



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

---

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 421**

**HIDROGEOQUÍMICA DOS RIOS CURUÁ, CAXIUANÃ E BAÍA DE  
CAXIUANÃ, MELGAÇO, PARÁ**

**Dissertação apresentada por:**

**MARIDALVA MENDES RIBEIRO**

**Orientador: Prof. Dr. José Augusto Martins Correa (UFPA)**

---

**BELÉM – PA  
2013**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

---

Ribeiro, Maridalva Mendes, 1973-  
Hidroquímica dos rios Curuá, Caxiuanã e Baía  
de caxiuanã, Melgaço, Pará / Maridalva Mendes  
Ribeiro. - 2013.

Orientador: José Augusto Martins Corrêa.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal  
do Pará, Instituto de Geociências, Programa de  
Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém,  
2013.

1. Geoquímica - Rio Curuá (PA. 2. Geoquímica  
- Rio Caxiuanã (PA. 3. Química da água - Rio  
Curuá (PA. 4. Química da água - Rio Caxiuanã  
(PA. 5. Íons. I. Título.

CDD 22. ed. 551.9098115

---



**Universidade Federal do Pará**

**Instituto de Geociências**

**Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica**

**HIDROGEOQUÍMICA DOS RIOS CURUÁ, CAXIUANÃ E BAÍA DE CAXIUANÃ,  
MELGAÇO, PARÁ**

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR**

**MARIDALVA MENDES RIBEIRO**

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

**Data de Aprovação: 07 / 11 /2013**

Banca Examinadora:

Prof. JOSÉ AUGUSTO MARTINS CORRÊA  
(Orientador – UFPA)

Prof. JOSÉ FRANCISCO BERRÊDO REIS DA SILVA  
(Membro – MPEG)

Prof.ª SILVIA KEIKO KAWAKAMI  
(Membro – UFPA)

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. José Augusto Martins Correia, pela orientação.

Ao Dr. José Francisco Berredo, por ser um grande amigo com paciência, ensinamentos confiança e pela amizade.

Ao Dr. Alex Vladimir Krusche pela orientação em campo e por ceder os dados para que eu pudesse fazer este trabalho.

A Maria Emília Sales pela amizade e correções quando necessárias.

Ao Amílcar Mendes pela amizade, incentivo e por sempre me ajudar quando necessário.

A Maria de Fátima Rasera pelos ensinamentos em campo, Nuclear na Agricultura e aos técnicos Alexandra Montebello e Gustavo Gobet pela execução das análises químicas.

A Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Silvia Keiko Kawakami pelas sugestões.

A Luciana Sena pela amizade e ajuda na finalização desta dissertação.

A Maria Vilhena, e Priscilla Almeida amizade.

Aos amigos (Mônia, Camila, Cláudia, Maués e Thiago).

Ao Museu Paraense Emílio Goeldi, à Estação Científica Ferreira Penna pelo apoio logístico.

Ao Programa LBA, à FAPESP pelo financiamento das atividades de campo.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudo.

A minha querida mãe, irmãos, irmãs pelo incentivo e apoio nos momentos difíceis.

## RESUMO

Esta pesquisa discute a hidroquímica dos rios Curuá, Caxiuanã e da baía de Caxiuanã, a fim de demonstrar a influência das variáveis climáticas de curto prazo (precipitação e temperatura) sobre a composição química destes corpos d'água. As amostras foram coletadas mensalmente entre janeiro de 2006 e dezembro de 2010, a partir de cinco pontos de amostragem. Foram analisados os seguintes parâmetros: principais cátions e ânions, silício, ferro e alumínio, taxa de respiração, o carbono orgânico dissolvido e inorgânico, CO<sub>2</sub> livre, metano e material em suspensão. Os resultados não mostraram variação significativa dos constituintes físico-químicos e químicos (T, pH, condutividade elétrica, cátions, ânions, taxa de respiração, o carbono orgânico e inorgânico dissolvido, CO<sub>2</sub> livre, metano e material em suspensão) nos rios Curuá, Caxiuanã e também na baía de Caxiuanã durante o tempo de estudo. Apenas o carbono orgânico dissolvido, mostrou uma relação direta com a precipitação. O diagrama de Piper permite classificar as águas da região de Caxiuanã como sódica-calco-magnesianas cloretadas. Como a área estudada é uma região sem influência antrópica, a falta de variações ao longo do período de estudo, sugere um sistema de equilíbrio.

**Palavras-chave:** Íons, relações iônica, floresta de Caxiuanã

## ABSTRACT

This research discusses the hydrochemistry of Curuá, Caxiuanã Rivers and Caxiuanã bay waters in order to demonstrate the influence of short-term climatic variables (precipitation and temperature) on the chemical composition of these water bodies. Samples were collected monthly between January 2006 and December 2010, from five sampling points. The following parameters were analyzed: major cations and anions; silicon, iron and aluminum, breathing rate, dissolved organic and inorganic carbon, free CO<sub>2</sub>, methane and suspended material. The results do not showed significant variability of the physic-chemical and chemical constituents (T, pH, electrical conductivity, cations, anions, breathing rate, organic and inorganic carbon dissolved free CO<sub>2</sub>, methane and suspended material) for Curuá, Caxiuanã River and also in the Caxiuanã bay over the study time. Only the dissolved organic carbon, showed a direct relationship with rainfall. The Piper diagram enables classify the waters of the region Caxiuanã as sodic calc-magnesian-chlorinated. As the studied area is one region without anthropogenic influence, the lack of variations during the study period, suggests an equilibrium system..

**Keywords:** ions, water chemistry, floresta nacional de Caxiuanã

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área de estudo. Fonte: Museu Paraense Emilio Goeldi .....	8
Figura 2: Mapa de localização dos pontos de amostragens e fotografias ilustrando as características fisiográficas dos mesmos. Adaptadas de Unidades de Análises Especiais (UAS).....	11
Figura 3: Cotas diárias (ANA, n. 19980000) X Precipitação (Dados gentilmente cedido pelo pesquisador Dr. Antônio Carlos Lola) .....	14
Figura 4: Variação temporal da T x Precipitação no ponto RCu1.....	17
Figura 5: Variação temporal da T x Precipitação no ponto RCu2.....	17
Figura 6: Variação temporal da T x Precipitação no ponto RCu3.....	18
Figura 7: Variação temporal da T x Precipitação no ponto RCx.....	18
Figura 8: Variação temporal da T x Precipitação no ponto BC.....	18
Figura 9: Variação temporal do pH x Precipitação no ponto RCu1.....	19
Figura 10: Variação temporal do pH x Precipitação no ponto RCu2.....	19
Figura 11: Variação temporal do pH x Precipitação no ponto RCu3.....	20
Figura 12: Variação temporal do pH x Precipitação no ponto RCx.....	20
Figura 13: Variação temporal do pH x Precipitação no ponto BC. ....	20
Figura 14: Variação temporal da CE x Precipitação no ponto RCu1.....	21
Figura 15: Variação temporal da CE x Precipitação no ponto RCu2.....	21
Figura 16: Variação temporal da CE x Precipitação no ponto RCu3.....	22
Figura 17: Variação temporal da CE x Precipitação no ponto RCx.....	22
Figura 18: Variação temporal da CE x Precipitação no ponto BC.....	22
Figura 19: Variação temporal do OD x Precipitação no ponto RCu1.....	23
Figura 20: Variação temporal do OD x Precipitação no ponto RCu2.....	23
Figura 21: Variação temporal do OD x Precipitação no ponto RCu3.....	24
Figura 22: Variação temporal do OD x Precipitação no ponto RCx.....	24
Figura 23: Variação temporal do OD x Precipitação no ponto BC.....	24
Figura 24: Variação temporal do sódio x Precipitação no ponto RCu1.....	25
Figura 25: Variação temporal do sódio x Precipitação no ponto RCu2.....	25
Figura 26: Variação temporal do sódio x Precipitação no ponto RCu3.....	26
Figura 27: Variação temporal do sódio x Precipitação no ponto RCx.....	26
Figura 28: Variação temporal do sódio x Precipitação no ponto BC.....	26
Figura 29: Variação temporal do cálcio x Precipitação no ponto RCu1.....	27
Figura 30: Variação temporal do cálcio x Precipitação no ponto RCu2.....	27

