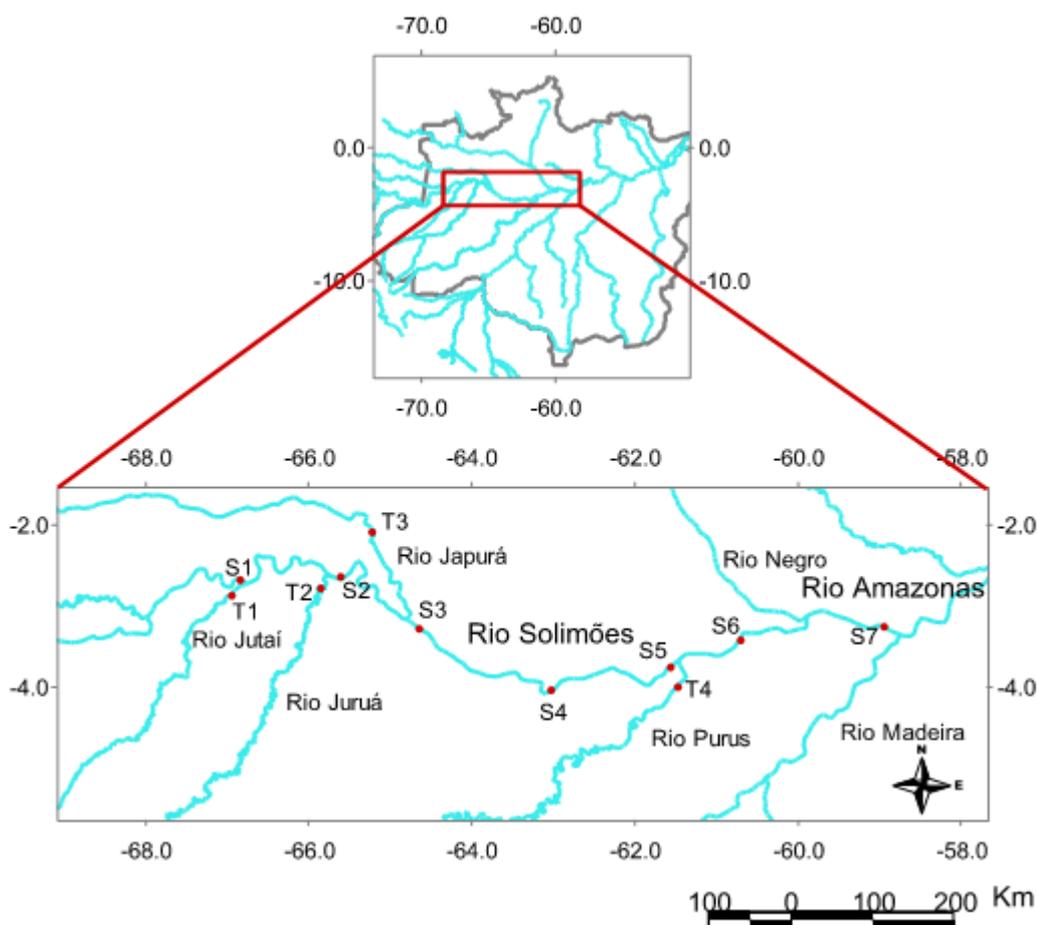
## 4 MATERIAS E MÉTODOS

### 4.1 Área de Estudo

#### 4.1.1 Localização

A área de estudo compreende o canal principal do rio Solimões até o início do rio Amazonas após a confluência com o rio Negro, no Estado do Amazonas, a oeste encontra-se a cidade de Jutai e a leste a capital Manaus. Seus limites situam-se entre os paralelos 02°02' e 03°14' de latitude sul e os meridianos 068°11' e 058°59' de longitude oeste, a figura 3 ilustra toda a extensão da área de estudo, com a localização de cada um dos pontos de coleta devidamente marcados, na calha do rio Solimões e tributários.

Figura 3: Área de estudo, calha do rio Solimões, S= Solimões, T= Tributário.



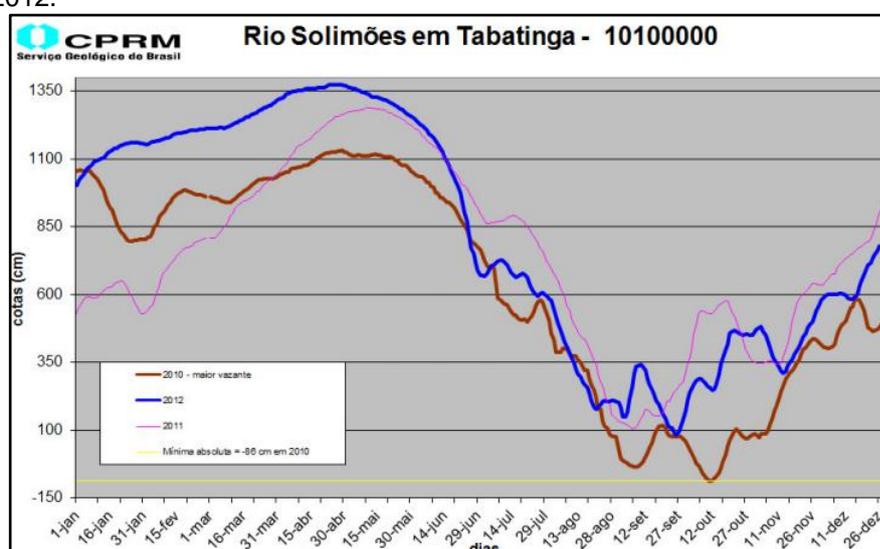
#### 4.1.2 Clima e Vegetação

Uma área dominada por rios e lagos, cercada pela cobertura vegetal típica da Amazônia: Savana (Cerrado), Floresta Ombrófila Densa Aluvial, Floresta Ombrófila Aberta e Áreas de Formações Pioneiras (IBGE, 1992). Destaca-se ainda, o elevado índice pluviométrico, com média anual de 2100 mm/ano (CÁUPER, 2000; MORENGO, 2005;), o clima tropical chuvoso, a temperatura média anual de 27 °C e a elevada umidade relativa do ar, em torno de 80 a 90% nos meses mais chuvosos, na estiagem atinge o mínimo de 75% (QUEIROZ *et al.*, 2009).

Sabe-se que a bacia amazônica é caracterizada por uma importante variação espacial no índice pluviométrico, diferenças nos regimes hidrológicos são observadas entre as partes norte e sul da bacia, onde a distribuição da precipitação durante o ano não é homogênea e difere também nas diferentes áreas da vasta bacia (MORENGO, 1992; XAVIER, *et al.*, 2010). O que ocorre é uma defasagem de 6 meses entre o máximo das precipitações das estações no Hemisfério Norte, em que o período mais chuvoso se situa entre junho e julho, e das estações do Hemisfério Sul, onde os períodos de máxima precipitação ocorrem entre os meses de fevereiro e março (JUNK, 1983; GUYOT *et al.*, 1999; VILLAR *et al.*, 2009).

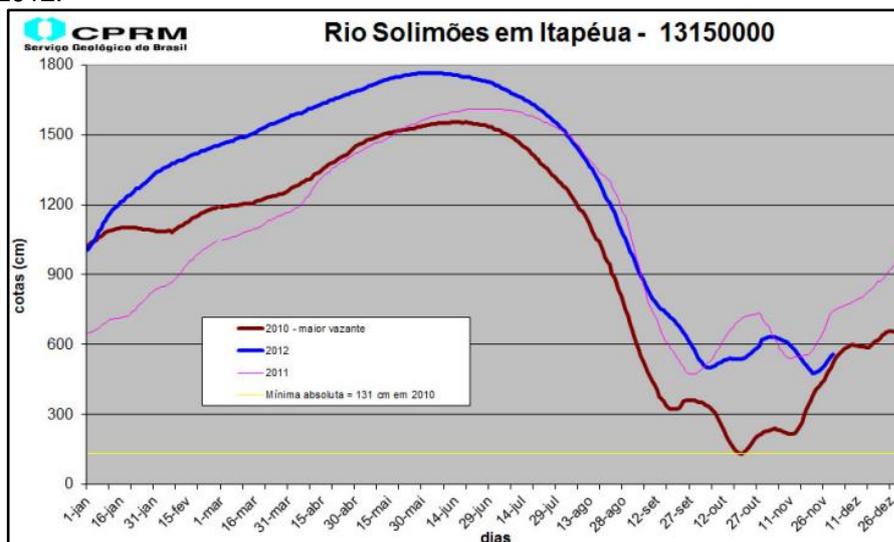
O regime pluviométrico tem reflexos importantes nos regimes dos rios e fornece maior parte das informações hidrológicas dos rios (XAVIER, *et al.*, 2010). A variação dos níveis do rio Solimões nos anos de 2010, 2011 e 2012 em Tabatinga e Itapéua é ilustrada abaixo (figuras 4 e 5).

Figura 4: Cotograma dos níveis do rio Solimões na estação de Tabatinga nos anos de 2010, 2011 e 2012.



Fonte: CPRM, 2014

Figura 5: Cotagrama dos níveis do rio Solimões na estação de Itapeuá nos anos de 2010, 2011 e 2012.



Fonte: CPRM, 2014.

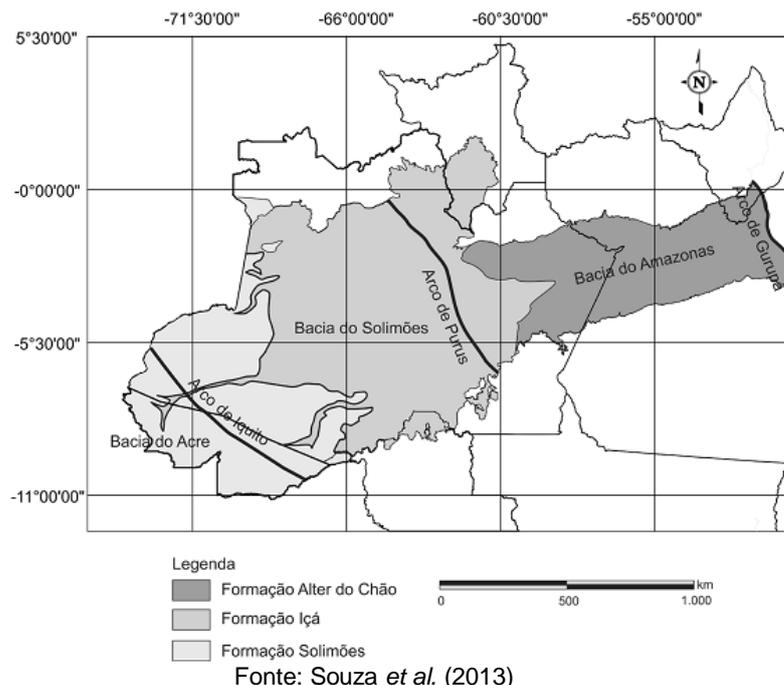
A falta de sincronização entre o regime fluvial e o regime pluvial (chuvas) faz com que existam quatro “estações climáticas”: a enchente (subida das águas), a cheia (nível máximo das águas), a vazante (descida das águas) e a seca (nível mais baixo das águas). O mês de maio marca uma fase de transição, quando geralmente ocorre a normalização da precipitação pluviométrica e o nível das águas se aproxima da cota máxima. Os meses de maio, junho e julho formam o trimestre da estação cheia. Agosto marca o início da vazante, propiciando a rápida reintegração de áreas submersas. Agosto, setembro e outubro formam o trimestre que corresponde à estação da seca. Esta estação se caracteriza por um menor nível das águas, mínimas mensais de precipitação, máximas de insolação e de evapotranspiração. Os meses de novembro, dezembro e janeiro formam o trimestre da estação mais amena. O trimestre fevereiro/março/abril corresponde à enchente (subida das águas) e ao período chuvoso. Denominado localmente de “inverno”, esta estação é marcada por precipitações superiores a 250 mm mensais, baixa insolação e evapotranspiração (FRAXE *et al.*, 2007).

#### 4.1.3 Aspectos Geológicos

Além da forte influência dos sedimentos em suspensão provenientes da erosão dos Andes, as unidades geológicas que influenciam diretamente a química da bacia de drenagem do rio Solimões são as rochas sedimentares das Formações Solimões, Içá, Alter do Chão e sedimentos quaternários.

A Formação Solimões, destacada (figura 6), cobre grande extensão no Estado do Acre e na parte oeste do Estado do Amazonas. Reúne essencialmente argilitos e siltitos finamente laminados e maciços, contendo lentes de linhito e turfa, concreções carbonáticas e gipsíferas, além de quantidades menores de sedimentos arenosos (COSTA *et al.*, 2005). A Formação Içá se estende do alto Solimões até próximo a Manaus, é formada de arenitos e arenitos argilosos fluviais rosados e esbranquiçados, siltitos e argilitos friáveis amarelados, avermelhados, localmente ferruginizados que se assentam em discordância com a Formação Solimões (MAIA *et al.*, 1977; QUEIROZ *et al.*, 2009). A Formação Alter do Chão aflora essencialmente na Bacia do Amazonas, sendo composta por arenitos grossos, friáveis e de cores variadas, que recobrem os estratos paleozoicos (SOUZA *et al.*, 2014; CAPUTO, RODRIGUES & VASCONCELOS, 1971, 1972).

Figura 6: Áreas de afloramento das formações Içá, Solimões e Alter do Chão, nas bacias sedimentares do Solimões e do Amazonas.



Quanto à sedimentação quaternária, essa configura os depósitos arenosos e argilosos das várzeas e ilhas do rio, sendo parte da planície aluvial atual do rio Solimões (HORBE *et al.*, 2007). Os depósitos sedimentares recentes são compostos por arenitos e siltitos constituídos de quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), caulinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ), K-feldspato ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), plagioclásio ( $(\text{Ca},\text{Na})\text{Al}(\text{Al},\text{Si})\text{Si}_2\text{O}_8$ ), mica ( $\text{K}_2\text{OAl}_2\text{O}_3\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), fragmentos de rochas sedimentares (siltitos

e arenitos), metamórficas (xistos) e vulcânicas, além de raros fragmentos de rochas carbonáticas (FRANZINELLI e POTTER, 1989; QUEIROZ *et al.*, 2009).

## 4.2 Metodologia

### 4.2.1 Metodologia de Coleta

O estudo foi realizado ao longo do rio Solimões-Amazonas, com 11 pontos de coletas, sendo 7 pontos na calha principal do rio Solimões e 4 na foz de alguns de seus principais tributários, na Tabela 2, estão listados os locais de coleta e suas respectivas localizações georeferenciadas.

Tabela 2: Localização dos sítios de amostragens no rio Solimões e tributários. J=Jusante, M= Montante.

<b>Estação</b>	<b>Rio</b>	<b>Coordenadas</b>	
		Latitude (S)	Longitude (O)
<b>S1</b>	Solimões M. Jutai	02°42'30.8"	066°54'56.6"
<b>S2</b>	Solimões J. Juruá	02°38'48.0"	065°43'39.3"
<b>S3</b>	Solimões M. Tefé	03°18'49.6"	064°40'58.5"
<b>S4</b>	Solimões J. Coari	04°01'57.1"	062°59'51.8"
<b>S5</b>	Solimões M. Purus	03°45'23.3"	061°36'10.0"
<b>S6</b>	Solimões M. Manacapuru	03°19'48.2"	060°39'03.6"
<b>S7</b>	Amazonas J. Novo Remanso	03°14'12.4"	058°59'31.5"
<b>T1</b>	Jutai	02°50'16.0"	066°55'48.2"
<b>T2</b>	Juruá	02°37'04.2"	065°47'26.0"
<b>T3</b>	Japurá	02°01'17.6"	065°13'37.2"
<b>T4</b>	Purus	03°51'57.1"	061°22'28.9"

As campanhas de coleta seguiram o calendário do projeto RHIA (Recursos Hídricos da Amazônia) e foram realizadas no ano de 2012 nos meses de Maio, período que marca o final da enchente e início da estação de cheia, Julho que corresponde a passagem da cheia para a vazante, e Setembro que corresponde o período de vazante próximo à estação seca. Essas campanhas foram realizadas a bordo de um barco de recreio de médio porte, típico da região amazônica, e as coletas foram executadas a bordo de pequenas lanchas de apoio.

Com o objetivo de evitar qualquer influência vinda das margens e encontrar o ponto mais homogêneo, as coletas foram realizadas em pontos centrais no rio

Solimões e em cada tributário, nesses últimos a coleta foi realizada relativamente próximo às respectivas confluências com o Solimões. Antes do início efetivo de cada coleta, nos pontos de amostragem foram medidos os seguintes parâmetros: temperatura ambiente, temperatura da água, potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e profundidade Secchi.

As coletas foram realizadas a cerca de 30 cm abaixo da lâmina de superfície da água com o auxílio de uma garrafa de Van Dorn, lavada por três vezes com água destilada antes da coleta de cada amostra, em cada ponto foram coletadas três amostras, sendo duas de 1L em dois frascos de polietileno (PET) de mesmo volume e uma de 500 mL também em frasco de PET, previamente limpos e higienizados com água bidestilada. Essas amostras foram identificadas com o nome do local e a data da respectiva coleta.

#### 4.2.2 Tratamento das Amostras

##### 4.2.2.1 Alíquotas para as análises em Cromatografia de Íons

A bordo do barco foram retiradas alíquotas de 125 mL em triplicata de uma das amostras de 1L, para a determinação das espécies  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , e  $\text{SO}_4^{2-}$ , em seguida as mesmas foram inseridas em frascos de polietileno de 125 mL, previamente limpos com água bidestilada e água ultrapura (Milli-Q). Essas alíquotas foram preservadas com timol ( $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}$ ), identificadas com o nome do ponto de coleta e a data de coleta e armazenadas em um refrigerador.

No laboratório essas alíquotas foram filtradas com filtro de membrana de acetato de celulose com  $0.45\ \mu\text{m}$  de porosidade, em seguida foram encaminhadas para análise. Como controle de qualidade foi preparado um branco do preservante (timol) e de cada lote de filtros utilizados.

##### 4.2.2.2 Alíquotas para a determinação de Carbono Orgânico Total (COT), Sólidos Totais em Suspensão (STS) e Alcalinidade.

As demais amostras foram armazenadas em ambiente refrigerado até a chegada ao laboratório para a retirada das alíquotas para a análise de sólidos totais em suspensão, alcalinidade e COT, além de outros parâmetros que estão fora do

escopo deste trabalho. A determinação da alcalinidade e dos sólidos totais em suspensão não requer pré-tratamento das amostras, portanto, suas alíquotas foram diretamente analisadas.

Para a determinação do COT, de cada amostra foram retiradas alíquotas de 20 mL em triplicata, essas alíquotas foram acidificadas com uma solução de ácido clorídrico (HCl) 2 M e filtradas em filtros de fibra de vidro, do tipo GF/D com 0,7  $\mu\text{m}$  de porosidade. Como controle de qualidade foi preparado um branco das soluções de HCl e de cada lote de filtros utilizados.

#### 4.2.3 Análises

##### 4.2.3.1 Determinação dos ânions $\text{Cl}^-$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ e $\text{NO}_2^-$ e dos elementos Na, K, Sr, Ca e Mg

A determinação dos cátions  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  e dos ânions  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  foi realizada por meio do uso da Cromatografia de Íons (CI), em um Cromatógrafo de íons Dionex ICS 1000 com amostrador automático AS-40.