Figura 31: Variação temporal do cálcio x Precipitação no ponto RCu3. ....	28
Figura 32: Variação temporal do cálcio x Precipitação no ponto RCx.....	28
Figura 33: Variação temporal do cálcio x Precipitação no ponto BC.....	28
Figura 34: Variação temporal do magnésio x Precipitação no ponto RCu1.....	29
Figura 35: Variação temporal do magnésio x Precipitação no ponto RCu2.....	29
Figura 36: Variação temporal do magnésio x Precipitação no ponto RCu3.....	30
Figura 37: Variação temporal do magnésio x Precipitação no ponto RCx.....	30
Figura 38: Variação temporal do magnésio x Precipitação no ponto BC.....	30
Figura 39: Variação temporal do potássio x Precipitação no ponto RCu1.....	31
Figura 40: Variação temporal do potássio x Precipitação no ponto RCu2.....	31
Figura 41: Variação temporal do potássio x Precipitação no ponto RCu3.....	32
Figura 42: Variação temporal do potássio x Precipitação no ponto RCx.....	32
Figura 43: Variação temporal do potássio x Precipitação no ponto BC.....	32
Figura 44: Variação temporal do cloreto x Precipitação no ponto RCu1.....	33
Figura 45: Variação temporal do cloreto x Precipitação no ponto RCu2.....	33
Figura 46: Variação temporal do cloreto x Precipitação no ponto RCu3.....	34
Figura 47: Variação temporal do cloreto x Precipitação no ponto RCx.....	34
Figura 48: Variação temporal do cloreto x Precipitação no ponto BC.....	34
Figura 49: Variação temporal do sulfato x Precipitação no ponto RCu1.....	35
Figura 50: Variação temporal do sulfato x Precipitação no ponto RCu2.....	35
Figura 51: Variação temporal do sulfato x Precipitação no ponto RCu3.....	36
Figura 52: Variação temporal do sulfato x Precipitação no ponto RCx.....	36
Figura 53: Variação temporal do sulfato x Precipitação no ponto BC.....	36
Figura 54: Variação temporal do nitrato x Precipitação no ponto RCu1.....	37
Figura 55: Variação temporal do nitrato x Precipitação no ponto RCu2.....	38
Figura 56: Variação temporal do nitrato x Precipitação no ponto RCu3.....	38
Figura 57: Variação temporal do nitrato x Precipitação no ponto RCx.....	38
Figura 58: Variação temporal do nitrato x Precipitação no ponto BC.....	39
Figura 59: Variação temporal do silício x Precipitação no ponto RCu1.....	39
Figura 60: Variação temporal do silício x Precipitação no ponto RCu2.....	40
Figura 61: Variação temporal do silício x Precipitação no ponto RCu3.....	40
Figura 62: Variação temporal do silício x Precipitação no ponto RCx.....	40



Figura 63: Variação temporal do silício x Precipitação no ponto BC.....	41
Figura 64: Variação temporal do carbono orgânico dissolvido x Precipitação no ponto RCu1.....	41
Figura 65: Variação temporal do carbono orgânico dissolvido x Precipitação no ponto RCu2.....	42
Figura 66: Variação temporal do carbono orgânico dissolvido x Precipitação no ponto RCu3.....	42
Figura 67: Variação temporal do carbono orgânico dissolvido x Precipitação no ponto RCx.....	42
Figura 68: Variação temporal do carbono orgânico dissolvido x Precipitação no ponto BC.....	43
Figura 69: Variação temporal do metano x Precipitação no ponto RCu1.....	44
Figura 70: Variação temporal do metano x Precipitação no ponto RCu2.....	44
Figura 71: Variação temporal do metano x Precipitação no ponto RCu3.....	44
Figura 72: Variação temporal do metano x Precipitação no ponto RCx.....	44
Figura 73: Variação temporal do metano x Precipitação no ponto BC.....	45
Figura 74: Variação temporal do carbono inorgânico dissolvido x Precipitação no ponto RCu1.....	46
Figura 75: Variação temporal do carbono inorgânico dissolvido x Precipitação no ponto RCu2.....	46
Figura 76: Variação temporal do carbono inorgânico dissolvido x Precipitação no ponto RCu3.....	46
Figura 77: Variação temporal do carbono inorgânico dissolvido x Precipitação no ponto RCx.....	47
Figura 78: Variação temporal do carbono inorgânico dissolvido x Precipitação no ponto BC.....	47
Figura 79: relação entre pH e porcentagem de CO <sub>2</sub> “livre”, HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> e CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> . Modificado de Golterman <i>et al.</i> 1978.....	48
Figura 80: Variação temporal do CO <sub>2</sub> “livre”, HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> e pH no ponto RCu1.....	48
Figura 81: Variação temporal da taxa de respiração x OD no ponto RCu1.....	49
Figura 82: Variação temporal do CO <sub>2</sub> “livre”, HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> e pH no ponto RCu2.....	49
Figura 83: Variação temporal da taxa de respiração x OD no ponto RCu2.....	49
Figura 84: Variação temporal do CO <sub>2</sub> “livre”, HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> e pH no ponto RCu3.....	50
Figura 85: Variação temporal da taxa de respiração x OD no ponto RCu3.....	50
Figura 86: Variação temporal do CO <sub>2</sub> “livre”, HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> e pH no ponto RCx.....	50
Figura 87: Variação temporal da taxa de respiração x OD no ponto RCx.....	51
Figura 88: Variação temporal do CO <sub>2</sub> “livre”, HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> e pH no ponto BC.....	51
Figura 89: Variação temporal da taxa de respiração x OD no ponto BC.....	51
Figura 90: Variação temporal dos sólidos totais dissolvidos x Precipitação no ponto RCu1.....	52
Figura 91: Variação temporal dos sólidos totais dissolvidos x Precipitação no ponto RCu2.....	52
Figura 92: Variação temporal dos sólidos totais dissolvidos x Precipitação no ponto RCu3.....	53
Figura 93: Variação temporal dos sólidos totais dissolvidos x Precipitação no ponto RCx.....	53
Figura 94: Variação temporal dos sólidos totais dissolvidos x Precipitação no ponto BC.....	53

Figura 95: Variação espacial do cloreto e sódio nos pontos de coleta.....	54
Figura 96: Variação espacial do cálcio, magnésio, sulfato, bicarbonato e potássio nos pontos de coleta.....	56
Figura 97: Concentração do Al x pH nos pontos RCu1, RCu2, RCu3, RCx e BC.....	57
Figura 98: Diagrama de Piper no ponto RCu1 do rio Curuá.....	58
Figura 99: Diagrama de Piper no ponto RCu2 do rio Curuá.....	58
Figura 100: Diagrama de Piper no ponto RCu3 do rio Curuá.....	59
Figura 101: Diagrama de Piper no ponto no rio Caxiuanã.....	59
Figura 102: Diagrama de Piper no ponto da baía de Caxiuanã.....	60
Figura 103: Diagrama de Piper em todos os pontos.....	60
Figura 104: Biplot de correlação entre o eixo 1 e 2 das variáveis com as medias da região de caxiuanã.....	68

## TABELAS

Tabela 1: Coordenadas geográficas dos pontos de amostragens.....	12
Tabela 2: Valores de Al e Fe na água (mg/L) .....	55
Tabela 3: Variações médias das relações entre os cátions e ânions principais nos rios Curuá, Caxiuanã e baía de Caxiuanã .....	61
Tabela 4: Razão $Mg^{2+}/Ca^{2+}$ e $K^+/Na^+$ para os anos de estudos.....	65
Tabela 5: Resultado da PCA1 e PCA2 feita com as médias das variáveis.....	67

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	II
RESUMO .....	IV
ABSTRACT .....	V
LISTA DE FIGURAS .....	VI
TABELAS.....	IX
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 OBJETIVOS.....	3
1.1.1 Objetivo geral.....	3
1.1.2 Objetivos específicos.....	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
2.1 UNIDADE DE CONSERVAÇÃO.....	3
2.2 RIOS .....	4
3 ÁREA DE ESTUDO.....	6
3.1 LOCALIZAÇÃO.....	6
3.2 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS .....	6
3.2.1 Clima.....	6
3.2.2 Vegetação.....	6
3.3 CONTEXTO HIDROLÓGICO DO SISTEMA HÍDRICO DA BAIÁ DE CAXIUANÃ.....	9
3.4 CONTEXTO GEOLÓGICO E SOLO.....	9
3.4.1 Formação Barreiras – Terciário.....	9
3.4.2 Formação Alter do Chão – Cretáceo .....	10
3.4.3 Solo .....	10
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	11
4.1 TRABALHO DE CAMPO.....	12
4.2 TRABALHO DE LABORATÓRIO .....	15
4.2.1 Análises de Cátions e Ânions.....	15
4.3.2 Silício, ferro e Alumínio.....	15
4.3.3 Metano.....	15
4.3.5 Taxa de respiração.....	16
<b>4.3.6 Sólidos totais em suspensão .....</b>	<b>16</b>
4.4 ANÁLISES DE DADOS.....	16
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
5.1 VARIABILIDADE TEMPORAL NOS RIOS CURUÁ, CAXIUANÃ E BAIÁ DE CAXIUANÃ.....	17
5.1.1 Parâmetros físico-químicos.....	17
5.1.1 Sódio.....	25
5.1.3 Cálcio.....	27
5.1.2 Magnésio .....	29

<b>5.1.3 Potássio</b> .....	30
<b>5.1.4 Cloreto</b> .....	32
<b>5.1.5 Sulfato</b> ....	35
<b>5.1.6 Nitrato</b> .....	37
<b>5.1.7 Silício</b> .....	39
<b>5.1.8 Carbono orgânico dissolvido (COD)</b> .....	41
<b>5.1.9 Metano (CH<sub>4</sub>)</b> .....	43
<b>5.1.10 Dinâmica das variáveis CID (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>2</sub> livre), taxa de respiração, OD, pH</b> .....	45
<b>5.1.11 Particulado em suspensão</b> .....	52
<b>5.1.12 Alumínio e Ferro</b> .....	54
<b>5.2 VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ÍONS MAIORES NOS RIOS CURUÁ, CAXIUANÃ E BAÍA DE CAXIUANÃ</b> .....	55
<b>5.2.1 Cloreto e Sódio</b> .....	55
<b>5.2.2 Ca, Mg, K, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> e HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b> .....	56
<b>5.3 CLASSIFICAÇÃO HIDROQUÍMICA</b> .....	57
<b>5.4 ANÁLISE MULTIVARIADA</b> .....	66
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	69
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	70

## 1 INTRODUÇÃO

A Floresta Nacional (FLONA) de Caxiuanã é uma unidade de conservação de uso sustentável, que integra o Sistema Nacional de Unidade de Conservação (SNUC), instituído pelo Governo Federal em julho de 2000 (Soares & Lisboa 2009). A FLONA de Caxiuanã foi criada pelo Decreto-Lei N° 194, de 28 de novembro de 1961, englobando uma área com extensão de 324.060 hectares, localizada as proximidades da baía de Caxiuanã, entre os rios Xingu e Tapajós. Aproximadamente 70% da área da FLONA, estão inserida nos limites do município de Melgaço e 30%, no município de Portel (Soares & Lisboa 2009).

Nesta Floresta Nacional foi construída a Estação Científica Ferreira Penna (ECFPn), fruto de um convênio de cooperação entre o Museu Paraense Emílio Goeldi e o Instituto Brasileiro e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), em que foi estabelecido que 10% da área superficial estaria sob responsabilidade do MPEG. Dentre os vários projetos implantados na ECFPn (PPBIO, TEAM e LBA), Destaca-se também o subprojeto Biogeoquímica Aquática, que tem como objetivo estudar o ciclo biogeoquímico do carbono em diversas partes da Amazônia e fornece subsídios ao desenvolvimento da presente pesquisa. Este subprojeto faz parte da Rede Beija-Rio, que foi elaborado a partir dos projetos “O papel dos sistemas fluviais amazônicos no balanço regional e global de carbono: evasão de CO<sub>2</sub> e interações entre os ambientes terrestres e aquáticos” e “The role of river son the regional carbono cycle” e pelo Programa LBA.

Nas Unidades de Conservação, estudos geoquímicos, hidrológicos e de ecossistemas têm sido desenvolvidos com o objetivo de compreender os fatores que controlam a química da água natural (Likens *et al.* 1977; Baron & Bricker 1990). Do ponto de vista científico a FLONA de Caxiuanã ainda é pouco conhecida, dados que demonstrem o comportamento das características hidroquímicas, poderão auxiliar no entendimento do mecanismo de interação entre os elementos que compõe este sistema, reforçando assim, o conhecimento do ecossistema da área em questão.

Pesquisas sobre a dinâmica e propriedades hidroquímicas de sistemas aquáticos, indicam as variações que podem ocorrer de acordo com períodos de estiagem e cheia, a sazonalidade e precipitação. A circulação e distribuição das espécies químicas nos sistemas aquáticos são relativamente bem definidas, porém sua dinâmica é influenciada pelas variações climáticas. As sucessões de estações chuvosas e secas correspondem, para as águas dos rios, à alternância de diluição e concentração das espécies químicas nos pequenos tributários dos

grandes rios da Amazônia e mostram que há relação direta entre o ambiente e a química das águas (Santos & Ribeiro 1988; Cunha, 2000; Horbe *et al.* 2005). Influências da vegetação são observadas nos rios de águas pretas, que apresentam grande quantidade de matéria orgânica dissolvida, o que os torna mais ácidos (Sioli 1985).

A qualidade da água em diferentes tipos de corpos hídricos pode ser alterada por diversos fatores. Dentre eles, estão às variações das chuvas mais a temperatura e seus principais agentes relacionados à paisagem, morfologia, solo, fauna, flora, clima ou antrópicos (Costa *et al.* 2009, Berrêdo 1992, Billett & Sæther 1996). Por isso, investigar os recursos hídricos representa caracterizar adequadamente uma unidade física nos seus diferentes aspectos de integração, de diferenciação dos ambientes e de funcionalidades de seus componentes.

A química da água de superfície de um rio, em qualquer ponto, reflete as principais influências, incluindo a litologia da bacia, insumos atmosféricos, condições climáticas e antropogênicas (Berner & Berner 1987; Brincker & Jones 1995). A identificação e quantificação destas influências devem constituir uma importante parte de manejo dos recursos terrestres e de água dentro da captação particular do rio (Petts & Calow 1996).

A distribuição relativa dos elementos entre as fases de soluto e de partículas depende da mobilidade dos constituintes químicos (elementos) durante intempéries e transporte (Viers *et al.* 2000).

Para Sioli (1984), tanto a riqueza das águas com origem nos Andes, como a pobreza das águas que drenam as florestas de terra-firme na Amazônia, refletem as características de substratos geológicos.

O presente trabalho foi realizado para observar as possíveis alterações nas propriedades físico-químicas de águas naturais durante os períodos de variação de temperatura e precipitação. Foram selecionados os rios Curuá e Caxiuanã e baía de Caxiuanã, localizados na floresta Nacional de Caxiuanã. As coletas iniciaram em janeiro de 2006, com término em dezembro de 2010. Os dados obtidos também poderão subsidiar a elaboração do plano de manejo da área, até o presente, a FLONA de Caxiuanã não dispõe de tal documento, sendo que, segundo a Lei de Unidade de Conservação, o plano de manejo deve ser realizado em até cinco anos após a criação da Unidade.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Contribuir para o estudo da hidrogeoquímica dos rios Curuá, Caxiuanã e baía de Caxiuanã, exemplos de sistemas amazônicos preservados.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar a composição das águas do sistema relacionado à baía de Caxiuanã através de parâmetros físico-químicos (pH, condutividade, temperatura, material particulado em suspensão, químicos (oxigênio dissolvido, taxa de respiração, gás carbônico, carbono inorgânico e orgânico dissolvidos, metano, íons majoritários, alumínio, ferro e silício) no intervalo temporal de 2006 a 2010;
- Avaliar se a climatologia exerce variações sobre os parâmetros químicos e físico-químicos do sistema relacionado à Baía de Caxiuanã;
- Comparar a composição das águas do sistema de Caxiuanã, considerado livre de contribuições antrópicas, com outros sistemas amazônicos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

### 2.1 UNIDADE DE CONSERVAÇÃO

A Floresta Nacional (FLONA) de Caxiuanã enquadra-se como Unidade de Conservação, que segundo a lei Nº 9.985 de 2000, art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências – SNUC, estabelecendo critérios e normas para a criação, implantação e gestão das unidades de conservação, onde o espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituídas pelo Poder Público com objetivos de conservação e limites definidos, sob-regime especial de administração ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção.

A FLONA de Caxiuanã é uma área com cobertura florestal de espécies predominantemente nativas e tem como objetivo básico o uso múltiplo sustentável dos recursos florestais e a pesquisa científica, com ênfase em métodos para a exploração sustentável de florestas nativas. A FLONA é de posse e domínio públicos, sendo que as áreas particulares incluídas em seus limites serão desapropriadas, de acordo com o que dispõe a lei



9.985. Neste tipo de unidade de conservação é admitida a permanência de populações tradicionais que a habitam quando de sua criação, em conformidade com o disposto em regulamento e no Plano de Manejo da unidade, sendo este, um documento técnico mediante o qual, com fundamentos nos objetivos gerais de uma unidade de conservação, se estabelece o seu zoneamento e as normas que devem presidir o uso da área e o manejo dos recursos naturais, inclusive a implantação das estruturas físicas necessárias à gestão da unidade (Marques & Nucci 2007).

## 2.2 RIOS

Na bacia amazônica observa-se que o substrato litológico e o regime de erosão das respectivas bacias de drenagem têm papel fundamental no controle da composição das águas superficiais (Stallard 1984 apud Martinelli 1986). Dentro desta visão foi mostrado por Gibbs (1964), que todos os sais dissolvidos e sólidos em suspensão na bacia Amazônica são fornecidos por sua área de drenagem. Desta forma, foram propostos três tipos de classificação das águas superficiais para a bacia Amazônica com o objetivo de relacionar a característica física e química da água com o substrato geológico (Sioli 1975; Fittkau *et al.* 1975; Stallard & Edmund 1983; Furck 1984). A primeira se baseia nas percepções ópticas, associada às características químicas dos rios e sua área de ocorrência; a segunda sub divide a bacia Amazônica em três regiões geoquimicamente distintas e dentro de cada região as características ecológicas são relativamente uniformes, e a terceira que classificou as águas da bacia Amazônica de acordo com a carga total de cátions (TZ+).