##### 4.2.3.2.1 Determinação dos ânions $\text{Cl}^-$ e $\text{SO}_4^{2-}$

Para essa análise, o eluente empregado foi uma mistura de carbonato de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) (P.A.)  $1,7 \times 10^{-3}$  M e bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ) (P.A.)  $1,7 \times 10^{-3}$  M. Foi construída uma curva multi-elementar a partir de uma solução mãe aquosa, preparada pela dissolução de cloreto de sódio ( $\text{NaCl}$ ) (P.A.) e sulfato de sódio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) (P.A.), todos na concentração de  $1000 \text{ mg.Kg}^{-1}$ .

##### 4.2.3.2 Determinação de $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{Ca}^{2+}$ e $\text{Mg}^{2+}$

Na determinação dessas espécies o eluente empregado foi uma solução de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) (P.A.)  $1,7 \times 10^{-3}$  M. Para a preparação dessas soluções padrão (para a construção da curva) e das amostras foi utilizada água ultrapura, purificada em um sistema Milli-Q (Millipore).

Foi construída uma curva multi-elementar a partir de uma solução mãe aquosa, preparada pela dissolução de cloreto de sódio ( $\text{NaCl}$ ) (P.A.), cloreto de

potássio (KCl) (P.A.), Cloreto de Cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ) (P.A.) e cloreto de magnésio ( $\text{MgCl}_2$ ) (P.A.), todos na concentração de  $1000 \text{ mg.L}^{-1}$ .

Para a execução das análises, foi transferida uma alíquota de 6 mL de cada amostra para pequenos frascos de polietileno (vials), esses frascos foram encaixados no amostrador para o início das análises. A injeção das amostras foi feita por um comando computacional por meio do Software Chromeleon®. A coluna analítica empregada foi a IonPac As12A-4mm, o volume de injeção foi de  $300 \mu\text{L}$ , com vazão igual a  $1 \text{ mL.min}^{-1}$  e pressão oscilando entre 800 e 1800 psi. O cálculo da concentração foi realizado pelo método de adição de padrão, com valores expressos em  $\text{mg.L}^{-1}$ .

#### 4.2.3.3 Determinação da alcalinidade

A alcalinidade foi medida por titulação potenciométrica até pH 4,3, por meio de uma reação de neutralização com uma solução de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 0,01 M em amostras com pH acima de 4,3, sendo os valores expressos em  $\text{mg.L}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$  de acordo com APHA *et al.* (1999). A medida do pH e a titulação foram realizadas em um pHmetro modelo 2000 da INSTRUTHERM.

Em um erlemeyer de 250 mL foi adicionada uma alíquota de 100 mL da amostra, a mesma foi titulada com a solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,01 M até atingir o pH 4,3.

#### 4.2.3.3 Determinação dos Sólidos Totais em Suspensão (STS)

A determinação dos sólidos totais em suspensão foi realizada por análise gravimétrica de acordo com APHA *et al.* (1999), com auxílio de uma estufa Nova Ética modelo 180 e uma balança analítica Master modelo AY120 de 5 casas decimais. Foram empregados filtros de microfibras de vidro (GF/D) com  $0,7 \mu\text{m}$  de diâmetro dos poros, esses foram previamente secados na estufa à temperatura de  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  e pesados até que adquirissem massa constante. Para essa análise foi requerida uma alíquota de 500 mL, a mesma passou por uma filtração a vácuo com auxílio de um sistema de filtração Millipore.

Após a filtração, o filtro contendo as partículas retidas foi novamente levado à estufa, a  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ , resfriado em um dessecador e novamente pesado, esse

procedimento se repetiu até que o mesmo adquirisse massa constante. Os valores foram calculados de acordo com a seguinte equação:

$$STS = \frac{(m_B - m_A) \times 1000}{V_{(amostra)}}$$

Onde,  $m_A$  é a massa do filtro e  $m_B$  é a massa do filtro contendo as partículas retidas.

#### 4.2.3.2 Determinação do Carbono Orgânico Total (COT)

As determinações de COT foram realizadas em um analisador TOC-VCPN (Total Organic Carbon - Combustion Controlled Normal Sensitive) da Shimadzu, empregando-se o método da diferença, no qual se estima os valores do carbono inorgânico (CI) e do carbono total (CT), então, calcula-se o valor do COT pela subtração do CI do valor encontrado para o CT.

Para a determinação do CT foram construídas duas curvas, preparadas a partir de alíquotas retiradas de uma solução mãe de Hidrogenoftalato de Potássio ( $C_6H_4(COOK).9COOH$ ) com concentração igual a  $100 \text{ mg.L}^{-1}$  de carbono. Para determinar o valor de CI também foram construídas duas curvas, preparadas a partir de alíquotas retiradas de uma solução mãe de carbonato de sódio ( $Na_2CO_3$ ) e bicarbonato de sódio ( $NaHCO_3$ ), com concentração igual a  $440 \text{ mg.L}^{-1}$  de carbono.

Depois de construídas as curvas, foram realizadas medidas de amostras padrão como controle de qualidade e verificação da resposta do equipamento. Para execução das análises foram transferidos 40 mL da amostra, previamente filtrada, para um pequeno frasco de vidro de 40 mL previamente limpo e higienizado com água ultrapura (Milli-Q), esses frascos foram fixados no amostrador para a injeção das amostras. As análises foram iniciadas por comando computacional por meio do software TOC-Control V.

#### 4.2.4 Análise Estatística

Todos os dados obtidos foram tabulados utilizando-se o programa Microsoft Excel® 2010 e inicialmente submetidos à análise estatística descritiva. Para verificar a possível existência de diferença significativa dos valores de cada parâmetro entre os períodos amostrais foram empregados testes de inferência estatística. O conjunto de dados gerado a partir das coletas na calha do rio Solimões passou primeiro pelo teste de Shapiro-Wilk ( $W$ ) para verificar se os mesmos apresentavam distribuição normal. Para os que apresentaram a distribuição normal empregou-se a Análise de Variância (ANOVA) de único fator ( $\alpha = 0,05$ ) para verificação da ocorrência de variações significativas dos parâmetros analisados ao longo dos períodos de coleta. Quando os critérios de distribuição normal não foram atingidos proceder-se-ia à comparação pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis.

Em seguida os dados foram submetidos aos testes de estatística multivariada de Análise dos Componentes Principais (PCA) e Análise de Agrupamento Hierárquico (HCA), a fim de se verificar relações e padrões de comportamento para os parâmetros analisados, locais de coleta e períodos amostrais. Segundo Moita-neto e Moita (1998) são técnicas estatísticas complementares que possuem grande aceitação na análise de dados químicos, e por isso foram empregadas no presente trabalho. As correlações entre as variáveis foram verificadas por meio do coeficiente de Person. Todos os testes estatísticos foram executados no programa R versão 3.0.1 de 2013.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Variações dos Parâmetros ao Longo do Rio Solimões

Os resultados obtidos no teste de normalidade de Shapiro-Wilk ( $\alpha = 0,05$ ) são mostrados na tabela 3. Houve apenas um conjunto de dados que não apresentou distribuição normal, as concentrações de  $Mg^{2+}$  ( $p = 0,027$ ) referente ao mês de maio, no restante dos casos todos os dados apresentaram distribuição normal. Como houve apenas uma situação isolada em que a distribuição não foi paramétrica, assume-se que todos os conjuntos de dados apresentam distribuição normal, cumprido assim com os requisitos para a aplicação da ANOVA

Tabela 3: Resultados dos testes de normalidade para todos os parâmetros empregando-se o teste de Shapiro- Wilk ( $\alpha = 0,050$ ).

<i>Período</i>		<i>T.água</i>	<i>pH</i>	<i>CE</i>	<i>STS</i>	<i>Na<sup>+</sup></i>	<i>K</i>	<i>Mg<sup>2+</sup></i>	<i>Ca<sup>2+</sup></i>	<i>Cl<sup>-</sup></i>	<i>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></i>	<i>COT</i>	<i>Alcal.</i>
<b>Maio</b>	p-valor	0,976	0,339	0,748	0,871	0,953	0,249	0,027	0,520	0,957	0,858	0,002	0,786
	w	0,983	0,908	0,954	0,967	0,978	0,893	0,797	0,931	0,979	0,965	0,702	0,958
<b>Julho</b>	p-valor	0,721	0,986	0,299	0,443	0,155	0,801	0,219	0,221	0,640	0,690	0,403	0,528
	w	0,951	0,986	0,902	0,922	0,871	0,959	0,887	0,887	0,943	0,948	0,917	0,931
<b>Setembro</b>	p-valor	0,164	0,372	0,066	0,359	0,549	0,780	0,087	0,468	0,863	0,657	0,343	0,315
	w	0,874	0,913	0,835	0,911	0,934	0,957	0,846	0,925	0,966	0,945	0,908	0,904

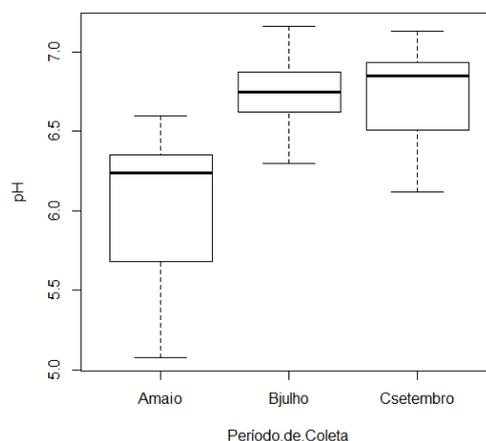
Os padrões de comportamento geral de cada variável ao longo dos períodos hidrológicos na calha principal do rio Solimões foram analisados de acordo com a sequência abaixo.

#### 5.1.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Esse parâmetro apresentou variação significativa ao longo dos períodos de coleta ( $p = 0,002$ ), onde a média para o mês de maio foi inferior à observada nos meses de julho e setembro (figura 7). Sabe-se que maio é um dos meses de cheia, período em que o volume do rio alcança níveis elevados, invadindo a várzea em um processo denominado pulso de inundação, além de ser um período com elevado índice pluviométrico. As extensas áreas de mata inundadas pelo transbordo lateral do rio junto com o arraste de matéria orgânica das áreas de mata não alagadas pelas as águas das chuvas podem ter contribuído para esse resultado, tendo em vista que o material húmico presente na matéria orgânica apresenta caráter ácido, o

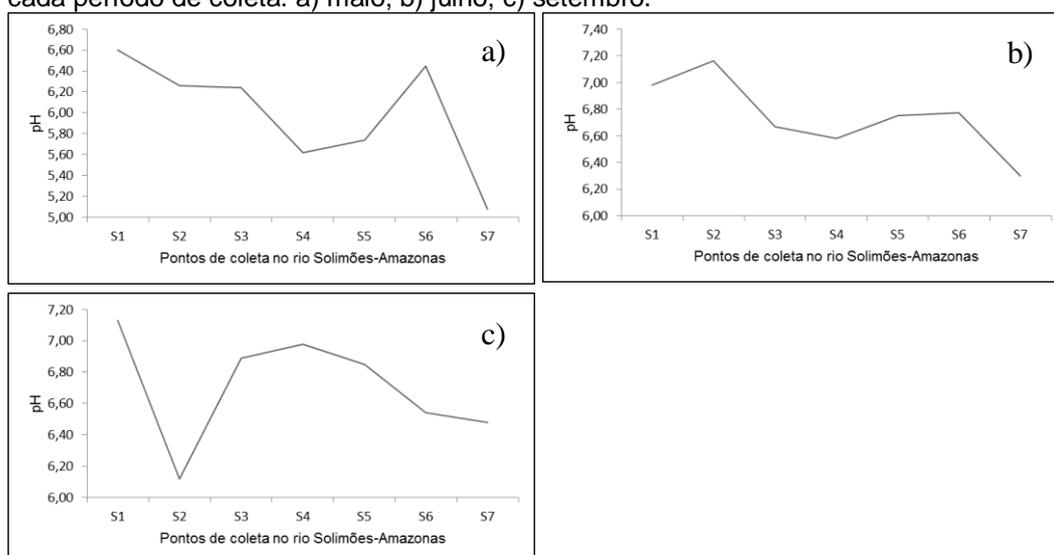
que conseqüentemente contribui para que essas águas venham a apresentar valores de pH levemente mais ácidos.

Figura 7: Variação do pH ao longo dos períodos de coleta, com média, mínimo e máximo.



A figura 8 ilustra o comportamento do pH em cada ponto amostral para os três períodos de coleta. Os valores de pH apresentaram-se próximos à neutralidade, no período de coleta em que os níveis das águas estavam mais baixos, ou seja, em setembro, foi registrado o valor mais elevado (7,16) no ponto amostral S2 localizado à jusante do rio Juruá (S2), enquanto que o menor (5,08) foi medido no ponto amostral localizado no início do rio Amazonas (S7) no mês de maio, área fortemente influenciada pelo rio Negro.

Figura 8: variação do pH ao longo dos pontos amostrais no rio Solimões-Amazonas em cada período de coleta: a) maio; b) julho; c) setembro.



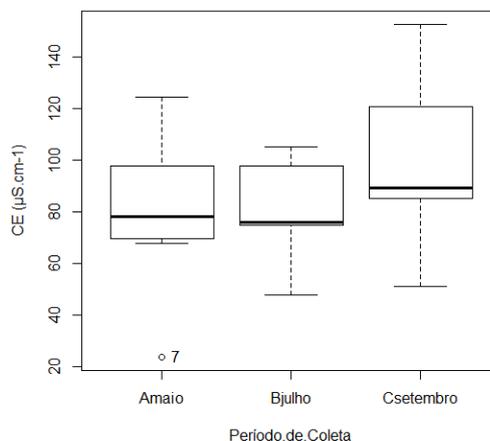
Ao longo dos pontos no rio Solimões o pH variou de forma significativa, a tendência geral foi um aumento da acidez de montante para jusante do rio, depois da confluência com o rio Negro, observa-se uma tendência para valores mais ácidos, provocada pela carga de matéria orgânica húmica oriunda do mesmo. De acordo com Starllard e Edmond (1987) o pH das águas dos rios da Amazônia também tem relação com o ambiente geológico, tendo em vista que os minerais silicatados influenciam, juntamente com os carbonatos e bicarbonatos, as reações do meio aquoso e conferem forte poder de tamponamento a essas águas. Portanto, enquanto a matéria orgânica tende a acidificar a água liberando íons  $H^+$ , a geologia e os sedimentos em suspensão contribuem para manter o pH próximo a neutralidade, pois a dissolução dos silicatos por hidrólise consome íons  $H^+$  e eleva o pH das águas.

Os valores encontrados para esse parâmetro estão de acordo com diversos estudos realizados no canal principal do Solimões (SEYLER e BOAVENTURA, 2003; GAILLARDET *et al.*, 2003; SIOLI, 1975).

### 5.1.2 Condutividade Elétrica (CE)

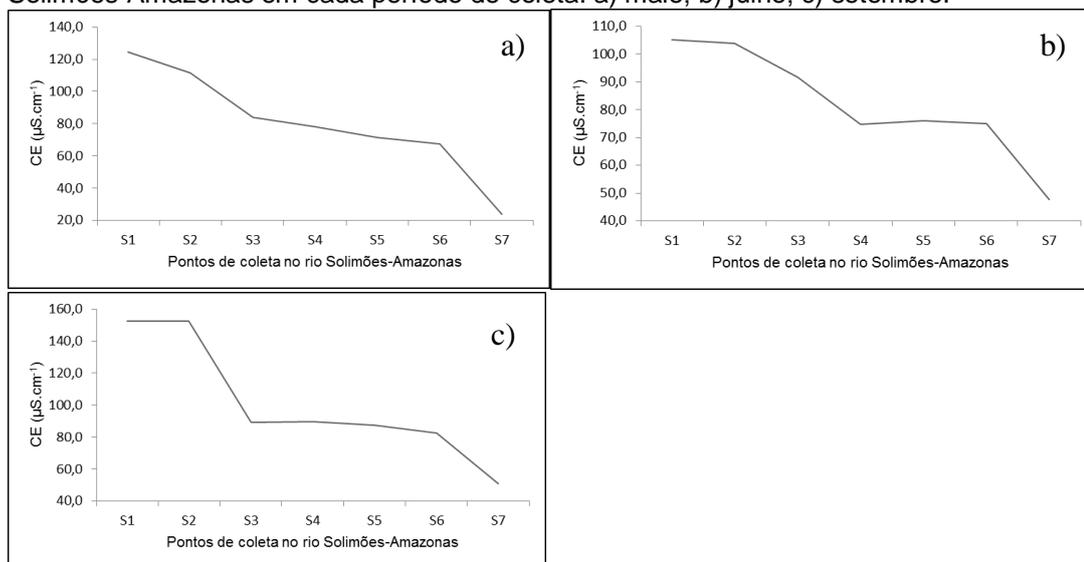
A condutividade elétrica está diretamente relacionada à concentração de íons dissolvidos na água, seu valor também depende da temperatura e diferi para cada íon. A CE não apresentou variação significativa ao longo dos períodos de coleta ( $p = 0,208$ ), mesmo assim, observa-se que em setembro foram medidos os valores mais elevados para essa variável (figura 9).

Figura 9: variação da condutividade elétrica (CE) ao longo dos períodos de coleta, com média, mínimo e máximo.



Na figura 10 está ilustrado o comportamento da CE ao longo dos pontos amostrais no rio Solimões-Amazonas. O valor mais elevado ( $155,4 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) foi medido em setembro no ponto S2, enquanto que, o menor ( $23,8 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) também foi encontrado em maio no ponto S7.

Figura 10: variação da condutividade elétrica (CE) ao longo dos pontos amostrais no rio Solimões-Amazonas em cada período de coleta: a) maio; b) julho; c) setembro.



Nota-se que este parâmetro apresentou forte variação espacial, assim como foi observado para o pH, nos três períodos de coleta é clara a diminuição da CE ao longo dos pontos amostrais, que estão dispostos de montante à jusante do rio, onde no ponto amostral S8 nota-se uma queda acentuada, neste ponto as águas do rio Solimões ricas em cátions e ânions se misturam com as águas escuras do rio Negro, que apresenta uma carga menor de espécies iônicas dissolvidas. Os valores aqui encontrados estão dentro da faixa de obtida por Seyler e Boaventura (2002) ( $6,3-289,0 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) e Queiroz *et al.* (2009) ( $86,0-122,0 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) em estudos na calha principal do rio Solimões.

### 5.1.3 Temperatura da Água

A temperatura desempenha um importante papel no controle de espécies aquáticas, podendo ser considerada uma das características mais importantes do meio aquático (SILVA *et. al*, 2008). Essa variável apresentou aumento significativo ( $p = 6,44 \times 10^{-10}$ ) ao longo dos períodos de coleta, o mês de setembro foi o que se destacou dos demais, nas figuras 11 e 12 pode ser observado o comportamento desse parâmetro.

Figura 11: variação da temperatura da água (°C) ao longo dos períodos de coleta, com média, mínimo e máximo.

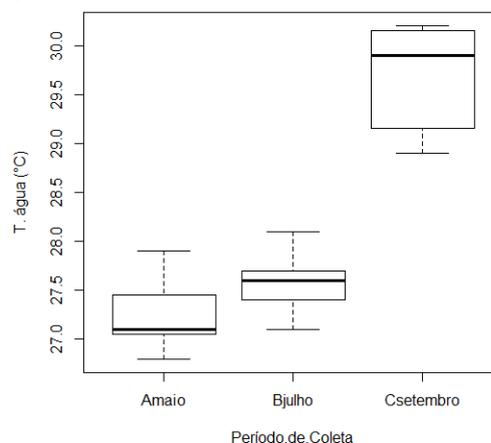
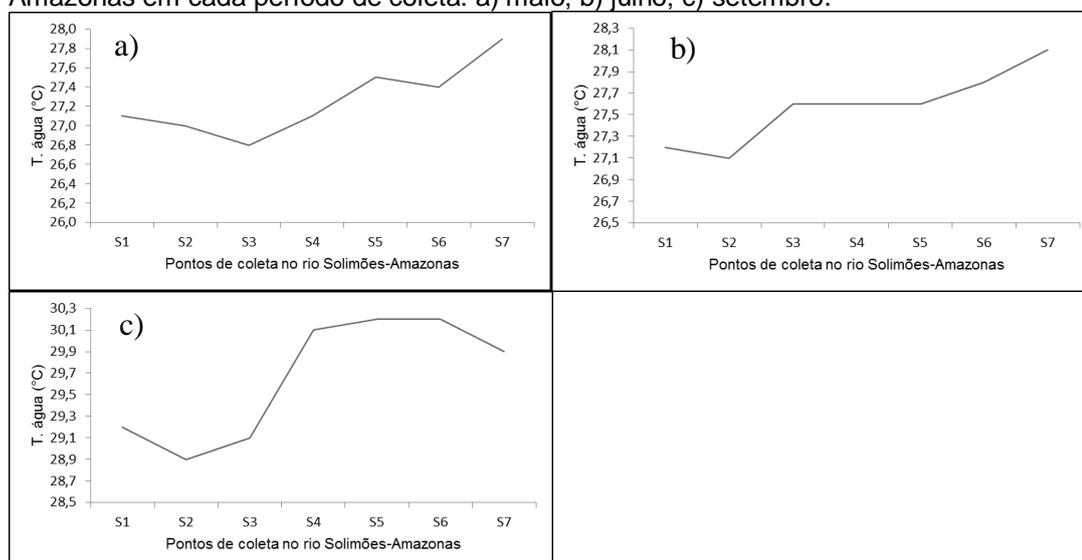


Figura 12: variação da temperatura da água ao longo dos pontos amostrais no rio Solimões-Amazonas em cada período de coleta: a) maio; b) julho; c) setembro.



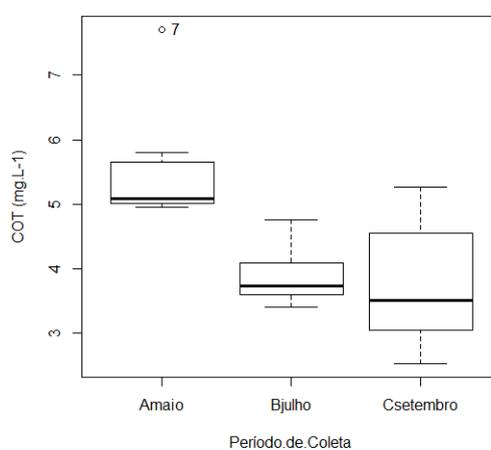
Em setembro foram registrados os maiores valores para esse parâmetro devido à alta intensidade dos raios solares nesse período. A obtenção de valores mais elevados em períodos em que os níveis dos corpos hídricos estão muito baixos também foi observada em outros trabalhos desenvolvidos em águas amazônicas (PINTO *et al.*, 2009; BERNARDI, 2009; GAILLARDET *et al.*, 2003).

#### 5.1.4 Carbono Orgânico Total (COT)

O COT foi mais uma variável que apresentou variação significativa ao longo dos períodos de coletas ( $p = 0,0003$ ), o mês de maio destacou-se dos demais, como pode ser observado na figura 13. Como citado anteriormente, maio é um dos

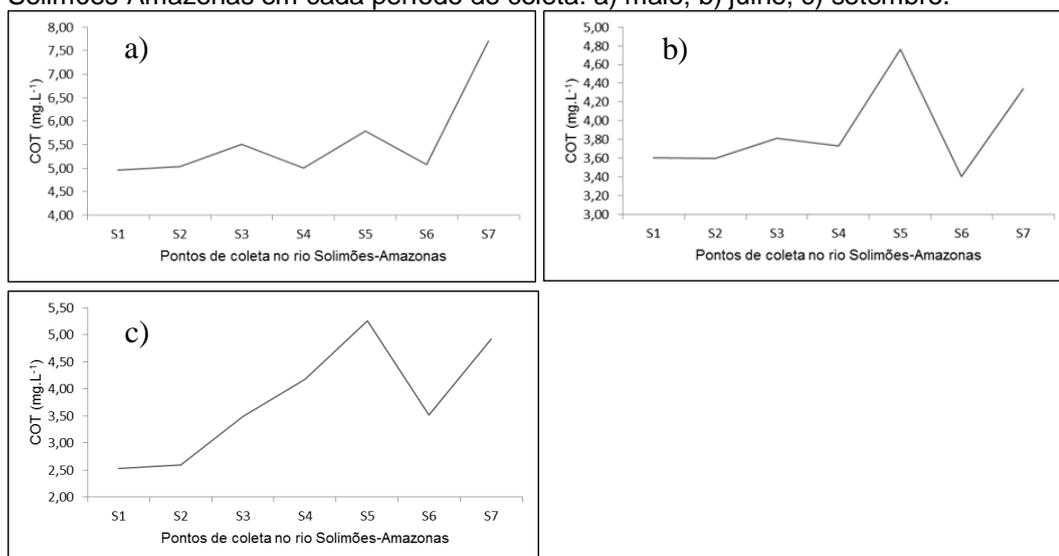
meses que formam o período das cheias, em que o volume do rio alcança níveis elevados invadindo a várzea em um processo denominado pulso de inundação, além de ser um período com elevado índice pluviométrico. As extensas áreas de mata inundadas pelo transbordo lateral do rio junto com o arraste de matéria orgânica das áreas de mata não alagadas pelas as águas das chuvas provavelmente contribuem para a elevação do teor de carbono orgânico nessas águas.

Figura 13: variação do carbono orgânico total (COT) ao longo dos períodos de coleta, com média, mínimo e máximo.



Ao longo dos pontos de coleta a tendência foi de aumento na concentração de COT nos meses de julho e setembro (figura 14), o valor mínimo ( $2,53 \text{ mg.L}^{-1}$ ) foi medido no ponto amostral S1 e o máximo ( $7,71 \text{ mg.L}^{-1}$ ) no S7 (rio Amazonas), após a confluência com o rio Negro. Mais uma vez fica evidenciada a forte influência exercida por esse tributário, que contribui para a diminuição do pH e da condutividade elétrica e para o aumento da carga de matéria orgânica nessas águas.

Figura 14: variação do carbono orgânico total (COT) ao longo dos pontos amostrais no rio Solimões-Amazonas em cada período de coleta: a) maio; b) julho; c) setembro.

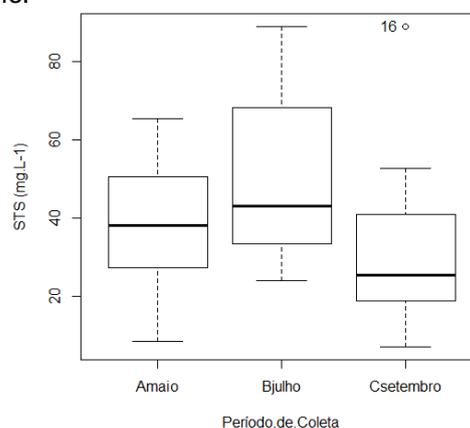


Aucour *et al.* (2003) estimaram que o COT corresponde a aproximadamente 65% do carbono total (CT) no rio Solimões antes da confluência com o rio Negro. No estudo da variação sazonal do carbono orgânico dissolvido (COD) no alto Purus Salimon *et al.* (2013), verificaram padrão de comportamento similar ao observado para o COT no presente estudo.

### 5.1.5 Sólidos Totais em Suspensão (STS)

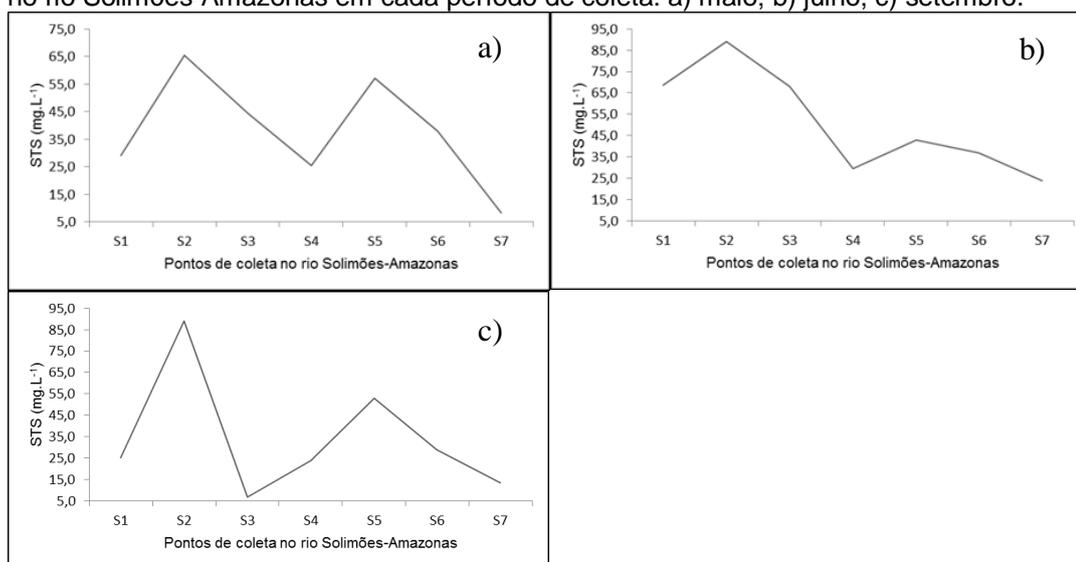
Os STS não apresentaram variação significativa ao longo dos períodos de coleta ( $p = 0,214$ ), figura 15. A maior concentração média de STS foi medida no mês de julho (89,0 mg.L<sup>-1</sup>) no ponto S3 e em maio foi encontrado o menor (3,2 mg.L<sup>-1</sup>) no ponto S2.

Figura 15: variação dos sólidos totais em suspensão (STS) ao longo dos períodos de coleta, com média, mínimo e máximo.



Quanto à variação espacial, ao longo dos pontos de coleta nos três períodos foi observada uma diminuição na concentração dos STS de montante à jusante do rio (figura 16), esse padrão de comportamento também foi observado por Mortatti e Probst (1994).

Figura 16: variação dos sólidos totais em suspensão (STS) ao longo dos pontos amostrais no rio Solimões-Amazonas em cada período de coleta: a) maio; b) julho; c) setembro.



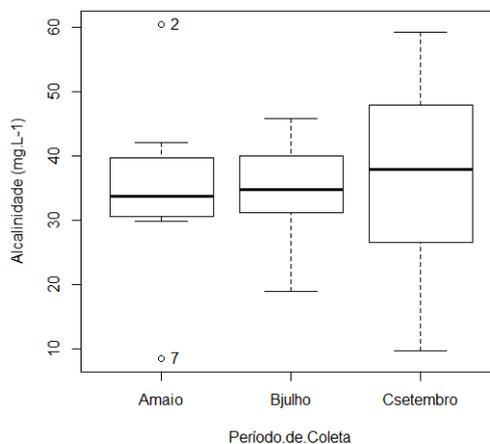
A estimativa da descarga total de sólidos em suspensão na bacia amazônica tem sido objeto de vários estudos (GIBBS, 1967; DUNNE *et al.*, 1998; FILIZOLA e GUYOT, 2004; GUYOT *et al.*, 2007; MARTINEZ *et al.*, 2009), segundo esses pesquisadores a maior parte da carga de sedimentos (cerca de 90%) carregada pelo rio Amazonas tem origem nos Andes. A composição mineralógica desse material particulado no rio Solimões foi estudada por Martinelli *et al.* (1993), esses autores fizeram uma estimativa da fração total e trocável de elementos maiores em sedimentos coletados no rio Solimões-Amazonas, segundo esses autores a composição média desse material diminui na seguinte ordem  $Si > Al > Fe > Na > Ca > K > Mg > Ti$ .

#### 5.1.6 Alcalinidade

Alcalinidade de uma amostra de água pode ser definida como sua capacidade de reagir quantitativamente com um ácido forte até um valor definido de pH, usualmente 4,3. Esse foi mais um dos parâmetros que não apresentou variação significativa ao longo dos períodos amostrais ( $p = 0,701$ ), o comportamento para essa variável pode ser observado na figura 17. O maior valor (59,17 mg.L<sup>-1</sup>) foi

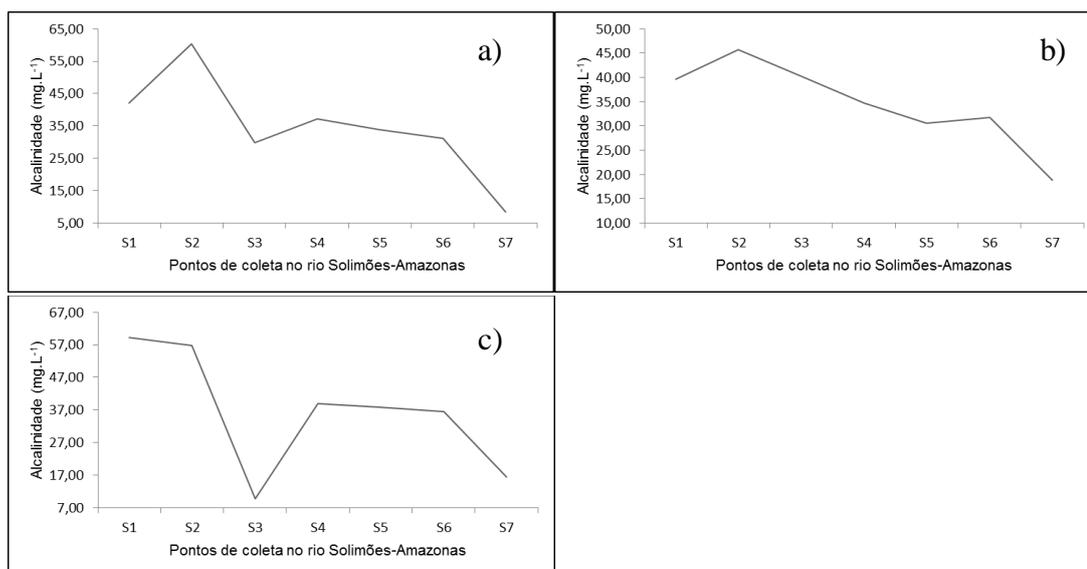
medido no ponto S1 mês de setembro, e o mínimo ( $8,54 \text{ mg.L}^{-1}$ ) no mês de maio no ponto S7.

Figura 17: variação da alcalinidade ao longo dos períodos de coleta, com média, mínimo e máximo.



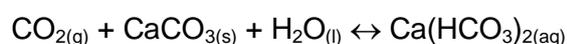
Nos três períodos amostrais foi observada uma tendência de diminuição da alcalinidade de montante à jusante do rio, figura 18. O baixo valor obtido no ponto S3 em setembro, provavelmente tenha sido devido a possíveis influências do rio Japurá sobre esse ponto, esse rio apresenta características diferentes das observadas para o rio Solimões, apresentando um menor teor das espécies carbonatadas que são as que mais contribuem para a alcalinidade.

Figura 18: variação da alcalinidade ao longo dos pontos amostrais no rio Solimões-Amazonas em cada período de coleta: a) maio; b) julho; c) setembro.



A alcalinidade é um parâmetro que afeta diretamente o pH da água, de acordo com Cunha e Pascoaloto (2006) os principais componentes da alcalinidade são os sais do ácido carbônico, ou seja, bicarbonatos e carbonatos, e os hidróxidos. Outros sais de ácidos fracos inorgânicos, como boratos, silicatos, fosfatos, ou de ácidos orgânicos, como sais de ácido húmico, ácido acético, etc., também conferem alcalinidade às águas, mas seus efeitos normalmente são desconsiderados por serem pouco representativos.

Os bicarbonatos e, em menor extensão, os carbonatos, que são menos solúveis, dissolvem-se na água devido à sua passagem pelo solo. Se este solo for rico em calcário, o gás carbônico da água o solubiliza, transformando-o em bicarbonato, conforme a reação:



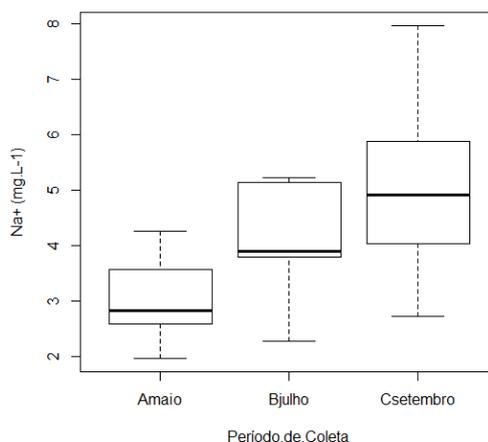
Portando, a elevação de concentração das formas carbonatadas livres elevam a alcalinidade, o que conseqüentemente contribui bastante para o aumento do pH e da ação tamponante dessas águas.

#### 5.1.7 Íon Sódio ( $\text{Na}^+$ )

O  $\text{Na}^+$  foi o segundo elemento com maior teor em todos os pontos amostrados, esse mesmo padrão de comportamento foi verificado por Seyler e Boaventura (2003). As concentrações de  $\text{Na}^+$  variaram bastante ao longo dos períodos de coleta ( $p = 0,008$ ), com diferença significativa entre os meses de maio e setembro.

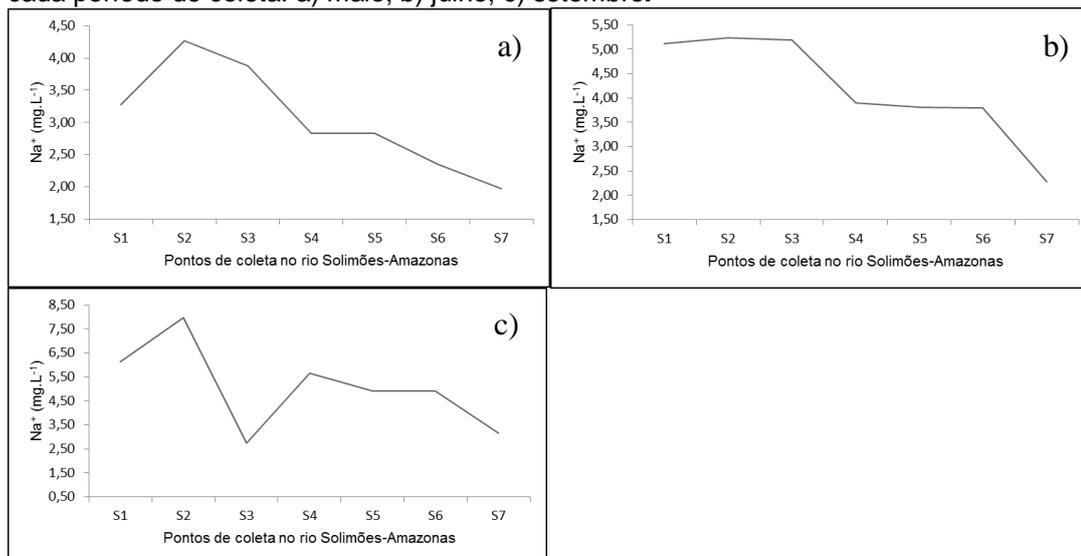
Assim como outras variáveis, as concentrações de  $\text{Na}^+$  também apresentaram uma tendência para o aumento de concentração ao longo dos períodos de coleta, com os menores observados em maio, em julho valores maiores que maio, e em setembro foram registrados os níveis mais altos de sódio dentre os três períodos de coleta (figura 19).

Figura 19: variação do  $\text{Na}^+$  ao longo dos períodos de coleta, com média, mínimo e máximo.