Fittkau *et al.* (1975) propuseram a divisão da bacia Amazônica em três regiões geoquímicas distintas, sendo que, dentro de cada uma as características ecológicas serviram de base para identificar os processos geoquímicos que têm influência sobre a área. Dessa forma se obtém certa homogeneidade relativa, visto que as mesmas foram agrupadas com base nas características geológicas da área. Pela classificação de Fittkau *op. cit.*, uma das unidades seria a Amazônia Central, situada principalmente sobre sedimentos fluvio-lacustres do Terciário e Pleistoceno. Os solos, devido ao forte regime intempérico na Amazônia, são muito pobres em eletrólitos, por isso, os rios que drenam essa região são geralmente classificados como rios de água preta e elevado conteúdo de substâncias húmicas (Putzer 1984; Irion 1979 citados por Martinelli 1986).

Outra classificação adotada para a bacia Amazônica utiliza o conteúdo de cátions, tendo como base que o substrato litológico e o regime de erosão controlam a composição química das águas superficiais, sendo que esta classificação está relacionada à geologia local (Stallard e Edmund 1983). Para Stallard & Edmund op. cit. rios com carga total de cátions (TZ+) entre 0 e 200  $\mu\text{eq/L}$ , são rios que drenam terrenos bastantes intemperizados (sedimentos terciários da bacia central, solos da bacia do rio Negro e regiões similarmente intemperizadas). A forma predominante do regime de erosão é limitada pelo transporte, ou seja, os produtos intempéricos são muitos pobres em relação ao substrato litológico de origem. Estes rios têm elevado conteúdo em Fe, Al, H e Si em relação a outras espécies (Stallard & Edmund 1983). Desta forma, o sistema de classificação das águas superficiais da Amazônia reforça que o substrato geológico exerce papel fundamental no controle da composição química das águas superficiais.

A hidroquímica das águas superficiais é influenciada pela composição das bacias de drenagens preservadas por onde estas águas passam (p. ex.: Sioli & Klinge 1962; Sioli 1968; Gibbs 1970; Stallard & Edmond 1983; Junk & Furck 1985; Viers *et al.* 2000; Tosiani *et al.* 2004; Berger & Forberg 2006; Hren *et al.* 2007). Alguns elementos presentes nos rios podem estar relacionados diretamente com tipos de rochas e seus minerais constituintes, por exemplo,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  têm relação com calcita/dolomita (carbonatos) e gipsita/anidrita (sulfatos);  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  com rochas evaporíticas (Queiroz *et al.* 2009). Entretanto, para Stallard & Edmond (1983), o  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  e  $\text{Zn}^{2+}$  não mostram tão claramente essa mesma relação entre elementos presentes nos rios e tipos de rochas constituintes.

Neste contexto a qualidade da água em diferentes tipos de corpos d'água pode ser alterada por diversos fatores, dentre eles, estão às variações climáticas e seus principais agentes relacionados, a paisagem, morfologia, solo, fauna, flora, tempo ou antrópicos (Costa 2009, Berrêdo 1992). Por isso, investigar os recursos hídricos representa caracterizar adequadamente uma unidade física nos seus diferentes aspectos de integração, de diferenciação dos ambientes e de funcionalidades de seus componentes.

A variação química temporal apresentada pelas águas dos rios pode ser influenciada tanto pela contribuição das águas subterrâneas, quanto pelo escoamento superficial, que entram no sistema de drenagem durante e logo após períodos de precipitação (Livingstone

1963; Hem 1970 apud Berrêdo 1992). A precipitação pluviométrica tem papel fundamental na composição da água, e influencia diretamente a sua composição.

Nos ambientes naturais as características das águas tendem a ser bem estabelecidas, sofrendo apenas variações sazonais, que se repetem regularmente ao longo do tempo, alterando muito lentamente esta condição à medida que o sistema evolui (Ferreira *et al.* 2012). O sistema de Caxiuanã, um ambiente natural em micro-escala, embora bastante heterogêneo mantém nítidas regularidades nos ambientes e nos processos. Para Sioli (1984) tanto a riqueza das águas com origem nos Andes quanto a pobreza das águas que drenam as florestas de terra-firme refletem as características de substratos geológicos.

### **3 ÁREA DE ESTUDO**

#### **3.1 LOCALIZAÇÃO**

O presente trabalho foi realizado na região de Caxiuanã coordenadas centrais 01°42'30''S; 51°31'15''W, situada nos municípios de Melgaço e Portel (PA) na Amazônia Oriental, porção ocidental do estado do Pará, entre a ilha do Marajó e o rio Xingu (Figura 1).

#### **3.2 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS**

##### **3.2.1 Clima**

O clima na região de Caxiuanã é do tipo Ami, segundo a classificação de Köppen, do tipo tropical úmido com precipitação pluviométrica mais intensa no período de janeiro a julho variando entre 121,1 a 409 mm. O período de menor pluviosidade se dá entre agosto e novembro, como observado na figura 3. A temperatura média no período de 1996 a 2003 foi de 26,7°C, e a umidade relativa do ar com média anual de 81,2% entre maio de 2006 a julho de 2007 (Costa *et al.* 2009).

##### **3.2.2 Vegetação**

A cobertura vegetal da região de Caxiuanã é bem diversificada e intacta, com a presença de áreas de florestas de terra firme e de inundação. A floresta de terra firme é mais extensa e diversa, recobrando 85% da área total da região (Lisboa & Ferraz 1999). Os ecossistemas típicos da floresta amazônica estão representados por áreas de terra firme e alagadas, além de manchas de vegetação secundária e vegetação não florestal, semelhante à

savana; também ocorrem florestas de inundação tipo várzeas e igapó e, ainda, vegetação residual em sítios de pomares, além de abundante vegetação aquática, notadamente nas águas do rio Curuá.

As florestas de inundação são formadas por florestas de várzea e igapó; que apresentam próprias, uma vez que os rios que drenam a região são classificados como de água preta (baixo teor de sedimentos em suspensão) (Lisboa & Ferraz 1999).

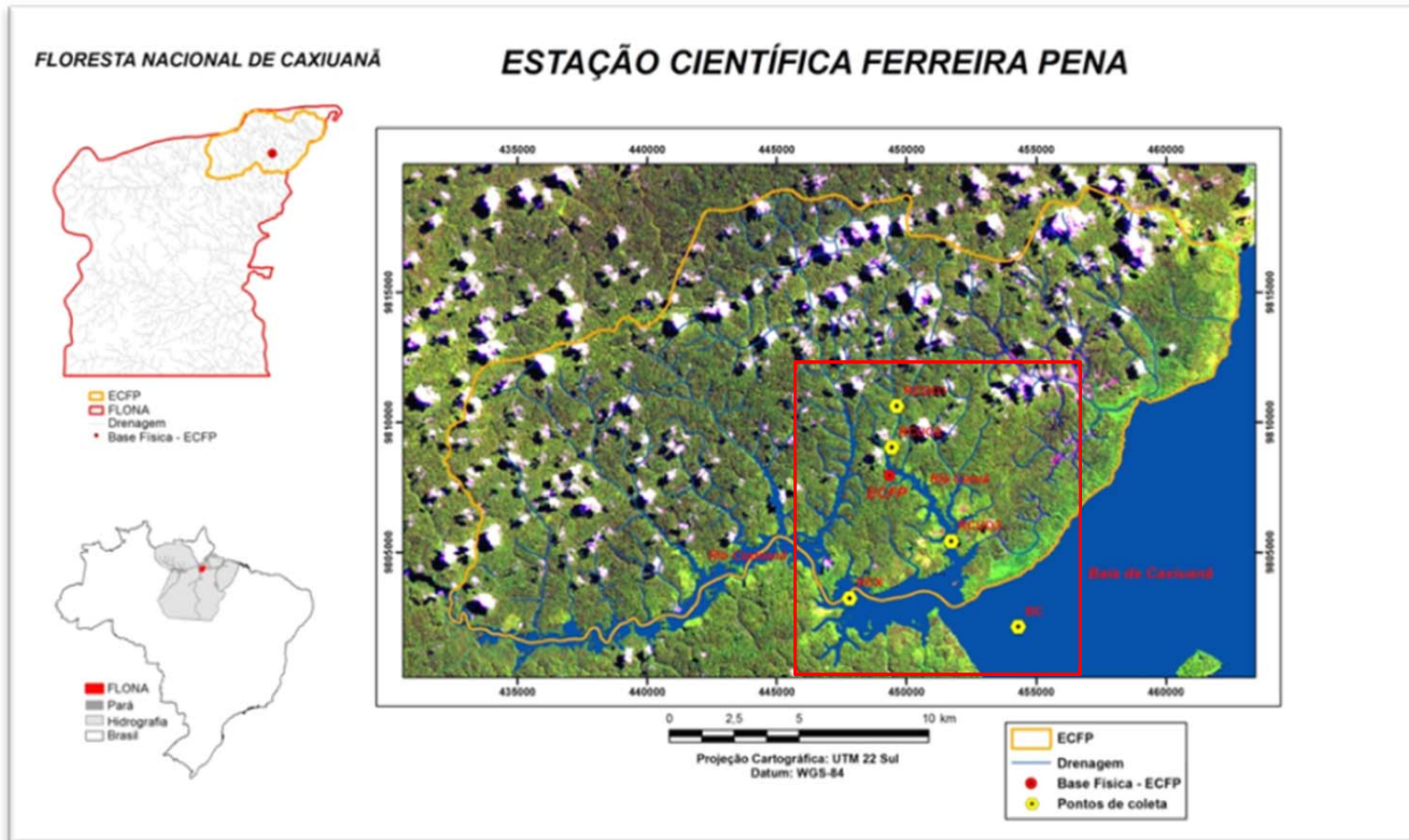


Figura 1: Localização da delimitação da área de estudo. Fonte: Museu Paraense Emílio Goeldi

### 3.3 CONTEXTO HIDROLÓGICO DO SISTEMA HÍDRICO DA BAÍA DE CAXIUANÃ.

A baía de Caxiuanã tem forma retangular alongada, com aproximadamente 8 km de largura e 40 km de extensão. Na altura das enseadas dos Botos e Caju, que são limitadas por um istmo, há uma redução de 400 m de largura. Entretanto, quando assume a direção NNW-SSE, a baía apresenta uma redução em sua largura, que é reduzida a 3 km, ao longo de aproximadamente 12 km. Nesse local, a baía assume formas e processos fluviais, passando a ser denominada como rio de Anapu, vertendo na direção NW-SE. Suas margens são retilíneas, com golfos, ilhas não aluviais (por vezes com terrenos rochosos) e pontas de terras, que a estreitam, dando origem às enseadas, como a do Boto e a do Caju (Costa *et al.* 2002). O canal de navegação atual da baía parece corresponder, ainda, ao do rio Anapu, visto que, segundo Bemerguy (1998), este curso fluvial foi bloqueado por falhas transcorrentes e ocorreu um abatimento de seu vale por falhas normais.

Os rios Caxiuanã e Curuá fazem parte do sistema de drenagem da baía de Caxiuanã, cujo padrão subdentritico apresenta forte cotovelo estrutural, denotado por formas de arco, cotovelos, meandros isolados e canais tortuosos. Os vales estão afogados, fazendo com que a baía apresente uma largura de 10 a 12 km (Costa *et al.* 2002).

Tanto as águas da baía quanto as de seus tributários foram tipificadas por Costa *et al.* (2002) com base na classificação de Sioli (1965), como rios de águas pretas, a partir de visualização direta, considerando a pouca presença de material em suspensão e, possivelmente, em consequência da elevada concentração de substâncias húmicas dissolvidas na coluna d'água.

### 3.4 CONTEXTO GEOLÓGICO E SOLO

#### 3.4.1 Formação Barreiras – Terciário

Segundo Costa *et al.* (2002), embora não seja característica da área de estudo, é possível identificar nas margens da baía de Caxiuanã, materiais laterizados, que podem ser correlacionados à Formação Barreiras. As rochas dessa formação geológica encontram-se

intemperizadas, com o desenvolvimento de solos lateríticos do tipo latossolo amarelo, de ampla distribuição na região (Costa *et al.* 1974).

### **3.4.2 Formação Alter do Chão – Cretáceo**

Constituída predominantemente por intercalações de arenitos e argilitos, apresenta por vezes níveis conglomeráticos. As concreções ferruginosas, comumente observadas, podem também ser incluídas nessa unidade (Costa 1974).

Segundo o autor retrocitado, os arenitos da Formação Alter do Chão são constituídos de grãos angulosos de quartzo, feldspato, com tamanho variando de médio a grosso e com matriz argilosa. Sua coloração varia de cinza clara, amarelada a lilás, com tonalidades avermelhadas intermediárias. São extremamente friáveis, homogêneos, apresentando-se, às vezes, estratificados. Ocorrem níveis argilosos, por vezes caulíníticos, com espessuras que, na área estudada, raramente ultrapassam 50 cm. Esses argilitos possuem cores que variam de branca, cinza clara a cinza esverdeada, com tonalidade amarelada e avermelhada. Os conglomerados são constituídos de seixos subarredondados de quartzo e/ou feldspatos. Ainda segundo Costa (1974), baseados em sua idade e posição estratigráfica, a Formação Alter do Chão é correlacionável com a formação Barreiras, que ocorre no litoral nordeste brasileiro, e com as rochas clásticas de idade miocênica (bacia da foz do Amazonas), que compõem Grupo Pará.

A Formação Alter do Chão constitui a base das terras emersas/terra firme da região de estudo, sendo melhor identificada nas terras mais altas. É representada por rochas com aspecto mosqueado, fortemente intemperizadas, ricas em caulinita. Estão expostas na margem esquerda da baía e do rio Caxiuanã, geralmente em relevos mais altos (Costa *et al.* 2002). Geologicamente, é uma região que se encontra situada no compartimento morfotectônico Gurupá, da calha do rio Amazonas (Bemerguy 1998), limitando-se a leste com o compartimento Marajoara e, a oeste com o Baixo-Tapajó.

### **3.4.3 Solo**

Os latossolos amarelos representam a unidade pedológica mais importante da região de Caxiuanã. Recobrem indistintamente os perfis das Formações Alter do Chão e Barreiras.

Solos do tipo Terra Preta Arqueológica (TPA) são também observados na área de estudo. São solos de cor preta, apresentando horizonte A bem desenvolvido, com a presença de artefatos cerâmicos e líticos, por vezes fragmentados ou com acúmulo de conchas. Em geral, o teor de nutrientes das Terras Pretas Arqueológicas é maior que dos Latossolos Amarelos da região (Costa *et al.* 2002).

Ademais, os solos da região da Floresta Nacional de Caxiuanã são predominantemente do tipo Latossolo Amarelo Distrófico, com variação apenas na textura que ora é argilosa, ora arenosa (Pereira 2008).

#### 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram selecionados cinco pontos de coleta, sendo três no rio Curuá (RCU01, RCU02 e RCU03), um no rio Caxiuanã (RCX) e um na Baía de Caxiuanã (BC), definidos em função de suas distintas paisagens (tabela 1). O rio Curuá é influenciado pela vegetação de terra firme, de igapó e macrófitas aquáticas, enquanto que, o rio Caxiuanã é circundado por vegetação de terra firme e, o ponto de coleta da baía de Caxiuanã recebe pouca influencia da vegetação (figura 2). O critério de seleção dos pontos teve como objetivo comparar a variação da concentração química dos cátions, ânions e oxinânios no sistema hídrico de acordo com as diferentes paisagens e episódios de estiagem e chuva. Os dados obtidos fazem parte do banco de dados do projeto Biogeoquímica Aquática.



Figura 2: Mapa de localização dos pontos de amostragem e fotografias ilustrando as características fisiográficas dos mesmos. Adaptada de Unidade de Análises Espaciais (UAS).



Tabela 1: Coordenadas geográficas dos pontos de amostragens

Ponto de amostragem	Coordenadas Geográficas
RCU1	51°27'12''W 01°42'48''S
RC2	51°27'19''W 01°43'42''S
RC3	51°26'06''W 01°45'40''S
RCX	51°28'44''W 01°47'00''S
BC	51°24'38''W 01°47'22''S

#### 4.1 TRABALHO DE CAMPO

As coletas foram realizadas entre janeiro de 2006 e dezembro de 2010 utilizando como meio de transporte uma voadeira. Nos cinco pontos de amostragens, foram coletadas 52 amostras, sendo vinte e três no período chuvoso (Ch) e vinte e nove na estiagem (Es), abrangendo as diversas fases da hidrografia (Figura 3).

As amostras de água foram coletadas mensalmente com o auxílio de uma bomba imersão no meio do canal a 60% da profundidade total, pois a profundidade encontra-se a maior velocidade de corrente e maior poder para carreamento de sedimentos (Hauer & Lamberti, 1996). A água foi transferida para uma proveta de dois litros através da mangueira acoplada a bomba, de onde foram retiradas alíquotas distintas para cada uma das análises como descrito na sequência abaixo:

a) Uma alíquota de 60 mL da amostra foi retirada com seringa e filtrada por meio de membrana de nitrato de celulose (porosidade nominal de 0,45  $\mu\text{m}$ ) e acondicionada em frasco de polietileno de alta densidade. Preservou-se com 100 mg de thymol, para determinação das concentrações de íons, silício e de carbono inorgânico dissolvido (CID);

b) Três alíquotas de 25 mL da amostra foram retiradas com seringas e filtradas por meio de membrana de fibra de vidro pré-calcinada (tipo GF/F, porosidade nominal de 0,45  $\mu\text{m}$ ) e acondicionada em vial de vidro pré-calcinado. Preservou-se a amostra com  $\text{HgCl}_2$  a uma concentração final de Hg de 300  $\mu\text{M}$ , para determinação de carbono orgânico dissolvido;

c) Uma alíquota de 100 mL da amostra foi retirada com seringa e filtrada por meio de membrana de fibra de vidro e preservada com ácido nítrico para a determinação de ferro e alumínio;

d) Para a coleta de água para análise de CH<sub>4</sub> foram utilizadas garrafas de polietileno com capacidade total para um litro, cujo preenchimento foi realizado com uma mangueira de borracha acoplada a uma bomba de sucção. A água foi coletada em triplicata a 30 centímetros da superfície da lâmina d'água. A garrafa foi vedada com uma rolha contendo duas torneiras: uma de cano longo, com alcance até o fundo da garrafa e outra, de cano curto. Em seguida, foram encaixadas à rolha duas seringas, uma contendo gás nitrogênio e outra vazia. Posteriormente, foram injetados 60 mL de gás N<sub>2</sub> e retirou-se 60 mL de água (*headspace*), segundo a metodologia proposta por Casper (1992). As torneiras foram, então, fechadas e as seringas retiradas. A garrafa foi vigorosamente agitada por três minutos, permanecendo em repouso por quinze minutos, acondicionada em uma caixa térmica de isopor com água do próprio ambiente amostrado.