A concentração média ficou em torno de  $4,222 \text{ mg.L}^{-1}$ , o menor valor ( $1,980 \text{ mg.L}^{-1}$ ) foi medido no ponto amostral S7, no início do rio Amazonas, e o valor máximo ( $8,819 \text{ mg.L}^{-1}$ ) no local amostral S1, à montante do rio Jutaí. Quanto à variação espacial, de montante à jusante do rio, principalmente no mês de maio, a tendência é de diminuição na concentração desta espécie, com os menores teores no ponto amostral S7, início do rio Amazonas (figura 20). Esse comportamento apresenta concordância com os resultados citados por Martinelli *et al.* (1993) na análise da sedimentação no rio Solimões-Amazonas, esses autores verificaram que, de montante à jusante, enquanto a concentração de quartzo e kaolinita aumenta, a concentração de Na- e Ca-plagioclásios diminui.

Figura 20: variação do  $\text{Na}^+$  ao longo dos pontos amostrais no rio Solimões-Amazonas em cada período de coleta: a) maio; b) julho; c) setembro.



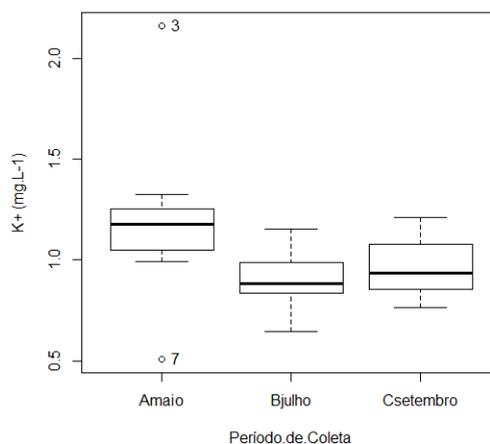
Os níveis de concentrações de  $\text{Na}^+$  encontrados neste estudo estão um pouco acima dos valores encontrados por Queiroz *et al.* (2009), que discutiram

características físico-químicas das águas dos rios Solimões, Purus e seus principais afluentes, em amostras coletadas em novembro de 2004. No Solimões as concentrações encontradas por esses autores oscilaram entorno da média de 3,250 mg.L<sup>-1</sup>, enquanto que no presente estudo as concentrações dessa espécie apresentaram médias de 5,449 mg.L<sup>-1</sup>.

### 5.1.8 Íon Potássio (K<sup>+</sup>)

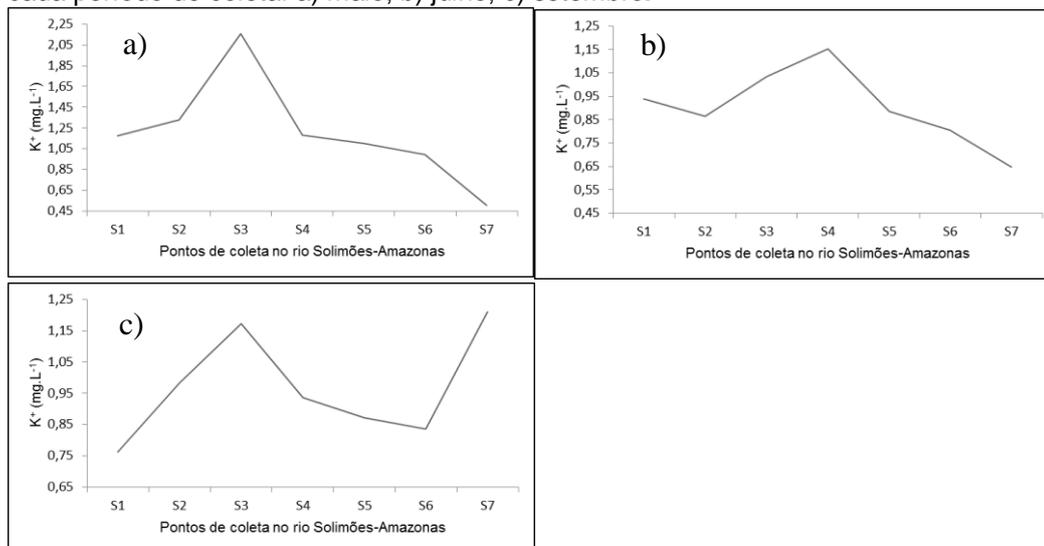
O potássio foi o elemento que apresentou as menores concentrações dentre todos os metais. As concentrações médias de K<sup>+</sup> entre os períodos amostrais variaram em torno de 1,005 mg.L<sup>-1</sup>, apresentando variação não significativa ( $p = 0,186$ ), esse comportamento está ilustrado na figura 21.

Figura 21: variação do K<sup>+</sup> (mg.L<sup>-1</sup>) ao longo dos períodos de coleta, com média, mínimo e máximo.



Ao longo dos pontos amostrais não foi observada tendência de aumento ou diminuição de concentração, figura 22. Em março foi medido o valor máximo de concentração (2,159 mg.L<sup>-1</sup>) no ponto amostral S3, localizado à montante de Tefé, enquanto que o valor mínimo (0,510 mg.L<sup>-1</sup>) foi medido no ponto amostral S7, início do rio Amazonas, em setembro.

Figura 22: variação do  $K^+$  ao longo dos pontos amostrais no rio Solimões-Amazonas em cada período de coleta: a) maio; b) julho; c) setembro.

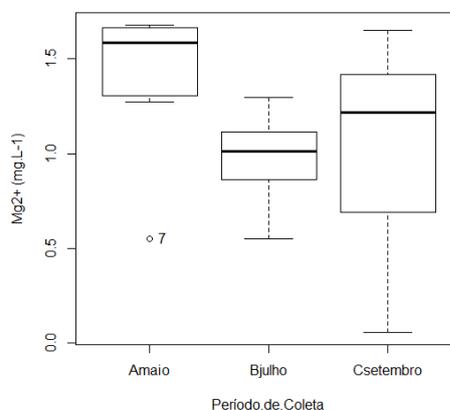


As concentrações de  $K^+$  estão próximas dos valores encontrados por Queiroz *et al.* (2009), Devol *et al.* (1995), Santos e Ribeiro (1988) e Furch (1984) que encontraram concentrações médias próximas de 1 mg.L<sup>-1</sup>.

### 5.1.9 Íon Magnésio ( $Mg^{2+}$ )

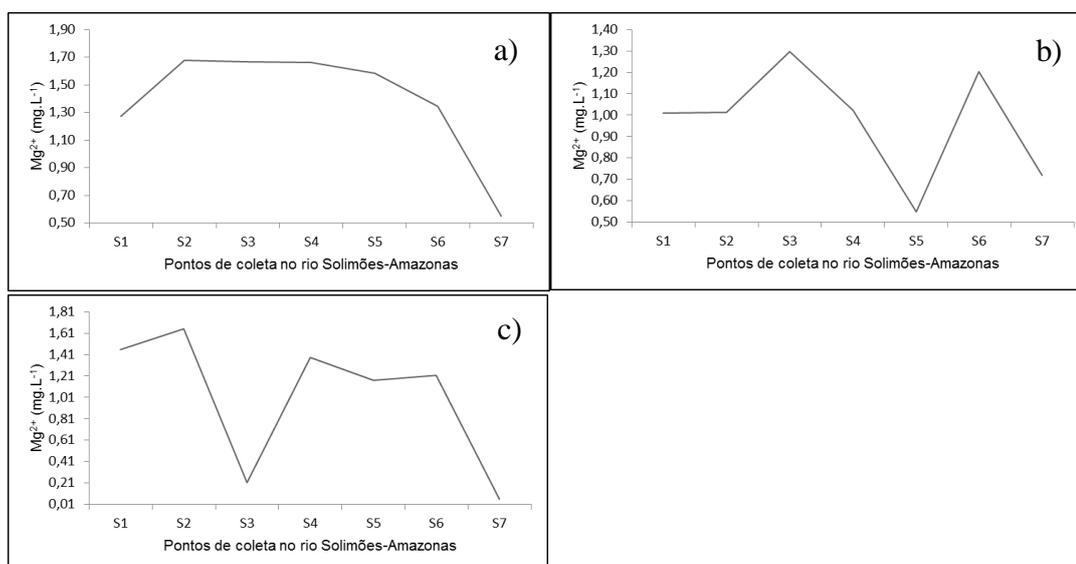
O  $Mg^{2+}$  também foi encontrado em baixas concentrações e sua variação não foi significativa ao longo dos períodos amostrais ( $p = 0,240$ ). As concentrações médias de  $Mg^{2+}$  apresentaram comportamento similar ao observado para o  $K^+$ , em todos os períodos amostrais as mesmas variaram em torno do valor médio de 1,090 mg.L<sup>-1</sup>, conforme ilustrado na figura 23.

Figura 23: variação do  $Mg^{2+}$  ao longo dos períodos de coleta, com média, mínimo e máximo.



Para essa espécie foi observada em maio, julho e setembro uma tendência de diminuição na concentração de montante a jusante do rio (figura 24). Em setembro foi medido o valor mais elevado de concentração ( $1,775 \text{ mg.L}^{-1}$ ) no ponto amostral S2 e o menor ( $0,550 \text{ mg.L}^{-1}$ ) em julho no ponto amostral S5, localizado à montante de Tefé. As concentrações de  $\text{Mg}^{2+}$  também apresentaram concordância com as citadas por Queiroz *et al.* (2009) e Furch (1984).

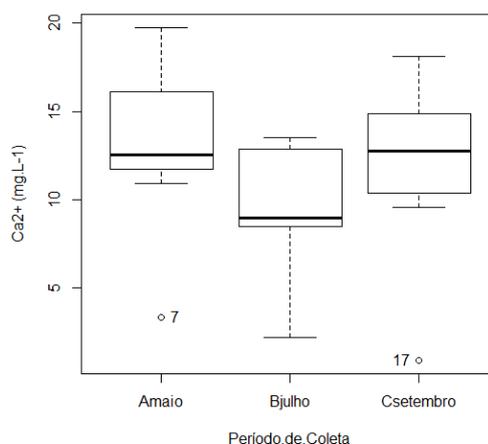
Figura 24: variação do  $\text{Mg}^{2+}$  ao longo dos pontos amostrais no rio Solimões-Amazonas em cada período de coleta: a) maio; b) julho; c) setembro.



### 5.1.10 Íon Cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ )

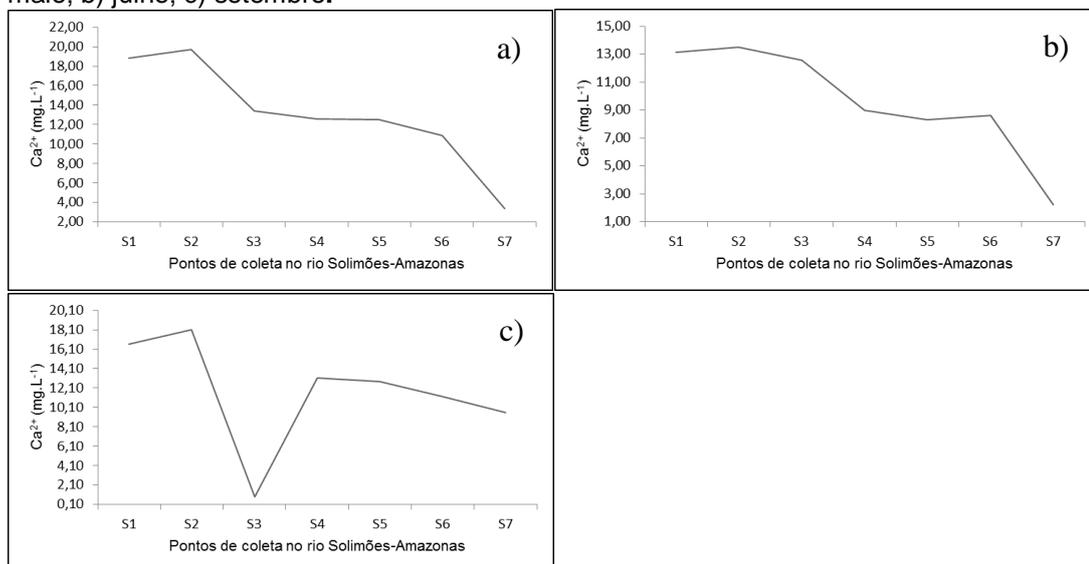
O  $\text{Ca}^{2+}$  foi o elemento que apresentou maior concentração dentre todos os metais, nenhuma das espécies apresentou concentrações próximas às concentrações desse elemento. O comportamento médio das concentrações de cálcio foi similar ao observado para o magnésio e potássio, não apresentando variação significativa ( $p = 0,244$ ) ao longo dos períodos de coleta (figura 25).

Figura 25: variação do  $\text{Ca}^{2+}$  ao longo dos períodos de coleta, com média, mínimo e máximo.



Os teores dessa espécie oscilaram em torno do valor médio de 11,411  $\text{mg.L}^{-1}$ , em maio foi medido o valor mais elevado de concentração (19,730  $\text{mg.L}^{-1}$ ) no ponto amostral S2, à jusante do rio Juruá, enquanto que o menor valor (0,918  $\text{mg.L}^{-1}$ ) foi medido em setembro no ponto S3, à montante de Tefé, mas foi no mês de julho em que o  $\text{Ca}^{2+}$  apresentou em média as menores concentrações, com média de 8,820  $\text{mg.L}^{-1}$ . De montante à jusante nos três períodos de coleta é clara a tendência de diminuição de concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  ao longo do rio Solimões-Amazonas (figura 26).

Figura 26: comportamento médio do  $\text{Ca}^{2+}$  ao longo dos pontos amostrais no rio Solimões: a) maio; b) julho; c) setembro.



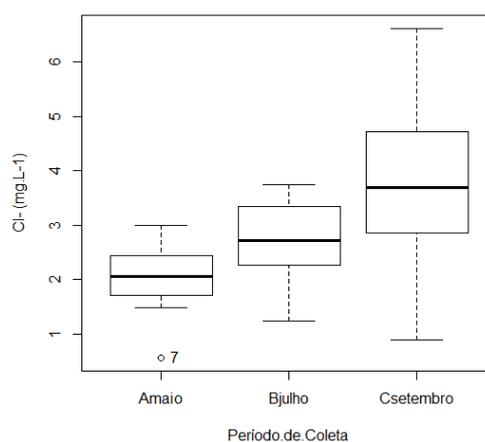
Os níveis de concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  superiores a  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  aparentam ser característicos das águas do rio Solimões, como pode ser observado em diversos estudos (FURCH, 1984; DEVOL *et al.*, 1995; GAILLARDET *et al.* 1997;

AUCOUR *et al.*, 2003; QUEIROZ *et al.*, 2009), esses níveis de cálcio refletem a importância dessa espécie neste ambiente hídrico, segundo Esteves (1988), o  $\text{Ca}^{2+}$  tem importante papel na produtividade global dos ecossistemas aquáticos, por fazer parte de importantes processos químicos e fisiológicos.

#### 5.1.11 Íon Cloreto ( $\text{Cl}^-$ )

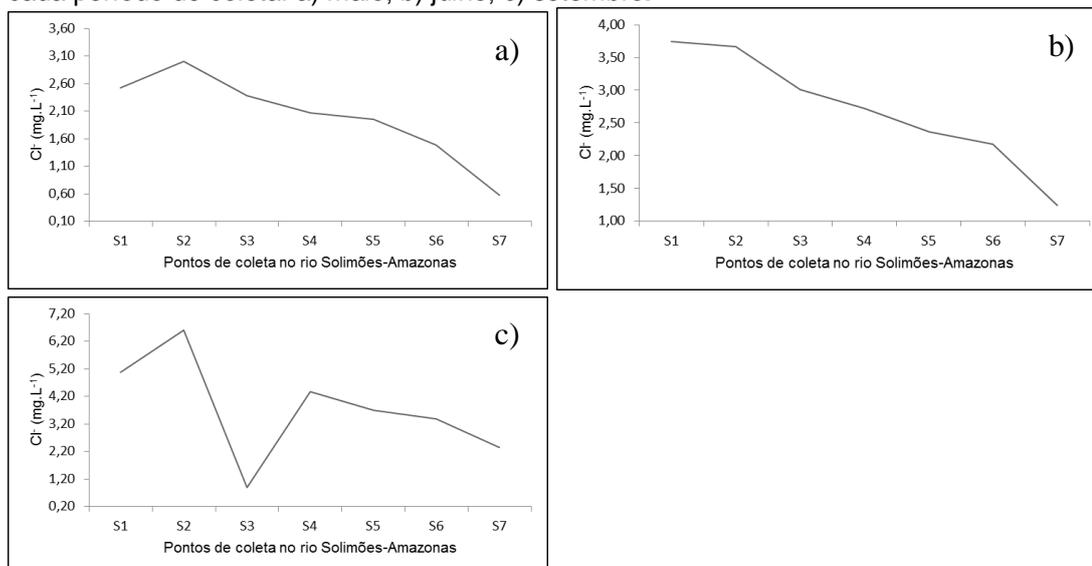
As concentrações do íon cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) apresentaram variação significativa ( $p = 0,012$ ), com comportamento similar ao observado para o  $\text{Na}^+$ , a tendência foi de elevação da concentração dessa espécie ao longo dos períodos de coletas, como pode ser observado na figura 27.

Figura 27: variação do  $\text{Cl}^-$  ao longo dos períodos de coleta, com média, mínimo e máximo.



De montante à jusante a tendência é uma diminuição na concentração dessa espécie nos três períodos amostrais (figura 28). Em setembro foi medido o valor mais elevado de concentração ( $5,070 \text{ mg.L}^{-1}$ ) no ponto S1 e em Julho o menor valor ( $0,572 \text{ mg.L}^{-1}$ ) no ponto S7.

Figura 28: variação do  $\text{Cl}^-$  ao longo dos pontos amostrais no rio Solimões-Amazonas em cada período de coleta: a) maio; b) julho; c) setembro.

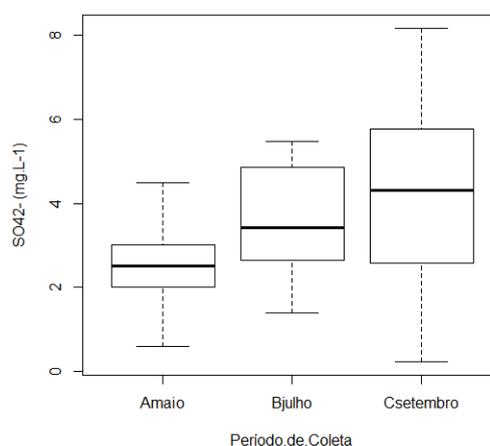


As concentrações de  $\text{Cl}^-$  estão acima dos valores citados por Queiroz *et al.* (2009) e abaixo dos encontrados por Seyler e Boa Ventura (2003), porém, mais próximos dos níveis encontrados por Devol *et al.* (1995). As médias encontradas para esta espécie foram compatíveis com os níveis de  $\text{Na}^+$ .