Após o tempo decorrido, as seringas foram novamente acopladas às rolhas e a água anteriormente retirada foi recolocada no interior da garrafa. Consequentemente, a outra seringa foi preenchida com o ar presente no interior da garrafa. A seringa com ar foi, então, transportada para o laboratório de físico-química da Estação Científica Ferreira Penna, para processamento, onde o ar foi transferido para frascos de vidros com auxílio de uma bomba manual e, posteriormente, enviado para análise, no CENA (Laboratório de Ecologia Isotópica/USP- Piracicaba).

e) Para análise da taxa de respiração foram coletadas 10 amostras de 100 mL cada, da seguinte forma: com o auxílio da mangueira; encheram-se cinco frascos de DBO, que foram colocados na água até transbordar marcando o tempo que levou para encher, e depois marcando o triplo do tempo, em seguida armazenados em caixas escuras e mantidos em repouso por vinte e quatro horas. Nos outros cinco frascos restantes foi adicionado ao fundo dos mesmos 250µL de MnSO<sub>4</sub> (sulfato manganoso) e anotada a hora do início da preservação (para contagem do tempo de vinte quatro horas) e adicionou também 250µL de KI + NaOH (Wetzel & Likens 1990).

f) Após a realização dos procedimentos acima os eletrodos dos medidores portáteis foram utilizados para a obtenção dos valores do potencial hidrogeniônico (pH) e temperatura da água com pHmetro (Thermo Electron Corp/Orion 290 A+), oxigênio dissolvido com

oxímetro marca (YSI/ 55 oxigen dissolved) e condutividade elétrica com condutivímetro (VWR International/ 2052);

g) Para análise do material em suspensão foram coletados 20 litros de água em cada ponto, que foram posteriormente filtrados em laboratório, mediante utilização de filtro de acetato de celulose com porosidade de 0,45  $\mu\text{m}$  (Baumgartem *et al.* 1996). Posteriormente, o filtro foi submetido à secagem em estufa a 60 °C e pesado novamente, para determinar a quantidade de material em suspensão que ficou retido no mesmo.

h) Os dados de precipitação pluviométrica foram cedidos pelo Projeto LBA/Esecaflor e os da cota do rio foram adquiridos a partir da estação fluviométrica localizada na confluência dos rios Curuá e Caxiuanã (Código ANA N. 19980000), de responsabilidade da Agência Nacional de Águas (<http://hidroweb.ana.gov.br/>).

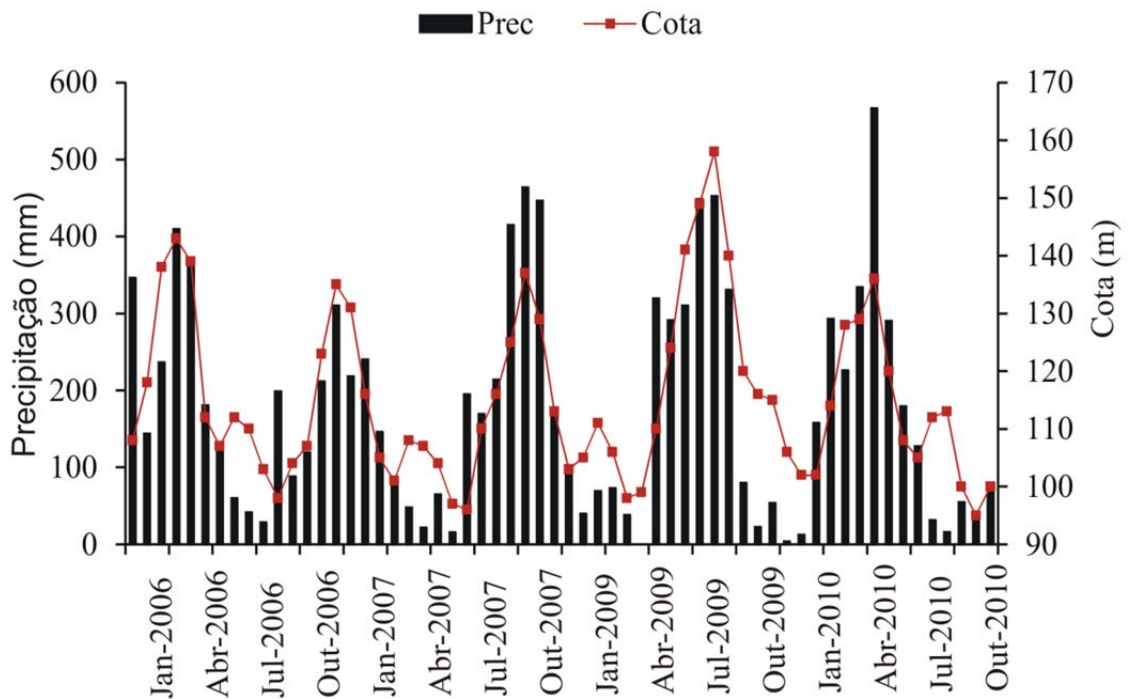


Figura 3: Cotas diárias (ANA, n. 19980000) e precipitação (dados gentilmente cedidos pelo pesquisador Dr. Antônio Carlos Lola).

## 4.2 TRABALHO DE LABORATÓRIO

### 4.2.1 Análises de cátions e ânions

As determinações das concentrações dos íons (sódio, amônio, potássio, magnésio, cálcio, cloreto, sulfato e nitrato) foram realizadas no laboratório do CENA, pela técnica de cromatografia líquida, com supressão de íons, em equipamento Dionex DX-500. A detecção foi feita por condutividade elétrica e as colunas analíticas para ânions e cátions são, respectivamente, modelos Ion Pac AS14HC (4mm) e CS12A (4mm) (Dionex, 2000) com limite de detecção entre 0,05 a 5 ppm (ou mg/L), sendo o controle de qualidade dos resultados feito com o uso da amostra certificada TROIS-94.

### 4.3.2 Silício, ferro e Alumínio

As concentrações totais destes elementos foram obtidas por espectrometria de emissão óptica com plasma de argônio induzido (ICP-OES), HORIBA Jobin Yvan Ultima 2, no Laboratório de Análise Ambiental e Geoprocessamento do Centro de Energia Nuclear na Agricultura CENA/USP. Os limites de detecção ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) obtidos para os elementos analisados foram de 0,01 para o Fe; 0,04 para o Al e 0,2 para silício.

### 4.3.3 Metano

A concentração de  $\text{CH}_4$  foi determinada por cromatografia gasosa, em equipamento Shimadzu, modelo GC17A, equipado com metalizador e detector de ionização de chama, utilizando-se coluna cromatográfica empacotada Porapak-Q a  $60^\circ\text{C}$ ; injetor para coluna empacotada a  $120^\circ\text{C}$ ; detector FID a  $200^\circ\text{C}$ ; e nitrogênio adotado como gás de arraste no laboratório de Ecologia Isotópica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) da Universidade de São Paulo/Piracicaba.

### 4.3.4 Carbono Orgânico e Inorgânico Dissolvido

As concentrações de carbono orgânico e inorgânico dissolvidos totais foram determinadas pela técnica de detecção por infra-vermelho do  $\text{CO}_2$  gerado, respectivamente, a partir da queima e da acidificação em equipamento da marca Shimadzu, modelo TOC-VCPH. As concentrações das espécies do sistema de carbonatos foram calculadas a partir da concentração de carbono inorgânico dissolvido total, do pH e da temperatura (Stumm; Morgan 1981).

#### 4.3.5 Taxa de respiração

A taxa de respiração e fotossíntese foram determinadas por titulação com tiosulfato de sódio na presença de amido. O cálculo final das taxas respiratórias foi realizado a partir do consumo de oxigênio observado nas incubações, de acordo com a equação (Richey *et al.* 1988):

$$\text{Taxa respiratória} = (OD_{\text{inicial}} - OD_{\text{final}})/t$$

Onde,

Taxa respiratória = consumo de oxigênio, em  $\mu\text{M.hora}^{-1}$ ;

$OD_{\text{inicial}}$  = concentração de oxigênio dissolvido antes da incubação, em  $\mu\text{M}$ ;

$OD_{\text{final}}$  = concentração de oxigênio dissolvido após a incubação, em  $\mu\text{M}$ ;

t = tempo de incubação, em horas.