#### 5.1.12 Íon Sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ )

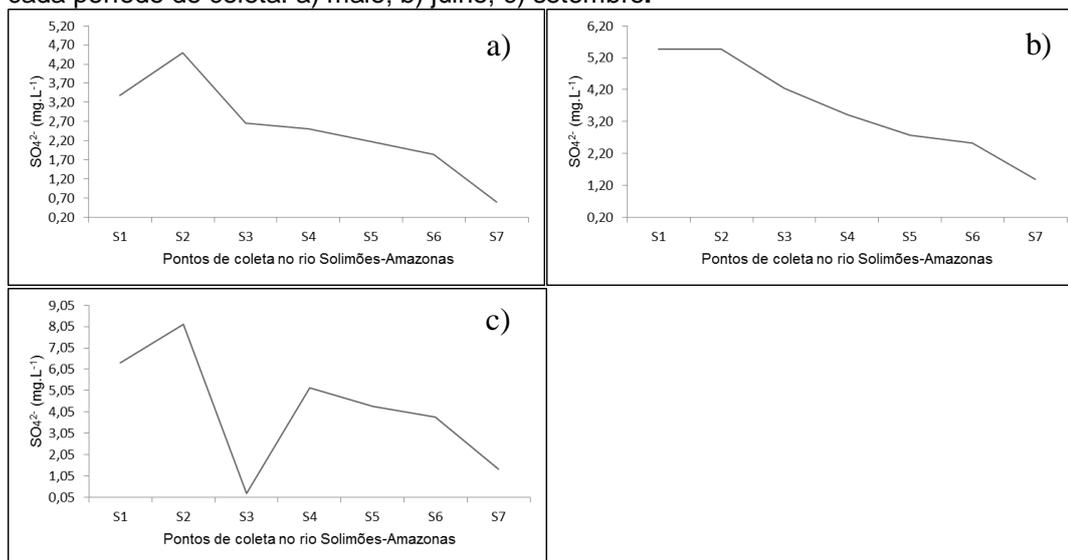
As concentrações de  $\text{SO}_4^{2-}$  não apresentaram variação significativa ( $p = 0.097$ ) ao longo dos períodos de coleta, apresentando comportamento similar ao observado para o  $\text{Cl}^-$ , com a mesma tendência de elevação de suas concentrações ao longo dos períodos de coleta (figura 29).

Figura 29: variação do  $\text{SO}_4^{2-}$  ao longo dos períodos de coleta, com média, mínimo e máximo.



Especialmente as concentrações de  $\text{SO}_4^{2-}$  também apresentaram tendência de diminuição de montante à jusante do rio (figura 29). Em setembro foi medido o valor mais elevado de concentração ( $8,164 \text{ mg.L}^{-1}$ ) no ponto S2, enquanto que o valor mínimo ( $0,235 \text{ mg.L}^{-1}$ ) foi medido em maio no ponto S3.

Figura 30: variação do  $\text{SO}_4^{2-}$  ao longo dos pontos amostrais no rio Solimões-Amazonas em cada período de coleta: a) maio; b) julho; c) setembro.



Os níveis médios de  $\text{SO}_4^{2-}$  estão abaixo dos valores encontrados por Queiroz *et al.* (2009), porém, assim como ocorreu como o íon cloreto, apresentaram boa concordância com os valores encontrados por Devol *et al.* (1995). As concentrações medidas para esta espécie estão próximas das observadas para o Cl<sup>-</sup>.

### 5.1.13 Correlação entre as Variáveis

As correlações entre todos os parâmetros foram verificadas por meio do coeficiente de correlação de Pearson, sendo consideradas significativas as correlações que apresentaram coeficiente  $r^2 > |0,5|$  (Tabela 4). Os coeficientes de correlação significativos estão destacados em negrito.

Tabela 4: Correlação entre as variáveis, coeficiente de Pearson ( $r^2$ ).

	pH	CE	STS	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	TOC	Alcal.
pH	1,000										
CE	0,502	1,000									
STS	0,273	0,470	1,000								
Na <sup>+</sup>	0,485	0,808	0,537	1,000							
K <sup>+</sup>	-0,066	0,115	0,047	0,006	1,000						
Mg <sup>2+</sup>	-0,092	0,470	0,317	0,474	0,382	1,000					
Ca <sup>2+</sup>	0,159	0,717	0,415	0,652	0,358	0,786	1,000				
Cl <sup>-</sup>	0,390	0,759	0,438	0,945	0,076	0,605	0,756	1,000			
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,394	0,776	0,554	0,928	0,048	0,655	0,789	0,972	1,000		
TOC	-0,718	-0,680	-0,357	-0,694	0,087	-0,174	-0,261	-0,626	-0,614	1,000	
Alcal.	0,379	0,848	0,646	0,777	0,074	0,659	0,824	0,764	0,836	-0,550	1,000

O COT apresentou correlação negativa com quase todas as variáveis, apresentando correlação significativa respectivamente com pH, Na<sup>+</sup>, CE, Cl<sup>-</sup> e SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. O pH foi a variável mais influenciada pelo COT, que representa neste estudo a carga de matéria orgânica, que apresenta caráter ácido, presente nessas águas. Com a CE o TOC também apresentou boa correlação, um aumento no carbono orgânico está diretamente relacionado a um aumento na matéria orgânica no ambiente hídrico, a tendência é que essa matéria orgânica complexa espécies catiônicas levando a diminuição da condutividade elétrica. Os maiores níveis de correlação foram verificados entre as espécies iônicas SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> e Cl<sup>-</sup>, ambas também apresentaram ótimas correlações com o Na<sup>+</sup>, evidenciado que o mesmo possivelmente esteja associado principalmente a essas duas espécies. A boa correlação observada entre a alcalinidade e CE aponta para a influência dos carbonatos e bicarbonatos na condutividade elétrica nessas águas. As correlações observadas entre a alcalinidade e as espécies Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> e Mg<sup>2+</sup> ocorrem provavelmente em virtude da presença de carbonatos e bicarbonatos associados aos cátions desses elementos. A CE apresentou boas correlações com Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> e SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, sendo que, essas espécies foram as que apresentaram as maiores concentrações, deste modo, são as que apresentam maior contribuição para a condutividade elétrica dentre as espécies avaliadas neste estudo. Alcalinidade, Na<sup>+</sup> e SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> apresentaram correlação significativa com o STS, essas duas espécies também apresentaram ótima correlação entre si, esses resultados evidenciam que o Na<sup>+</sup> originado do material em suspensão no rio Solimões possivelmente esteja em boa parte na forma de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

#### 5.1.14 Análise dos Agrupamentos Hierárquico (HCA)

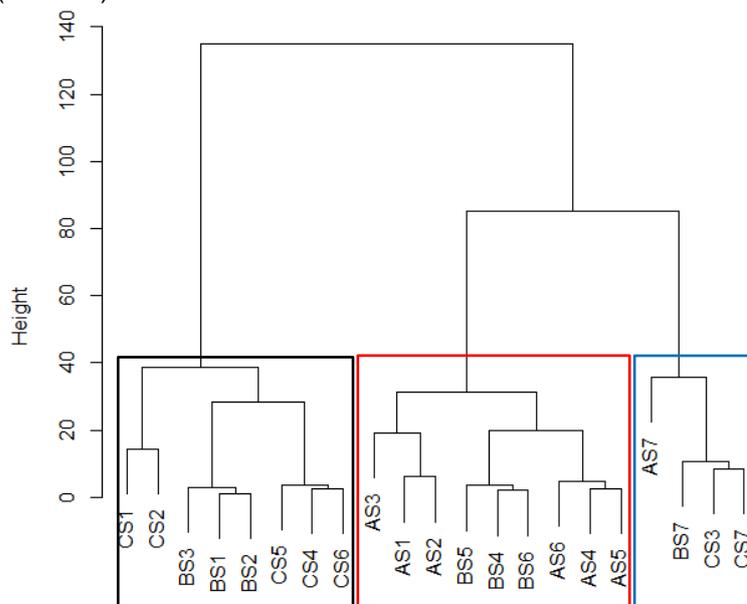
A HCA (*Hierarchical Clustering Analysis*) foi empregada com o objetivo de verificar a similaridade (ou dissimilaridade) entre os pontos amostrais e os diferentes períodos de coleta. Devido ao conjunto de dados ser composto por variáveis com unidades distintas, o mesmo passou por uma padronização, onde foi empregada a seguinte equação:

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_j}{S_j}$$

Onde,  $Z_{ij}$  é o valor padronizado,  $X_{ij}$  é o valor do  $i$ -ésimo objeto na  $j$ -ésima variável,  $\bar{X}_j$  é a média da  $j$ -ésima variável e  $S_j$  o desvio padrão da mesma. As variáveis padronizadas tiveram média igual a 0 e desvio padrão igual 1, segundo Vince (2005) e Moita-neto e Moita (1998) essa é a forma de padronização mais empregada.

Depois da padronização dos dados, a HCA foi aplicada empregando-se o método de Ward com distância euclidiana quadrática, tendo em vista que ambos apresentaram os melhores resultados na formação dos agrupamentos. O dendograma obtido a partir da análise por HCA é mostrado na figura 31.

Figura 31: Classificação dos pontos amostrais em cada período de coleta, onde: A = maio; B = julho; C = setembro; S1, S2, S3, S4, S5, S6 e S7 são pontos ao longo do Solimões-Amazonas (tabela 2).



Com um corte na altura de 40 pode ser observada a formação de três agrupamentos. Partindo da direita para a esquerda, o primeiro é formado pelas

coletas realizadas no ponto amostral S7 nos três períodos de amostragem, além da coleta de setembro no ponto S3. Nos gráficos discutidos anteriormente notou-se que no ponto S3 no mês de setembro foram obtidos valores abaixo dos observados nos pontos S1 e S2, que juntamente com o ponto S3 estão localizados mais a montante do rio em relação aos demais. A probabilidade é que no mês de maio esta área tenha sofrido influência do rio Japurá, que não apresenta a mesma riqueza iônica do Solimões, a tendência é que a influência desse rio seja maior nos períodos de seca, modificando as características das águas naquela região, assim como ocorre próximo à confluência do rio Negro com o Solimões no ponto S7, o que provavelmente tenha contribuído para essa similaridade.

O segundo agrupamento pode ser dividido em três conglomerados, sendo o primeiro e o segundo formados respectivamente pelas coletas de maio e julho nos pontos S4, S5 e S6 que estão localizados à jusante em relação aos três primeiros pontos, o terceiro agrupamento é formado pelas coletas de maio nos pontos da montante do rio S1, S2 e S3. Portanto, neste agrupamento claramente foi observada uma classificação espacial agrupando em pontos localizados a montante e a jusante em grupos distintos, além de uma classificação temporal pela distinção dos três diferentes períodos em que as amostras foram coletadas.

O terceiro agrupamento também pode ser dividido em três pequenos grupos distintos, sendo o primeiro formado pelas coletas de setembro nos pontos S4, S5 e S6, o segundo pelas coletas de julho nos pontos S1, S2 e S3 e o terceiro pelas coletas de setembro nos pontos S1 e S2. Nota-se que nos três períodos amostrais houve uma classificação dos locais de coleta de acordo com sua localização, destaca-se ainda que as coletas foram classificadas de acordo com o período em que foi executada distinguindo-se os períodos em que as amostras foram coletadas: maio, julho e setembro.

Portanto, a partir do conjunto de variáveis selecionadas para este estudo a HCA fez uma classificação temporal, distinguindo os diferentes períodos de coletas, além de uma distinção espacial, entre pontos localizados à montante e à jusante do rio Solimões. Quanto ao ponto amostral localizado no início do rio Amazonas, o mesmo se mostrou diferente dos demais formando um único agrupamento. Esse comportamento evidencia as profundas transformações em seus parâmetros físicos e químicos sofridas por essas águas ao longo do tempo e do curso do rio Solimões, principalmente quando o mesmo alcança a confluência com o rio Negro, onde as mudanças se tornam acentuadas.

### 5.1.15 Análise dos Componentes Principais (PCA)

A PCA (*Principal Components Analysis*) foi empregada com o objetivo de identificar dentre todas as variáveis àquelas que apresentam mais significância no conjunto de dados, ou seja, que carregam mais informações a cerca do mesmo, além de identificar padrões de similaridade entre os locais amostrais e os períodos de coletas.

Para a análise por PCA foi empregada a matriz de correlação, por se tratar de um conjunto de dados que possuem variáveis com unidades distintas, segundo Vicini (2005) pode-se afirmar que a matriz de correlação das variáveis originais é igual à matriz de covariância das variáveis padronizadas, deste modo, utilizando os dados padronizados garante-se que todas as variáveis tenham o mesmo grau de importância.

Como critério para determinar o número de componentes a serem analisadas empregou-se o método proposto por Kaiser (1960) que consiste em selecionar aquelas componentes cujos valores próprios sejam superiores a 1 (um), ou que possuam juntas uma variância igual ou superior a 70%. Na Tabela 6 podem ser observados os autovalores e a variância acumulada para cada componente.

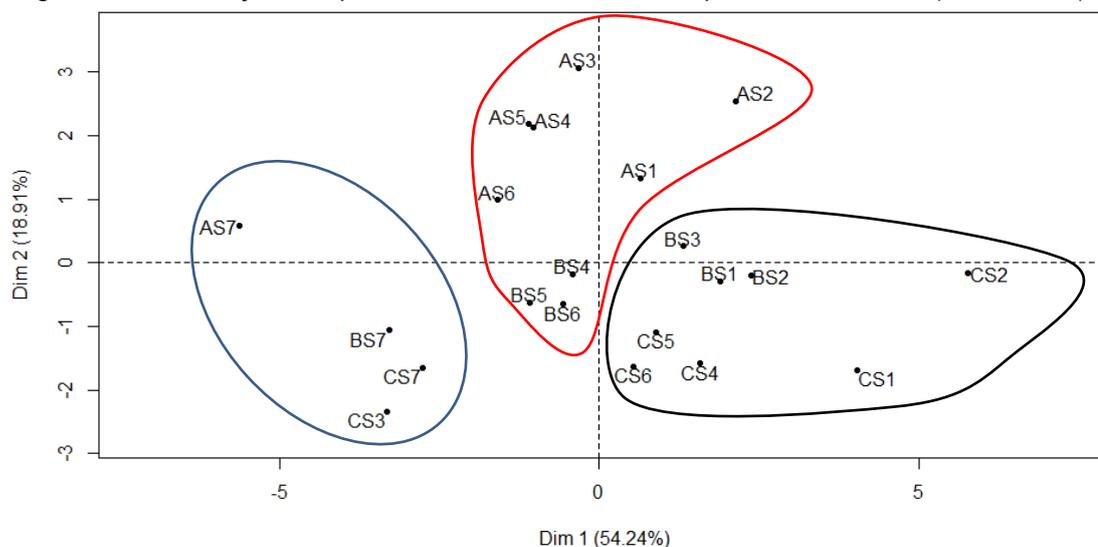
Tabela 5: Autovalores e variância explicada por todas as componentes principais (CP).

	<b>Autovalores</b>	<b>Proporção da</b>	<b>Variância</b>
	<b>(<math>\lambda</math>)</b>	<b>Variância (%)</b>	<b>Acumulada (%)</b>
<b>CP1</b>	6,508	54,236	54,236
<b>CP2</b>	2,269	18,906	73,143
<b>CP3</b>	1,001	8,338	81,481
<b>CP4</b>	0,837	6,977	88,459
<b>CP5</b>	0,504	4,197	92,656
<b>CP6</b>	0,353	2,948	95,603
<b>CP7</b>	0,261	2,175	97,779
<b>CP8</b>	0,120	1,002	98,781
<b>CP9</b>	0,090	0,747	99,529
<b>CP10</b>	0,035	0,288	99,818
<b>CP11</b>	0,017	0,143	99,961
<b>CP12</b>	0,005	0,038	100,000

Juntas as três primeiras componentes principais são responsáveis por aproximadamente 81,481% da variabilidade total do conjunto de dados, portanto foram as componentes selecionadas para a análise.

A figura 32 traz a distribuição dos pontos amostrais em cada período de coleta com a primeira componente versus a segunda (CP1 x CP2), como pode ser observado, os resultados obtidos na PCA apresentaram boa concordância com os da análise de HCA.

Figura 32: Distribuição dos pontos amostrais em todos os períodos de coleta (PC1 X PC2).



Esses agrupamentos correspondem exatamente aos obtidos na análise por HCA já discutidos anteriormente, corroborando assim para a confirmação da classificação dos três períodos de coletas e a distribuição espacial dos pontos amostrais, que evidenciam consideráveis variações nas características físico-químicas sofridas pelo rio Solimões-Amazonas ao longo do seu curso e no decorrer do tempo.

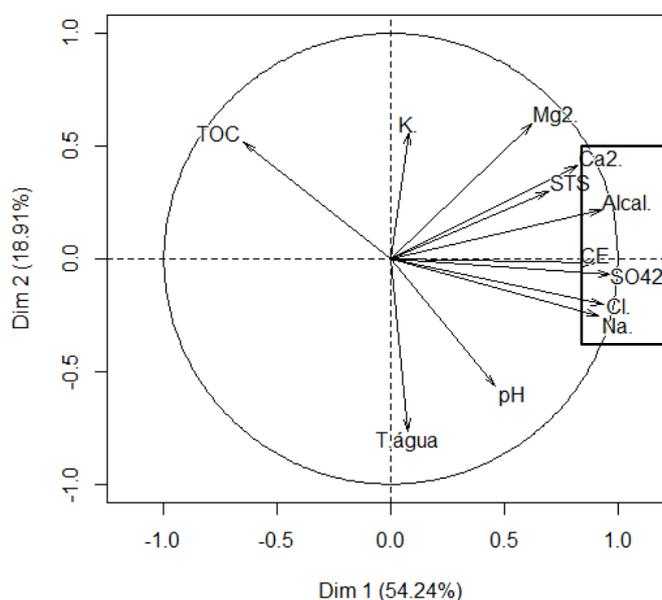
Quanto às variáveis, na tabela 6 estão inseridos os pesos de cada uma delas em todas as componentes principais. Para a primeira componente principal o  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ , alcalinidade, CE e  $\text{Ca}^{2+}$  respectivamente são as variáveis de maior importância. A segunda componente é representada pela Temperatura da água. A terceira componente tem o pH como variável de maior peso.

Tabela 6: Autovalores, peso das componentes para cada uma das variáveis.

Variáveis	e1	e2	e3	e4	e5	e6	e7	e8	e9	e10	e11	e12
Alcal.	-0,364	0,144	0,076	-0,031	0,289	0,175	-0,042	0,071	0,335	0,769	-0,046	0,115
Ca	-0,321	0,274	0,049	0,208	0,108	0,479	0,134	0,128	0,407	-0,505	0,274	-0,070
CE	-0,353	-0,013	-0,165	0,075	0,266	-0,020	0,525	0,387	-0,585	0,004	-0,058	0,005
Cl-	-0,366	-0,134	0,174	0,135	-0,192	-0,066	0,118	-0,277	0,083	-0,198	-0,496	0,613
K	-0,031	0,374	-0,602	0,519	-0,399	-0,150	0,018	-0,041	0,069	0,161	-0,094	-0,076
Mg	-0,244	0,398	0,158	0,177	0,335	-0,286	-0,640	-0,016	-0,306	-0,166	-0,001	0,036
Na	-0,359	-0,168	0,113	0,053	-0,307	-0,173	0,047	-0,294	-0,163	0,135	0,746	0,116
pH	-0,181	-0,376	-0,556	-0,132	0,079	0,500	-0,406	-0,174	-0,200	-0,041	-0,020	0,073
SO42-	-0,379	-0,048	0,164	-0,066	-0,100	0,005	0,073	-0,401	-0,046	0,001	-0,311	-0,740
STS	-0,272	0,199	0,027	-0,517	-0,571	0,020	-0,208	0,491	-0,028	-0,028	-0,079	0,004
Água	-0,029	-0,507	0,287	0,566	-0,180	0,084	-0,255	0,447	0,009	0,085	-0,064	-0,155
TOC	0,256	0,345	0,339	0,141	-0,238	0,586	0,031	-0,178	-0,452	0,183	-0,041	0,090

O gráfico da figura 33 ilustra o círculo unitário com a dispersão das variáveis entre as duas primeiras componentes principais (PC1 x PC2).

Figura 33: Distribuição da nuvem das variáveis (PC1 x PC2).