#### 4.3.6 Sólidos totais em suspensão

Para a determinação de material particulado em suspensão, uma alíquota foi filtrada em filtro GF/F (25  $\mu\text{m}$ ) previamente lavados com água mili-Q, secos em estufa, calcinados a 400°C para retirar a fração orgânica e posteriormente pesados. O material retido foi seco em estufa a 60 °C.

#### 4.4 ANÁLISES DE DADOS

Análises de componentes principais (ACP) foram aplicadas aos dados a fim de verificar as relações entre as variáveis, realçando a participação individual dos elementos físico-químicos e químicos da área de estudo. As análises estatísticas foram formuladas por meio do software STAT 11.0.

Para aplicar a análise de componente principal, foram escolhidas oito variáveis, as que melhor se adequaram aos testes aplicados. As médias dos parâmetros relativos aos cinco anos de amostragens foram calculadas (temperatura, pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, carbono orgânico dissolvido, sólidos totais dissolvidos e precipitação), sendo possível desta forma observar a distinção entre as amostras coletadas nos períodos chuvoso e estiagem, bem como a separação entre os ambientes estudados.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 VARIABILIDADE TEMPORAL NOS RIOS CURUÁ, CAXIUANÃ E BAÍA DE CAXIUANÃ.

#### 5.1.1 Parâmetros físico-químicos

Os valores de temperatura obtidos na região de Caxiuaná variaram de 24,1 a 33,6 °C, sem diferenças significativas entre as amostras do período chuvoso e de estiagem (figuras 4 a 8). O ponto (RCU-01) do rio Curuá apresentou os menores valores (24,1°C), pois o mesmo localiza-se em uma área de vegetação fechada recebendo pouca radiação solar. O ponto da baía apresentou valores de temperatura mais elevados (34 °C) pela incidência direta de radiação solar.

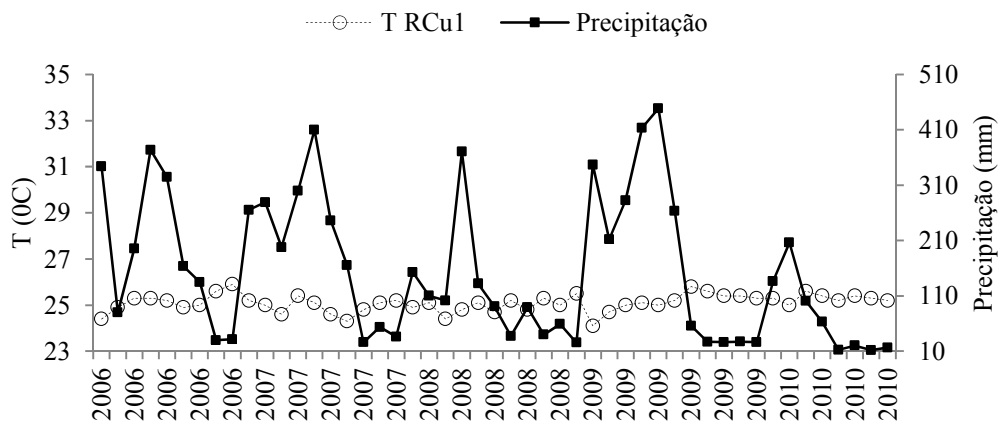


Figura 4: Variação temporal da T x Precipitação no ponto RCU1

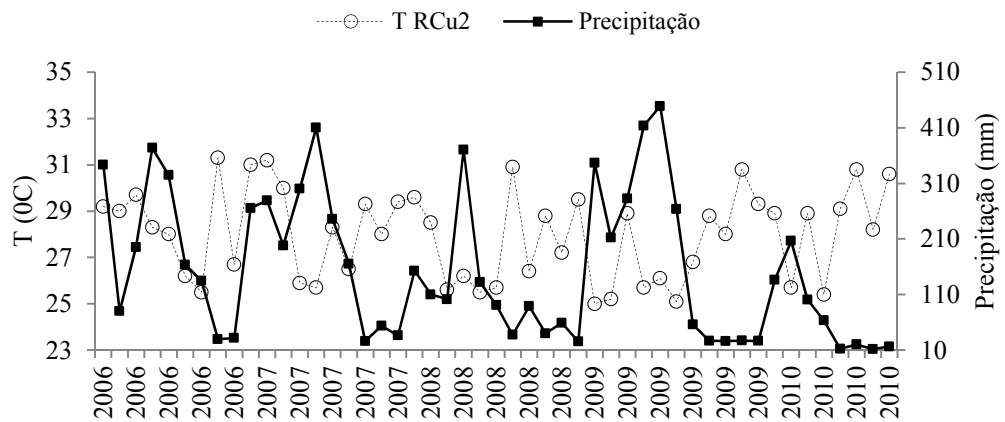


Figura 5: Variação temporal da T x Precipitação no ponto RCU5

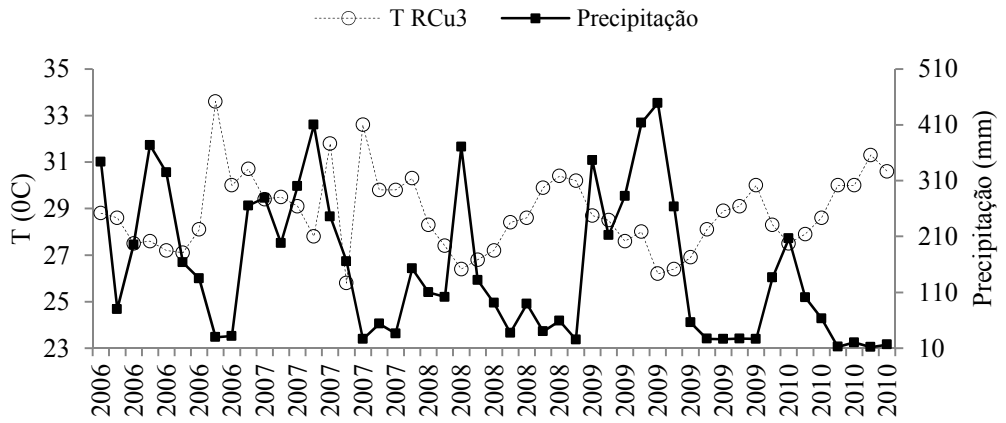


Figura 6: Variação temporal da T x Precipitação no ponto RCu3

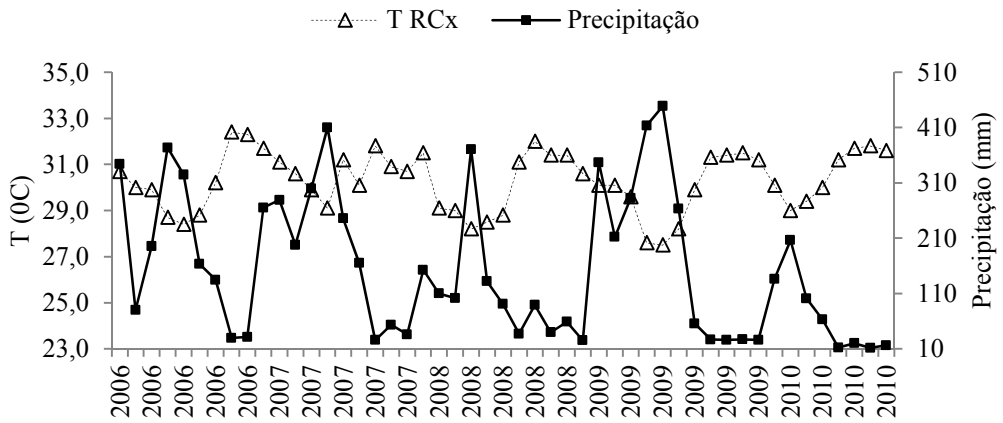


Figura 7: Variação temporal da T x Precipitação no ponto RCx

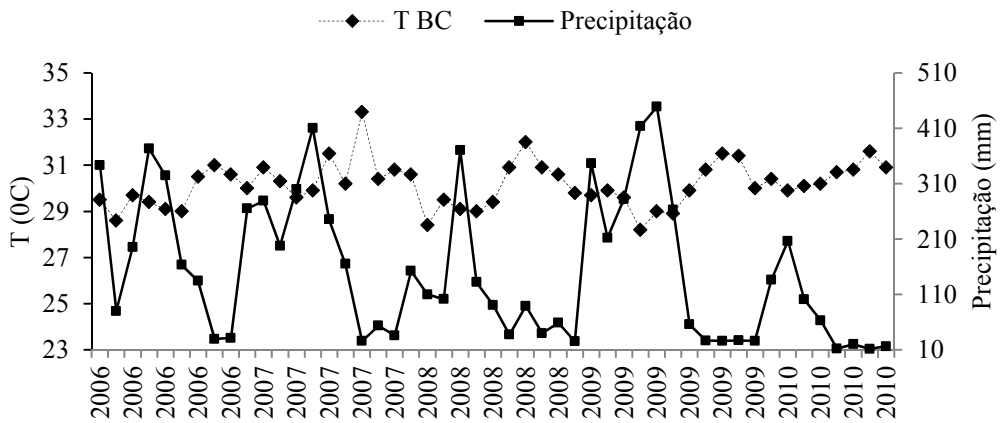


Figura 8: Variação temporal da T x Precipitação no ponto BC

No que concerne ao potencial hidrogeniônico (pH) os valores variaram de 3,39 a 7,38 (FIGURAS 9 A 13). Os valores mais baixos foram observados nos rios Curuá, pontos RCu1, RCu2 e RCu3 e no rio Caxiuanã, RCx, nestes rios o pH apresentou características ácidas (pH <5), valores de pH ácidos, podem ser relacionados ao acúmulo material rico em compostos orgânicos, típicos dos rios amazônicos.