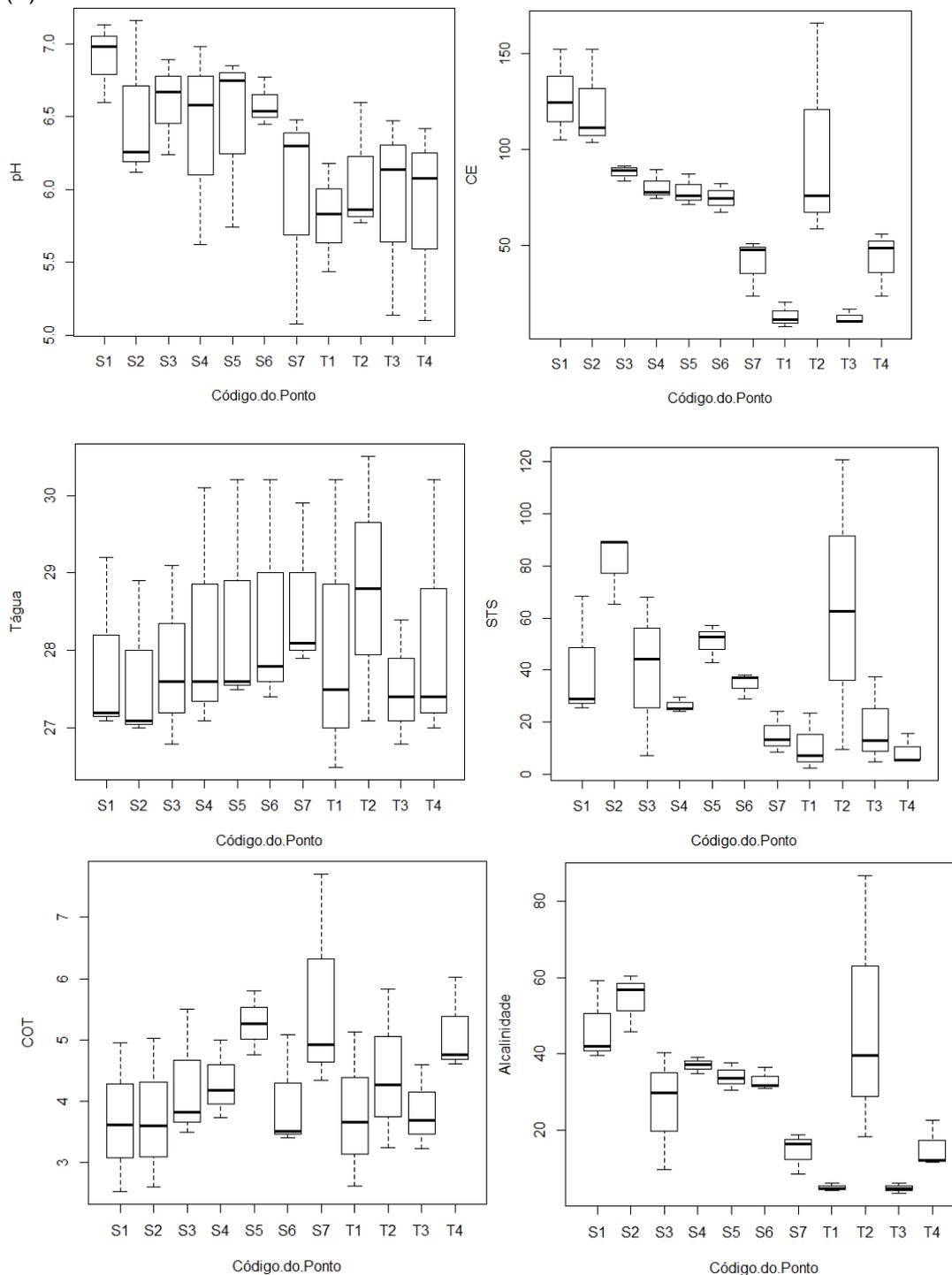
No primeiro quadrante encontram-se as variáveis mais próximas ao círculo, são as de maior importância na PC1 ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ , alcalinidade, CE e  $\text{Ca}^{2+}$ ) e consequente no conjunto de dados, tendo em vista que essa é a componente que carrega a maior parte da informação (54,236%), estas representam a carga iônica presente nessas águas e estão relacionadas diretamente a condutividade elétrica, o  $\text{Na}^+$  e o  $\text{Ca}^{2+}$  estão dentre as espécies que podem estar ligadas a carbonatos e bicarbonatos presentes nas rochas e nos material em suspensão, espécies que contribuem para a alcalinidade das águas do Solimões. A proximidade entre variáveis indica que as mesmas apresentam aproximadamente a mesma importância no conjunto de dados e alta correlação positiva entre si, o que pode ser observado para o  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Na}^+$ , as três primeiras de maior peso na PC1, mais

uma vez nota-se que essas variáveis são de grande importância para o conjunto de dados e representam carga iônica presente nessas águas. Por outro lado, variáveis em lados opostos denotam correlações negativas entre as mesmas, tal qual o COT com boa parte das variáveis.

## 5.2 Solimões e Tributários

De modo geral, os valores encontrados para a maioria dos parâmetros nas amostragens realizadas nos tributários foram em média inferiores aos observados no rio Solimões, a figura 34 ilustra o comportamento médio para as variáveis pH, CE, temperatura da água, STS, COT e alcalinidade em cada ponto amostral no Solimões e tributários, no eixo das ordenadas estão as variáveis e nas abcissas cada ponto de coleta, cada boxplot representa a média o mínimo e o máximo levando-se em consideração os três períodos de amostragem.

Figura 34: Comportamento médio das variáveis pH, CE ( $\mu\text{S}\cdot\text{L}^{-1}$ ), Temperatura da água ( $^{\circ}\text{C}$ ), STS ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), COT ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), e Alcalinidade ( $\text{mg de CO}_3^{2-}\cdot\text{L}^{-1}$ ) nos tributários (T) e Solimões (S).



Os valores médios de pH, CE, STS e alcalinidade encontrados no rio Solimões são em média superiores aos medidos nos tributários. Esses resultados

evidenciam que os tributários apresentam uma menor concentração de espécies iônicas dissolvidas, suas águas são levemente menos alcalinas e conseqüentemente mais ácidas que as do rio Solimões.

Levando em consideração a grande dinâmica de variação dos fatores ambientais na bacia amazônica os dados obtidos neste estudo para pH, CE e alcalinidade estão em boa concordância com os citados por Seyler e Boaventura (2003) que também mediram esses parâmetros na foz desses e de outros tributários e na calha principal do rio Solimões.

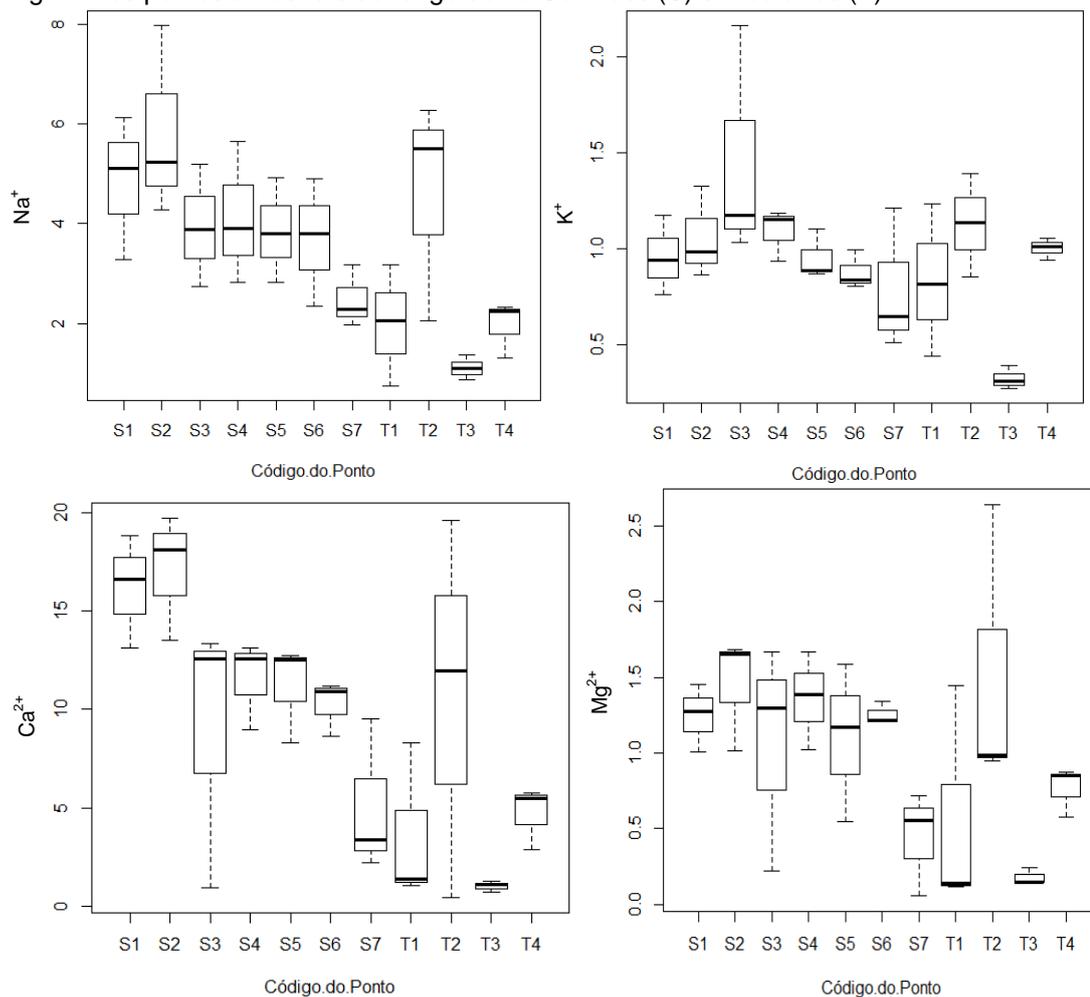
O teor de sólidos totais em suspensão (STS) foi mais elevado no rio Juruá (T2) ( $55,556 \text{ mg.L}^{-1}$ ), os demais tributários apresentaram concentrações de STS inferiores às encontradas no rio Solimões.

Exceto para o pH, que o rio Jutáí apresentou o menor valor por ser um rio de águas escuras, dentre os tributários, os rios Jutáí (T1) e Japurá (T3) apresentaram os menores valores para esses parâmetros, com médias muito aproximadas entre si, esse comportamento evidencia possíveis similaridades entre esses corpos hídricos, apesar de o primeiro ser classificado como um rio de águas pretas, enquanto que o segundo é classificado como rio de águas brancas.

Em relação ao carbono orgânico total (COT) e temperatura da água, o comportamento foi similar para Solimões e tributários. Dentre os tributários o rio Purus (T4) se destacou apresentando o valor médio mais elevado para o TOC ( $5,131 \text{ mg.L}^{-1}$ ), no Solimões os pontos S6 (localizado à montante de Manacapuru) e S8 (situado no início do rio Amazonas) apresentaram os maiores níveis de TOC. Quanto à temperatura da água, os valores oscilam em torno da média de  $27 \text{ }^\circ\text{C}$  esse parâmetro depende do período do dia em que a amostra foi coletada, tendo em vista que é afetada principalmente pelo nível de insolação.

Com relação aos íons sódio ( $\text{Na}^+$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ), cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e Magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), esses apresentaram tendência similar à observada para as variáveis físicas e químicas citadas acima. A figura 35 ilustra a variação dos níveis médios de concentração de cada uma dessas espécies nos pontos amostrais ao longo do rio Solimões (S) e tributários (T).

Figura 35: Comportamento médio das espécies  $\text{Na}^+$  (Na),  $\text{K}^+$  (K),  $\text{Ca}^{2+}$  (Ca) e  $\text{Mg}^{2+}$  (Mg) em  $\text{mg.L}^{-1}$  nos pontos amostrais ao longo do rio Solimões (S) e tributários (T).



No rio Solimões e em todos os tributários o Ca foi a espécie mais abundante, esse comportamento pode ser verificado nos trabalhos de Gaillardet *et al.* (1997) nos rios Solimões e Madeira, Queiroz *et al.* (2009) nos rios Solimões e Purus, Aucour *et al.* (2003) no rio Solimões e Seyler e Boaventura (2003) no Solimões e tributários investigados neste estudo. O  $\text{Ca}^{2+}$  vem seguido do  $\text{Na}^+$  e  $\text{Mg}^+$ , sendo que, o  $\text{K}^+$  foi a espécie que apresentou o menor teor nessas águas.

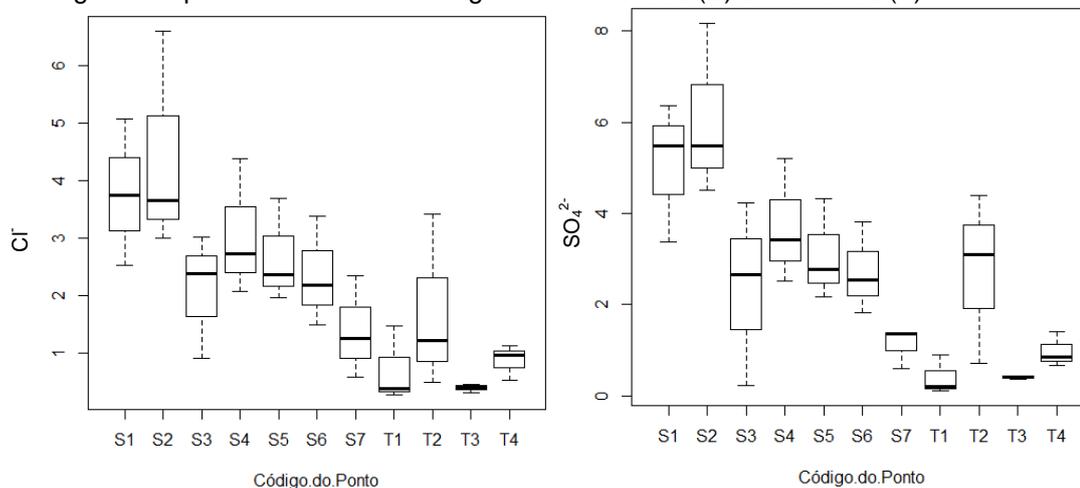
As concentrações médias dessas quatro espécies foram maiores no rio Solimões, as exceções foram os rios Juruá (T2) e Madeira (T5) onde os níveis de potássio encontrados ( $1,126 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $1,144 \text{ mg.L}^{-1}$ , respectivamente) foram em média superiores aos medidos no Solimões. No rio Juruá os valores de sódio foram os mais elevados ( $4,605 \text{ mg.L}^{-1}$ ) e no rio Madeira foi encontrada a maior concentração média de magnésio ( $2,015 \text{ mg.L}^{-1}$ ). Os demais tributários apresentaram concentrações dessas espécies inferiores às encontradas nos pontos amostrais no rio Solimões, com destaque para o rio Japurá (T3) que apresentou os

menores níveis de concentração para todas as espécies, isso se reflete nas baixas condutividades medidas durante as amostragens neste tributário.

Esses resultados mostram que o Solimões é o principal carreador desses elementos majoritários, essenciais a todos os seres vivos, sendo os Andes a principal origem dessas espécies que são carregadas dissolvidas ou agregadas ao material particulado em suspensão nessas águas, além da contribuição oriunda dos depósitos desses sedimentos na várzea.

Quanto às espécies aniônicas  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  o comportamento não foi diferente, como pode ser visualizado na Figura 36, abaixo.

Figura 36: Comportamento médio dos ânions Cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), Sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) e Nitrato ( $\text{NO}_3^{2-}$ ) em  $\text{mg.L}^{-1}$  nos pontos amostrais ao longo do rio Solimões (S) e tributários (T).



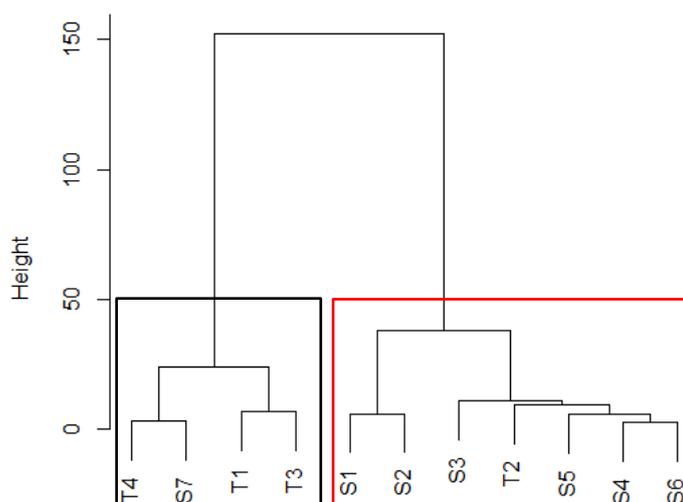
Mais uma vez as concentrações foram maiores no rio Solimões, ou seja, os tributários se mostraram mais pobres em ambas às espécies, isso significa que quando suas águas mais diluídas alcançam as águas do rio Solimões os mesmos provavelmente contribuem para uma possível diluição das águas do mesmo, o que possivelmente seja um dos fatores que influenciam na diminuição de concentração dessas e de outras variáveis ao longo do curso do rio Solimões. Os tributários que se apresentaram mais pobres em  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  foram Jutáí (T1) e Japurá (T3). No rio Purus (T4) em média as concentrações de  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  permaneceram muito próximas, no rio Juruá (T2) os níveis dessas espécies foram os mais elevados dentre os tributários, para o  $\text{SO}_4^{2-}$  essas concentrações permaneceram dentro da faixa encontrada nos pontos do rio Solimões que estão na parte mais baixa do rio.

### 5.2.1 Análise dos Agrupamentos Hierárquico (HCA)

A HCA foi empregada novamente com o objetivo de verificar padrões de similaridade entre os pontos amostrais e os diferentes períodos de coleta. Devido ao conjunto de dados ser composto por variáveis com unidades distintas, o mesmo também passou por uma padronização, conforme descrito no item 5.1.2.

Depois da padronização dos dados, a HCA foi aplicada empregando-se o método de Ward com distância euclidiana quadrática, novamente ambos apresentaram bons resultados na formação dos agrupamentos. O dendograma obtido a partir da análise por HCA é mostrado na figura 37, abaixo.

Figura 37: Distribuição hierárquica dos locais amostrais empregando o método Ward com distância euclidiana quadrática, onde em S são os pontos ao longo do rio Solimões e T são os tributários de acordo com a Tabela 2.



Com um corte na altura de 50 é possível observar a formação de dois agrupamentos, Solimões e tributários, partindo da direita para a esquerda, o primeiro agrupamento é formado pelos pontos amostrais localizados na calha principal do rio Solimões subdividido em dois conglomerados, no primeiro subgrupo encontram-se os pontos S4, S5 e S6 mais o T2 (rio Juruá). Sabe-se que o rio Juruá assim como o Solimões apresenta suas principais nascentes nos Andes, o que confere a esse rio características químicas similares. Novamente foi observada uma classificação espacial dos pontos do rio Solimões, notadamente evidenciando as transformações em suas características químicas sofridas por esse rio, sendo um dos prováveis fatores a contribuição oriunda da descarga dos tributários.

O segundo agrupamento é formado pelos pontos localizados na foz dos rios Japurá (T3), Jutaí (T1), Purus (T4) e o ponto S7 localizado no início do rio Amazonas. A similaridade entre T1 e T3 era esperada tendo em vista que ambos apresentaram valores muito próximos para a maioria das variáveis. Quanto ao ponto S7, sua similaridade com os pontos do tributário vem devida a forte influência do rio Negro sobre este ponto, onde surge um novo rio com características muito distintas das observadas para o rio Solimões.

### 5.2.2 Análise dos Componentes Principais (PCA)

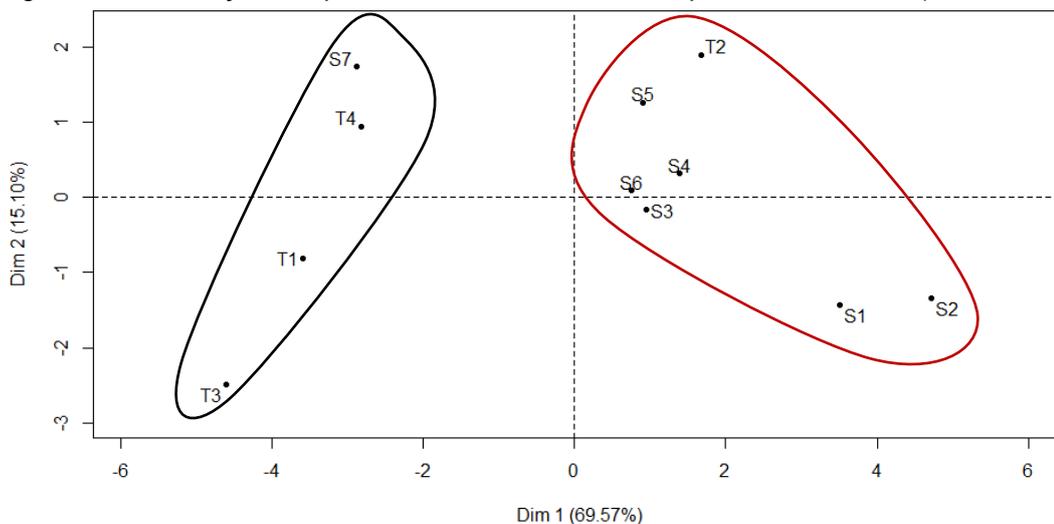
Novamente a PCA foi empregada com o objetivo de identificar dentre as variáveis àquelas que apresentam maior significância no conjunto de dados e possíveis padrões de similaridade entre os locais amostrais.

Por se tratar de um conjunto de dados que possuem variáveis com unidades distintas, empregou-se a matriz de correlação. Como critério para determinar o número de componentes a serem analisadas empregou-se o método proposto por Kaiser (1960). Na Tabela 9 podem ser observados os autovalores e a variância acumulada para cada componente.

Juntas as três primeiras componentes principais são responsáveis por aproximadamente 84,67% da variabilidade total do conjunto de dados, portanto, foram as componentes selecionadas para a análise.

A Figura 38 traz a distribuição dos pontos amostrais com a primeira componente versus a segunda (CP1 x CP2). Como podem ser observados, os resultados obtidos na PCA são similares aos da análise de HCA, os mesmos agrupamentos podem ser verificados. Sendo, o primeiro agrupamento formado pelos pontos amostrais localizados na calha principal do rio Solimões S1, S2, S3, S4, S5 e S6 mais o T2 (rio Juruá). O segundo agrupamento formado pelos pontos T1 (rio Jutaí), T3 (rio Japurá), T4 (rio Purus) e o ponto S7, localizado no início do Amazonas.

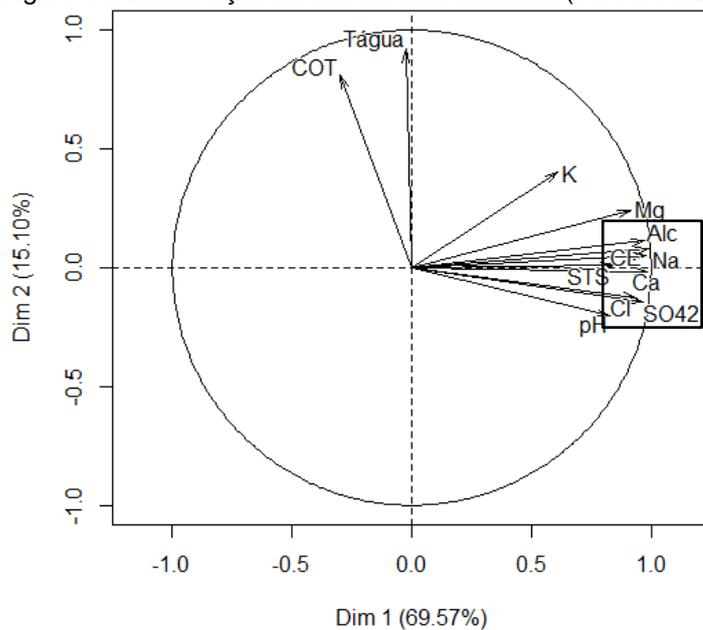
Figura 38: Distribuição dos pontos amostrais em todos os períodos de coleta (PC1 X PC2).



Quanto às variáveis, para a primeira componente principal o Na, CE, Ca e alcalinidade, respectivamente, são as variáveis de maior importância. A segunda componente tem como variável de maior peso a Temperatura da água e na terceira componente a variável de maior importância é o COT.

O gráfico da figura 39 ilustra o círculo unitário com a dispersão das variáveis entre as duas primeiras componentes principais (PC1 x PC2).

Figura 39: Distribuição da nuvem das variáveis (PC1 x PC2).



Observa-se a formação de três grupos ordenados no primeiro, terceiro e quarto quadrante. No primeiro quadrante, as variáveis  $\text{Na}^+$ , CE,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e alcalinidade estão bem próximas ao círculo, indicando que são mais representativas em relação às outras, as mesmas encontram-se bem próximas uma das outras, isso indica que apresentam praticamente o mesmo nível de importância no conjunto de dados. Como discutido anteriormente,  $\text{Na}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$  são espécies que naturalmente podem estar ligadas a carbonatos,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  presentes nas rochas e no material em suspensão carregado no rio. No terceiro quadrante encontram-se a temperatura da água, que é a única variável que não apresenta qualquer dependência das demais, mas tem bastante influência sob as mesmas, apresentando-se como variável de maior importância na segunda componente principal, e o COT que representa a carga de matéria orgânica que também apresenta forte influência sob as demais variáveis. No quarto quadrante estão  $\text{K}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$  que não tiveram grande representatividade e apresentaram concentração com valores aproximados um do outro.

## 6 CONCLUSÃO

Dentre os parâmetros analisados na calha principal do rio Solimões pH, temperatura da água, COT,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  apresentaram variação significativa entre os diferentes períodos de amostragem. As concentrações médias dos cátions seguiram a seguinte ordem  $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$  e dos ânions  $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ . Com exceção do COT e  $\text{K}^+$  foi observada uma tendência de diminuição de concentração ao longo do curso do rio, em parte provocada pelo aporte dos tributários, tendo em vista que os resultados evidenciaram que os mesmos apresentam menor concentração de espécies iônicas dissolvidas e menor valores para as demais variáveis. As técnicas de análise estatística multivariada PCA e HCA apresentaram bom nível de concordância, classificando os pontos amostrais do rio Solimões de acordo com os períodos de coleta e localização, distinguindo os diferentes períodos em que as amostras foram coletadas e os pontos localizados à montante e à jusante do rio, sendo essa uma forte evidência das transformações sofridas por esse rio ao longo do seu curso e no decorrer do tempo. As variáveis apontadas pela PCA como mais significativa no conjunto de foram  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ , Na, alcalinidade, CE e Ca.

## 7 REFERÊNCIAS

AFFONSO, A. G.; QUEIROZ, H. L.; NOVO, E. M. L. M. Limnological characterization of floodplain lakes in Mamirauá Sustainable Development Reserve, Central Amazon (Amazonas State, Brazil). **Acta Limnologica Brasiliensia**, Rio Claro, v. 23, n. 1, p. 95-108, 2011.

ALVES, I. C. C. et al. Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do Rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil). **Acta Amazônica**, Manaus, v. 42, n.1, p.115-124, 2012.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORK ASSOCIATION; WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION. **Standard Methods of the Experimentation of Water and Wastewater**. New York, 1995.

ATXMANN E. V.; LUOMA S. N. Large-scale distribution of metal contamination in the fine-grained sediments of the Clark Fork River, Montana. **Applied Geochemistry**, New York, v.6, p.75-88, 1991.

AUCOUR, A. M. et al. The Amazon River: behaviour of metals (Fe, Al, Mn) and dissolved organic matter in the initial mixing at the Rio Negro/Solimões confluence. **Chemical Geology**, Amsterdam, v.197, p.271-285, 2003.

BARROS, A.I. et al. Determination of sodium and potassium in biodiesel by flame atomic emission spectrometry, with dissolution in ethanol as a single sample preparation step. **Fuel**, London, v.93, p.381-384, 2012.

BERNARDI, J.V.E. et al. Aplicação da análise das Componentes Principais na Ordenação dos Parâmetros Físico-Químicos no Alto Rio Madeira e Afluentes, Amazônia Ocidental. **Geochimica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v.23, n.1, p.01-158, 2009.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil. Brasília, 2009. 203p.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. Gerenciamento integrado e sustentável dos recursos hídricos transfronteiriços na bacia do rio Amazonas: visão estratégica para o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos e do solo, frente às mudanças climáticas e para o desenvolvimento sustentável da bacia hidrográfica do rio Amazonas. Brasília, 2006. 117p.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. Cadernos de Recursos Hídricos: Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil. Brasília, 2005. 123p.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Série de estudos e informações hidrológicas e energéticas: Águas. Brasília, 1997.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Gerenciamento Integrado e Sustentável dos Recursos Hídricos Transfronteiriços na Bacia do Rio Amazonas**: Visão estratégica para o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos e do solo, frente às mudanças climáticas e para o desenvolvimento sustentável da bacia hidrográfica do rio Amazonas. Manaus, 2006.

BRASIL. Resolução Nº 32, de 15 de outubro de 2003. Disponível em <[www.cnrh.gov.br/index.php?option=com\\_docman&task=doc](http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com_docman&task=doc)>. Acessado em 30 mar. 2014.

BERNER, E. K.; BERNER, R. A. **Global Environment**: water, air and geochemical cycles. 2ed. Oxfordshire: Pricenton University, 1996.

BOUCHEZ, J. et al. Turbulent mixing in the Amazon River: The isotopic memory of confluences. **Earth and Planetary Science Letters**, Amsterdam, v. 290, p.37-43, 2010.

BROWN Jr., G.E.; CALAS, G. Environmental mineralogy – Understanding element behavior in ecosystems *Minéralogie environnementale: comprendre le comportement des éléments dans les écosystèmes*. **Comptes Rendus. Geoscience**, Paris, v.343, p.90-112, 2011.

BROWN, R.J.C.; MILTON, M.J.T. Analytical techniques for trace element analysis: an overview. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 24, n.3, p.266-274, Amsterdam, 2005.

COSTA, J. B. S. et. al. Neotectônica da região amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. **Geonomos**, Belo Horizonte, v.4, n.2, p.23-44, 2005.

CORNELIS, R.; NORDBERG, M. General Chemistry, Sampling, Analytical Methods. In: NORBERG, G.; FOWLER, B. A.; NORDBERG, M; FRIBERG, L (org.). **Methods, and Speciation Handbook on the Toxicology of Metals**. 3.ed. London: Elsevier, 2007. p.11-38.

CUNHA, H. B.; PASCOALOTO, D. **Hidroquímica dos Rios da Amazônia**. Manaus: [s.n.], 2006.147p.

DEVOL, A. et al. Seasonal variation in chemical distributions in the Amazon (Solimões) River: A multiyear time series. **Global Biogeochemical Cycle**, Malden, v. 9, n. 3, p. 307-328, 1995.

DUNNE, T. et. al. Exchanges of sediment between the floodplain and channel of the Amazon River in Brazil. **Geological Society of America Bulletin**, Boulder, v.110, n. 4, p.450–467, 1998.

ESTEVEZ, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. São Paulo: Interciência/Finep, 1988.

FILIZOLA, N., GUYOT, J.L.. The use of Doppler technology for suspended sediment discharge determination in the River Amazon. **Hydrological Sciences Journal**, United Kingdom, v.49, n. 1, p.143–153, 2004.

FURCH, K. Water chemistry of the Amazon Basin: the distribution of chemical elements among freshwaters. In: SIOLI, H. The Amazon: **Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin**. Dordrecht: Junk Publishers, 1984. 763 p.

FRANZINELLI, E.; POTTER, P.E. Areias recentes dos rios da Bacia Amazônica: Composições Petrográfica, Textural e Química. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.15, p.213-220, 1989.

FRAXE, T. J. P.; PEREIRA ANTÔNIO, H. S.; WITKOSKI, C (org.). **Comunidades ribeirinhas amazônicas: modos de vida e uso dos recursos naturais**. Manaus: Edua, 2007.

GAILLARDET, J. et. al. Chemical and physical denudation in the Amazon River Basin. **Chemical Geology**, Amsterdam, v.142, p. 141-173, 1997.

GOULDING, M.; BARTHEM, R.; FERREIRA, E. **The Smithsonian atlas of the Amazon**. Hong Kong: Princeton Editorial Associate, 2003.

GIBBS, R.J. Amazon rivers: environmental factors that control its dissolved and suspended load. **Science**, Washington, v.156, p.1734–1737, 1967.

GINÉ, M.F. **Espectrometria de emissão atômica com plasma acoplado indutivamente (ICP-AES)**. CPG/CENA. v.3.Piracicaba: USP,1998.

GOLTERMAN, H.L.; CLYMO, R.S. **Methods for Chemical Analysis of Fresh Water**. Oxford. London: Blackwell Scientific Publications, 1971.

GUILHERME, L.R.G.; et. al. Elementos traço em solos e sistemas aquáticos. **Temas em Ciências do Solo**, Viçosa, v.4, p.345-390, 2005.

GUYOT, J.L. et al. Clay mineral composition of river sediments in the Amazon Basin. **Catena**, Amsterdam, v.71, p.340- 356, 2007.

HORBE, A. M. C. et al. Mineralogia e geoquímica dos perfis sobre sedimentos neógenos e quaternários da bacia do Solimões na região de Coari – AM. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 37, n.1, p.81- 90, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro, 1992.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Protocolo para determinação de carbono total em soluções aquosas. São José dos Campos, 2012.

JOHNSSON, L. Essential trace elements and food quality. In: Essential Traces Elements for Plants, Animals and Humans, Seminar 370<sup>th</sup>. 2005, Reykjavík. **Anais**. Agricultural University of Iceland, 2005. p. 7-14.

JOHNSTON, A. E. Trace elements in soil: status and management. In: Essential Traces Elements for Plants, Animals and Humans, Seminar 370<sup>th</sup>. 2005, Reykjavík. **Anais**. Agricultural University of Iceland, 2005. p. 7-14.

JUNK, W. J.; BAYLEY, P. B.; SPARKS, R. E. The flood pulse concept in river floodplain systems. **Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences**, Ottawa, v.106, p.110-127, 1989.

KAISER, H. F. The Application of Electronic Computers to Factor Analysis. **Educational and Psychological Measurement**, Thousand Oaks, v. 20, p. 141-151, 1960.

KARBASIA, M. H.; AHANPARAST, B.; SHAMSIPURB, M.; HASSANC, J. Simultaneous trace multielement determination by ICP-OES after solid phase extraction with modified octadecyl silica gel. **Journal of Hazardous Materials**, New York, v.170, p.151-155, 2009.

KAWASAKI, N. et al. Fast and precise method for HPLCsize exclusion chromatography with UV and TOC (NDIR) detection: Importance of multiple detectors to evaluate the characteristics of dissolved organic matter. **Water Research**, Amsterdam, v. 45, p. 6240-6248, 2011.

MCNAUGHT, A.D.; WILKINSON, A. **Compendium of Chemical Terminology: The Gold Book**, 2 ed. London: Blackwell Science, 1997.

MAIA, R.G.N. et al. **Projeto Carvão no alto Solimões: Relatório Final**. Manaus: CPRM-DNPM, p.137, 1977.

MANGIAROTTIA, S. et al. Discharge and suspended sediment flux estimated along the mainstream of the Amazon and the Madeira Rivers (from in situ and MODIS Satellite Data). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v.21, p.341–355, 2013.

MARDIA, K.V.; KENT, J.T.; BIBBY, J. M. **Multivariate analysis**. London: Academic, 1979.

MARGALEF, R. **Perspectives in ecological theory**. Chicago: The University of Chicago Press, 1967.

MARTINEZ, J.M. et al. Increase in suspended sediment discharge of the Amazon River assessed by monitoring network and satellite data. **Catena**, v.79, p.257–264, 2009.

MARTINI, P. R.; DUARTE, V.; ARAI, E. Metodologia de Medição das Extensões dos Rios Amazonas e Nilo Utilizando Imagens Modis e Geocover. In: XIII Simpósio Latino Americano de Sensoriamento Remoto, Havana-Cuba, 2007. **Anais**. Havana, 2007.

MEADE, R.H. et al. Sediment loads in the Amazon River. **Nature**, London, v.278, p.161–163, 1979.

MOITA-NETO, J.M.; MOITA, G.C. Uma Introdução à Análise Exploratória de Dados Multivariados. **Química Nova**, São Paulo, v. 21, n.4, p.467-469, 1998.

MOLINIER M.; et al. Hydrologie du bassin amazonien. In Environnement et développement en Amazonie brésilienne, Paris, 1997.

MOLINIER M. et al. **Hydrologie du bassin amazonien: Environnement et développement en Amazonie brésilienne**. Paris: Théry H., 1997.

MARENGO, J. A. Characteristics and spatio-temporal variability of the Amazon River basin water budget. **Climate Dynamics**, Berlin Heidelberg, v.24, p.11–22, 2005.

MORTATTI, J.; PROBST, J.L.; TARDY, Y. Avaliação do escoamento superficial na Bacia Amazônica através do transporte de material fluvial. **Geochimica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v.8, n.2, p.235-243, 1994.

NEILL, C. et al. Hydrological and Biogeochemical Processes in a Changing Amazon: Results from small watershed studies and the Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment. **Hydrological Processes**, Massachusetts, v.20, p.2467-2477, 2006.

PEREIRA, S. B.; LIMA, W. N.; EL-ROBRINI, N. Caracterização química e aspectos geoquímicos relevantes da matéria orgânica de sedimentos em suspensão na foz do rio Amazonas. **Bol. Mus. Ciências Naturais**, Belém, v. 1, n. 1, p. 167-179, 2006.

PEREIRA, S. F. P. et al. Distribuição de elementos tóxicos no estuário do Rio Amazonas. **Eclética Química**, São Paulo, v. 36, p.46-63, 2011.

PEREIRA, J. C., et al. Distribuição, fracionamento e mobilidade de elementos-traço em sedimentos superficiais. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, p.1249-1255, 2007.

PINTO, A. G. N., et al. Efeitos da ação antrópica sobre a hidrogeoquímica do rio Negro na orla de Manaus/AM. **Acta Amazônica**, Manaus, v.39, n., p.627-638, 2009.

QUEIROZ, M. M. A.; HORBE, A. M. C.; MOURA, C. A. V. Mineralogia e química dos sedimentos de fundo do médio e baixo Madeira e de seus principais tributários – Amazonas – Brasil. **Acta Amazônica**, Manaus, v.41, n.4, p.453-464, 2011.

QUEIROZ, M. M. A. et al. V. Hidroquímica do rio Solimões na região entre Manacapuru e Alvarães – Amazonas – Brasil. **Acta Amazônica**, Manaus, v.39, n.4, p.943-952, 2009.

SANTANA, G. P.; BARRONCAS, P S. R. Estudo de metais pesados (Co, Cu, Fe, Cr, Ni, Mn, Pb e Zn) na Bacia do Tarumã-Açu Manaus – (AM). **Acta Amazônica**, Manaus, v.37, n.1, p.111-118, 2007.

SANTOS PINHEIRO, G.M. et al. Iron isotope composition of the suspended matter along depth and lateral profiles in the Amazon River and its tributaries. **Journal of South American Earth Sciences**, Amsterdam, 2012.

SANTOS, U.; RIBEIRO, M.N.G. A hidroquímica do rio Solimões - Amazonas. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 18, n.3-4, p.145-172, 1988.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Geodiversidade do Estado do Amazonas**. Manaus, 2010. 275p.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Programa Integração, Atualização e Definição de Dados da Geologia**: Geologia e Recursos Minerais do Estado do Amazonas. Manaus, 2006. 153p.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Projeto APA Sul RMBH**: Estudo do Meio Físico. Belo Horizonte, 2005. v.7.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Projeto APA. Monitoramento Hidrológico. Disponível em <[www.cprm.gov.br/rehi/manaus/pdf/alerta4012pdf](http://www.cprm.gov.br/rehi/manaus/pdf/alerta4012pdf)>. Acessado em 14 fev. 2014.

SEYLER, P. T.; BOAVENTURA, G. R. Distribution and partition of trace metals in the Amazon Basin. **Hydrological Processes**, v.17, p.1345-1361, 2003.

SKOOG, D. A. et al. **Fundamentos de química analítica**. 1.ed. São Paulo: Cengage Learning, p.815-816, 2006.

SIEGEL, F. R. **Environmental geochemistry of potentially toxic metals**. Berlin: Springer, 2002.

SIOLI, H. Hydrochemistry and Geology in the Brazilian Amazon Region. **Amazoniana**, Mühlau, v. 3, p.267-277, 1968.

SIQUEIRA, G. W.; APRILE, F.; MIGUÉIS, A. M. Diagnóstico da qualidade da água do rio Parauapebas (Pará – Brasil). **Acta Amazônica**, Manaus, v.42, n.3, p.413-422, 2012.

SIQUEIRA, G. W.; PEREIRA, S. F. P.; APRILE, F. M. Determinação dos elementos-traço (Zn, Co e Ni) em sedimentos da Plataforma Continental Amazônica sob influência da descarga do rio Amazonas. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 36, p.321-326, 2006.

SALIMON, C.; SOUSA, E. S.; ALIN, S. R.; KRUSCHE, A. V.; BALLESTER, M. V. Seasonal variation in dissolved carbon concentrations and fluxes in the upper Purus River, southwestern Amazon. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v.114, p. 245-254, 2013.

SILVA, A. E. P.; ANGELIS, C. F.; MACACHADO, L. A. T.; WAICHAMA, A. V. Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 38, n.4, p.733-742, 2008.

SOKOLNIKOVA, J.V.; VASILYEVA, I.E.; MENSNIKOV, V.I. Determination of trace alkaline metals in quartz by flame atomic emission and atomic absorption spectrometry. **Spectrochimica Acta part B**, Kidlington, v.58, p.387-391, 2003.

Souza, E. L. et al. Síntese da hidrogeologia nas bacias sedimentares do Amazonas e do Solimões: Sistemas Aquíferos Içá-Solimões e Alter do Chão. **Geol. USP**, São Paulo, v.13, n.1, p.110-110, 2113.

STALLARD, R.F.; EDMOND, J.M. Geochemistry of the Amazon. The influence of geology and weathering environment on the dissolved load. **Journal of Geophysical Research**, Richmond, v.88, p.9671-9688, 1983.

TUNDISI, J. G.; MTSUMARA-TUNDISI, T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

TONG, S. et al. Determination of gold(III) and palladium(II) in mine samples by cloud point extraction preconcentration coupled with flame atomic absorption spectrometry. **Microchimica Acta**, Berlin, v.172, p.95-102, 2011.

VIEIRA, R. S. **Várzea Amazônica e a legislação ambiental brasileira**. Manaus: IBAMA, 1992.

VIERS, J. et al. The influence of the Amazonian floodplain ecosystems on the trace element dynamics of the Amazon River mainstem (Brazil). **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v.339, p.219-232, 2005.

VILLAR, J. C. E. et al. Contrasting regional discharge evolutions in the Amazon basin (1974–2004), **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.375, p. 297–311, 2009.

VITAL, H.; STATTEGGER, K. Major and trace elements of stream sediments from the lowermost Amazon River. **Chemical Geology**, Amsterdam, v.168, p.151-168, 2000.

WALKER, I. The biology of streams as part of Amazonian forest. **Ecology Experimentiae**, Viçosa, v.73, p.279-287, 1987.

XAVIER, L. et al. Interannual variability in water storage over 2003–2008 in the Amazon Basin from GRACE space gravimetry, in situ river level and precipitation data, **Remote Sensing of Environment**, New York, v.114, p.1629–1637, 2010.

ZHOU, S.-L. et al. Determination of four additives in aluminum electrolyte by ICP-OES with wet digestion. **Microchemical Journal**, New York, v.96, p.412-414, 2010.

**APÊNDICES**

## APÊNDICE A

Dados referentes às coletas de maio de 2012 (média e desvio padrão – DP).

Local	Código do Ponto	T. água		pH		CE		Alcalinidade		STS		TOC	
		°C				µS/cm		mgCaCO3/L		mg/Kg		mg/L	
		Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Rio Solimões Montante do Rio Juruá	S1	27,100	0,071	6,600	0,262	124,500	1,768	42,090	0,757	29,000	0,354	4,953	0,106
Rio Solimões Jusante do Rio Juruá	S2	26,500	0,141	6,220	0,212	91,800	2,121	25,010	0,629	3,200	0,651	5,521	0,184
Rio Juruá	T1	27,100	0,071	5,860	0,247	58,700	3,536	18,300	0,919	9,600	1,103	5,837	0,279
Rio Jutai	T2	26,500	0,141	5,440	0,148	8,040	1,414	4,880	1,172	2,500	0,424	5,125	0,153
Rio Solimões Montante do Rio Jutai	S3	27,000	0,141	6,260	0,078	111,500	4,243	60,390	1,661	65,330	0,849	5,028	0,992
Rio Japurá	T3	27,400	0,071	5,140	0,085	10,660	2,828	3,660	1,110	4,800	0,191	4,598	0,465
Rio Solimões Montante de Tefé	S4	26,800	0,071	6,240	0,049	83,800	4,243	29,890	1,881	44,330	0,568	5,509	0,297
Rio Solimões Jusante de Coari	S5	27,100	0,212	5,620	0,078	78,100	4,384	37,210	1,765	25,330	1,129	5,000	0,256
Rio Solimões Montante do Rio Purus	S6	27,500	0,071	5,740	0,057	71,400	2,828	33,750	1,836	57,000	0,721	5,794	0,786
Rio Purus	T4	27,400	0,141	5,100	0,148	23,700	3,606	11,590	1,153	15,500	1,460	6,027	0,945
Rio Solimões Montante de Manacapuru	S7	27,400	0,071	6,450	0,134	67,600	3,041	31,110	1,414	38,000	0,141	5,082	0,427
Rio Madeira	T5	28,000	0,071	5,890	0,091	54,900	5,381	19,520	0,636	153,330	2,828	4,127	0,310
Rio Amazonas Jusante de Novo Remanso	S8	27,900	0,211	5,080	0,028	23,800	3,111	8,540	1,415	8,400	0,212	7,705	0,115

Local	Código do Ponto	Sódio		Potássio		Magnésio		Cálcio		Cloreto		Nitrato		Sulfato	
		mg/L		mg/L		mg/L		mg/L		mg/L		mg/L		mg/L	
		Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Rio Solimões Montante do Rio Juruá	S1	3,275	0,048	1,176	0,016	1,273	0,134	18,848	0,192	2,518	0,000	13,970	0,003	3,376	0,001
Rio Solimões Jusante do Rio Juruá	S2	3,355	0,450	0,847	0,048	0,644	0,123	9,998	0,502	1,108	0,001	12,843	0,080	0,802	0,011
Rio Juruá	T1	2,045	0,051	1,137	0,015	0,948	0,035	0,443	0,054	0,486	0,001	5,773	0,009	0,721	0,004
Rio Jutai	T2	0,753	0,039	0,442	0,001	0,138	0,000	1,381	0,224	0,383	0,000	0,180	0,001	0,121	0,003
Rio Solimões Montante do Rio Jutai	S3	4,269	0,100	1,327	0,009	1,679	0,153	19,730	0,289	3,005	0,001	15,747	0,007	4,503	0,020
Rio Japurá	T3	1,371	0,001	0,396	0,005	0,244	0,001	1,264	0,030	0,391	0,000	0,303	0,002	0,423	0,004
Rio Solimões Montante de Tefé	S4	3,882	0,023	2,160	0,118	1,667	0,006	13,377	0,042	2,377	0,007	1,422	0,008	2,665	0,005
Rio Solimões Jusante de Coari	S5	2,828	0,035	1,185	0,064	1,664	0,123	12,551	0,264	2,064	0,005	0,368	0,008	2,511	0,010
Rio Solimões Montante do Rio Purus	S6	2,830	0,004	1,104	0,002	1,584	0,119	12,531	0,390	1,954	0,000	0,306	0,001	2,180	0,002
Rio Purus	T4	1,313	0,003	1,009	0,003	0,575	0,010	2,873	0,172	0,525	0,001	0,169	0,000	0,670	0,004
Rio Solimões Montante de Manacapuru	S7	2,354	0,006	0,992	0,003	1,344	0,058	10,913	0,092	1,484	0,001	0,275	0,001	1,837	0,001
Rio Madeira	T5	3,036	0,025	1,064	0,007	1,834	0,091	5,703	0,381	0,409	0,000	0,517	0,001	5,138	0,005
Rio Amazonas Jusante de Novo Remanso	S8	1,980	0,016	0,510	0,000	0,551	0,049	3,346	0,064	0,572	0,001	0,216	0,000	0,604	0,001

## APÊNDICE B

Dados referentes às coletas de julho de 2012 (média e desvio padrão – DP).

Local	Código do Ponto	T. água		pH		CE		Alcalinidade		STS		TOC	
		°C				µS/cm		mgCaCO <sub>3</sub> /L		mg/kg		mg/L	
		Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Rio Solimões Montante do Rio Juruá	S1	27,200	0,141	6,980	0,163	105,100	1,556	39,650	0,230	68,500	1,414	3,608	0,106
Rio Solimões Jusante do Rio Juruá	S2	26,900	0,141	6,910	0,063	98,840	2,373	41,480	0,255	78,500	0,742	4,050	0,588
Rio Juruá	T1	28,800	0,071	6,600	0,078	76,280	2,828	39,650	0,095	120,670	2,121	4,263	0,187
Rio Jutai	T2	27,500	0,141	5,830	0,141	11,700	2,121	6,100	0,157	7,000	0,177	3,649	0,175
Rio Solimões Montante do Rio Jutai	S3	27,100	0,071	7,160	0,057	103,700	2,496	45,750	0,286	89,000	2,135	3,595	0,396
Rio Japurá	T3	26,800	0,141	6,140	0,141	9,948	0,566	4,880	0,129	13,000	2,041	3,686	0,463
Rio Solimões Montante de Tefé	S4	27,600	0,212	6,670	0,106	91,720	1,273	40,260	0,306	68,000	0,544	3,815	0,778
Rio Solimões Jusante de Coari	S5	27,600	0,071	6,580	0,035	74,610	3,111	34,770	0,377	29,500	0,817	3,734	0,099
Rio Solimões Montante do Rio Purus	S6	27,600	0,071	6,750	0,092	76,100	2,199	30,500	0,230	43,000	0,936	4,763	0,612
Rio Purus	T4	27,000	0,141	6,420	0,148	56,100	2,121	22,570	0,363	5,000	1,430	4,614	0,388
Rio Solimões Montante de Manacapuru	S7	27,800	0,141	6,770	0,073	74,900	1,619	31,720	0,387	37,000	1,506	3,402	0,051
Rio Madeira	T5	28,300	0,071	6,440	0,123	56,430	2,890	23,180	0,707	60,000	2,180	3,570	0,137
Rio Amazonas Jusante de Novo Remanso	S8	28,100	0,141	6,300	0,125	47,800	2,476	18,910	0,849	24,000	1,133	4,344	0,178

Local	Código do Ponto	Sódio		Potássio		Magnésio		Cálcio		Cloreto		Nitrato		Sulfato	
		mg/L		mg/L		mg/L		mg/L		mg/L		mg/L		mg/L	
		Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Rio Solimões Montante do Rio Juruá	S1	5,112	0,289	0,938	0,003	1,010	0,095	13,115	0,818	3,744	0,000	0,823	0,009	5,478	0,280
Rio Solimões Jusante do Rio Juruá	S2	3,650	0,379	0,658	0,078	0,479	0,237	3,246	0,413	0,440	0,000	0,158	0,008	0,563	0,008
Rio Juruá	T1	5,494	0,954	0,852	0,011	0,987	0,122	11,961	0,804	3,414	0,018	0,885	0,035	4,401	0,035
Rio Jutai	T2	3,170	0,020	1,236	0,036	1,447	0,027	8,296	0,117	0,271	0,005	0,685	0,006	0,897	0,011
Rio Solimões Montante do Rio Jutai	S3	5,230	0,011	0,865	0,083	1,013	0,023	13,500	0,096	3,664	0,000	0,926	0,006	5,473	0,041
Rio Japurá	T3	1,094	0,003	0,309	0,006	0,148	0,009	0,707	0,010	0,309	0,001	0,345	0,001	0,369	0,041
Rio Solimões Montante de Tefé	S4	5,195	0,764	1,034	0,015	1,297	0,137	12,558	0,727	3,013	0,026	0,842	0,001	4,234	0,037
Rio Solimões Jusante de Coari	S5	3,899	0,016	1,154	0,009	1,023	0,041	8,985	0,421	2,718	0,001	0,664	0,000	3,420	0,530
Rio Solimões Montante do Rio Purus	S6	3,806	0,004	0,886	0,002	0,550	0,725	8,315	0,028	2,368	0,002	0,583	0,011	2,765	0,214
Rio Purus	T4	2,315	0,006	0,943	0,007	0,871	0,000	5,777	0,127	1,113	0,004	0,172	0,002	1,403	0,010
Rio Solimões Montante de Manacapuru	S7	3,791	0,477	0,806	0,004	1,204	0,112	8,618	0,472	2,181	0,006	0,526	0,003	2,536	0,017
Rio Madeira	T5	3,658	0,054	1,157	0,004	2,010	0,033	5,250	0,345	0,491	0,003	0,344	0,006	6,294	0,607
Rio Amazonas Jusante de Novo Remanso	S8	2,284	0,001	0,647	0,001	0,720	0,012	2,224	2,989	1,242	0,003	0,378	0,006	1,396	0,038

## APÊNDICE C

Dados referentes às coletas de setembro de 2012 (média e desvio padrão – DP)

Local	Código do Ponto	T. água		pH		CE		Alcalinidade		STS		TOC	
		°C				µS/cm		mgCaCO <sub>3</sub> /L		mg/Kg		mg/L	
		Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Rio Solimoes Montante do Rio Jurua	S1	29,200	0,1485	7,130	0,212	152,300	3,698	59,170	1,414	25,400	1,556	2,527	0,118
Rio Solimoes Jusante do Rio Jurua	S2	29,400	0,0608	7,040	0,141	155,400	3,649	61,610	1,945	57,330	0,846	2,806	0,885
Rio Jurua	T1	30,500	0,0354	5,770	0,247	166,000	4,243	86,620	0,607	62,500	1,662	3,234	0,131
Rio Jutai	T2	30,200	0,0849	6,180	0,035	20,800	3,946	4,270	0,693	23,600	2,432	2,609	0,168
Rio Solimoes Montante Rio Jutai	S3	28,900	0,0078	6,120	0,206	152,600	5,119	56,730	1,101	89,000	0,721	2,596	0,430
Rio Japura	T3	28,400	0,0537	6,470	0,228	16,890	1,910	6,100	0,651	37,400	1,527	3,225	0,276
Rio Solimoes Montante de Tefé	S4	29,100	0,1068	6,890	0,114	89,400	2,871	9,760	0,262	7,000	1,245	3,490	0,858
Rio Solimoes Jusante de Coari	S5	30,100	0,1563	6,980	0,071	89,500	1,803	39,040	1,298	24,000	1,194	4,180	0,268
Rio Solimoes Montante do Rio Purús	S6	30,200	0,0410	6,850	0,106	87,600	2,828	37,820	0,624	52,800	0,885	5,257	3,620
Rio Purús Beruri	T4	30,200	0,0481	6,080	0,035	48,800	2,418	12,200	0,552	5,600	1,669	4,752	0,503
Rio Solimoes Montante de Manacapuru	S7	30,200	0,1640	6,540	0,132	82,500	1,945	36,600	0,752	29,000	1,252	3,511	0,844
Rio Madeira	T5	31,400	0,1174	7,250	0,117	70,500	3,005	27,450	0,152	28,400	0,198	3,990	0,391
Rio Amazonas Jusante de Novo Remanso	S8	29,900	0,0926	6,480	0,171	51,000	1,577	16,470	0,366	13,400	1,089	4,923	0,115

Local	Código do Ponto	Sódio		Potássio		Magnésio		Cálcio		Cloreto		Nitrato		Sulfato	
		mg/L		mg/L		mg/L		mg/L		mg/L		mg/L		mg/L	
		Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Rio Solimoes Montante do Rio Jurua	S1	6,129	0,133	0,764	0,001	1,455	0,124	16,643	0,745	5,070	0,001	0,703	0,011	6,361	0,016
Rio Solimoes Jusante do Rio Jurua	S2	8,119	0,040	1,064	0,004	1,775	0,028	19,720	0,094	6,809	0,012	0,854	0,023	7,981	0,038
Rio Jurua	T1	6,275	0,314	1,390	0,001	2,638	0,130	19,601	0,809	1,215	0,001	0,341	0,004	3,109	0,023
Rio Jutai	T2	2,044	0,001	0,817	0,005	0,115	0,001	1,041	0,037	1,475	0,002	0,022	0,001	0,205	0,001
Rio Solimoes Montante Rio Jutai	S3	7,969	0,040	0,984	0,015	1,653	0,005	18,139	0,067	6,607	0,011	0,122	0,006	8,164	0,008
Rio Japura	T3	0,861	0,018	0,276	0,004	0,140	0,013	1,079	0,352	0,454	0,000	0,353	0,001	0,431	0,001
Rio Solimoes Montante de Tefé	S4	2,733	0,001	1,172	0,018	0,218	0,011	0,918	0,112	0,902	0,001	0,257	0,005	0,235	0,008
Rio Solimoes Jusante de Coari	S5	5,649	0,017	0,936	0,008	1,385	0,016	13,116	0,047	4,378	0,004	0,250	0,003	5,195	0,018
Rio Solimoes Montante do Rio Purús	S6	4,921	0,014	0,871	0,010	1,168	0,008	12,733	0,626	3,698	0,008	0,208	0,011	4,320	0,004
Rio Purús Beruri	T4	2,246	0,007	1,057	0,001	0,851	0,004	5,464	0,103	0,949	0,001	0,006	0,033	0,843	0,004
Rio Solimoes Montante de Manacapuru	S7	4,906	0,525	0,837	0,012	1,218	0,122	11,204	0,325	3,375	0,001	0,460	0,016	3,807	0,000
Rio Madeira	T5	2,863	0,049	1,211	0,005	2,201	0,165	8,024	0,417	0,625	0,001	0,480	0,006	7,125	0,006
Rio Amazonas Jusante de Novo Remanso	S8	3,170	0,009	1,210	0,028	0,060	0,008	9,547	0,188	2,336	0,011	0,012	0,001	1,367	0,000