Valores mais elevados foram encontrados na baía BC (pH>5), neste ponto foi observado uma relação inversa entre a precipitação e o pH. O valor de pH mais elevado na baía pode está relacionado ao equilíbrio que se estabelece nas águas ao adentrarem a baía de Caxiuanã, cuja alta produtividade primária, devido ao consumo do CO<sub>2</sub> dissolvido, altera o equilíbrio do sistema carbonato (Allan & Castilho 2007).

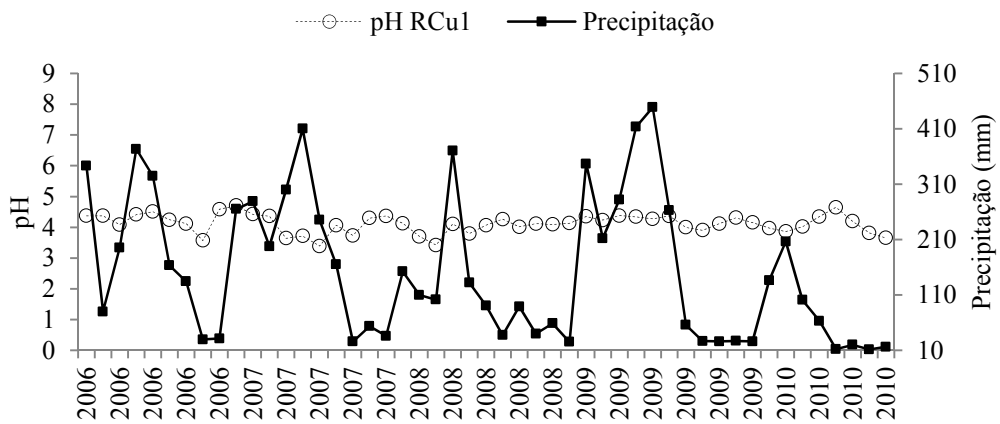


Figura 9: Variação temporal do H x Precipitação no ponto RCu1

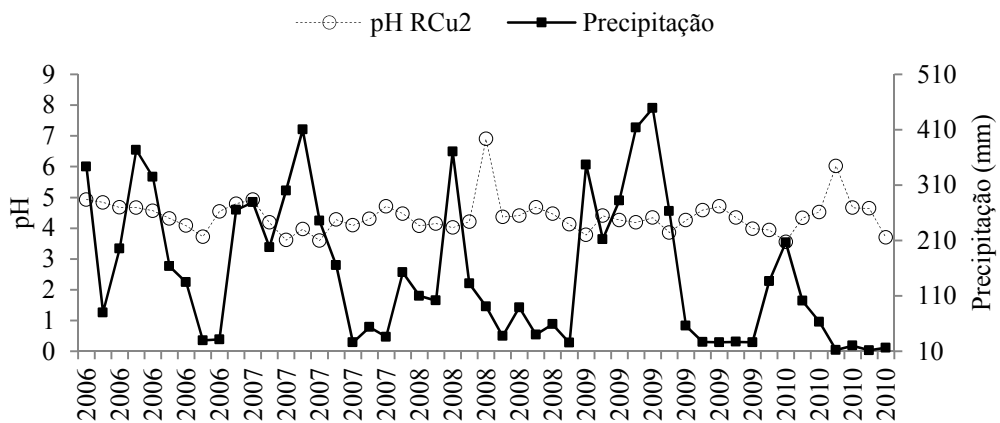


Figura 10: Variação temporal do H x Precipitação no ponto RCu2



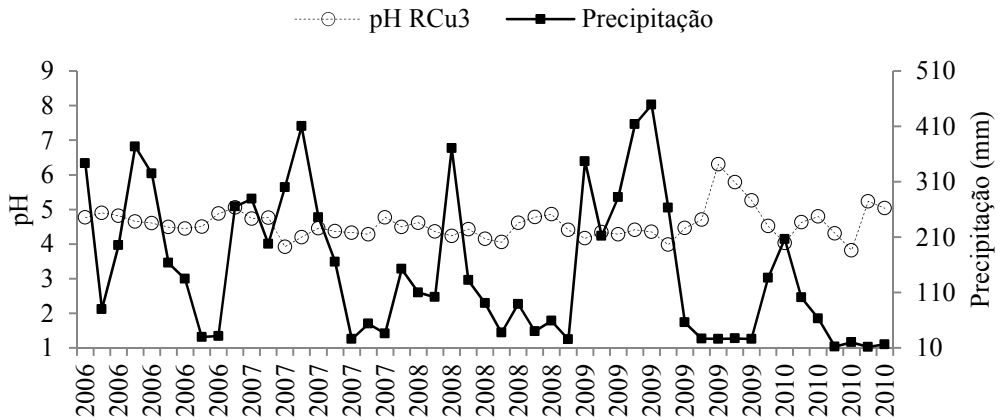


Figura 11: Variação temporal do H x Precipitação no ponto RCU3

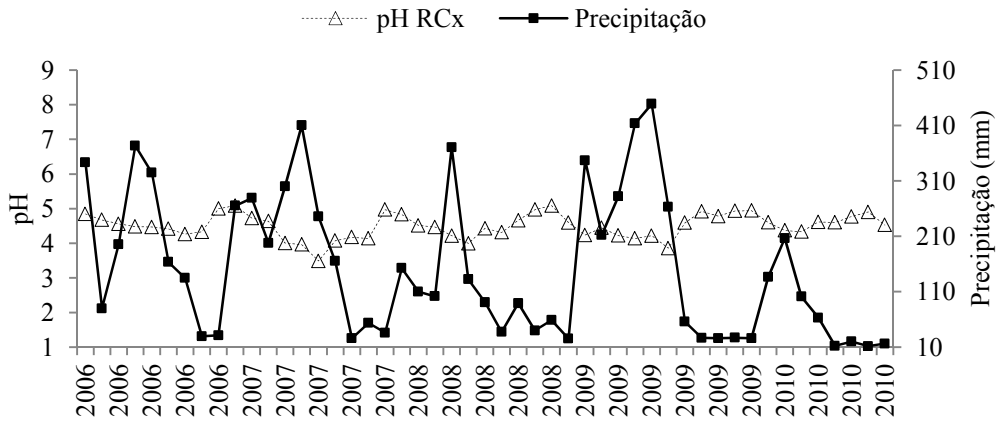


Figura 12: Variação temporal do H x Precipitação no ponto RCX

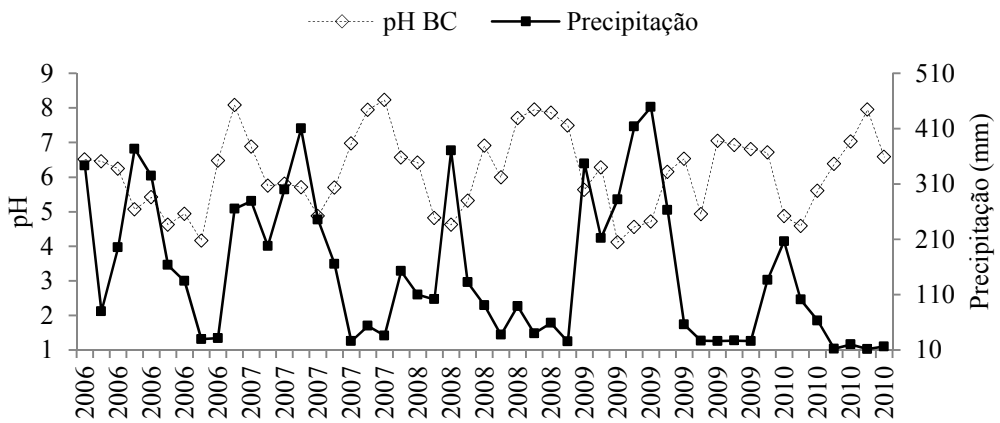


Figura 13: Variação temporal do H x Precipitação no ponto BC

Os valores de condutividade elétrica (CE) variaram entre 10  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (período chuvoso) a 32 $\mu\text{S}/\text{cm}$  (período de estiagem), com as maiores alterações no ponto localizado a nascente do rio Curuá (RCU01), pois neste ponto o rio recebe toda a carga de substâncias orgânicas (ácidos fúlvicos e húmicos) resultando no aumento da concentração de  $\text{H}^+$ , aumentando a condutividade elétrica mais elevada (referencias) (figuras 14 a 18).

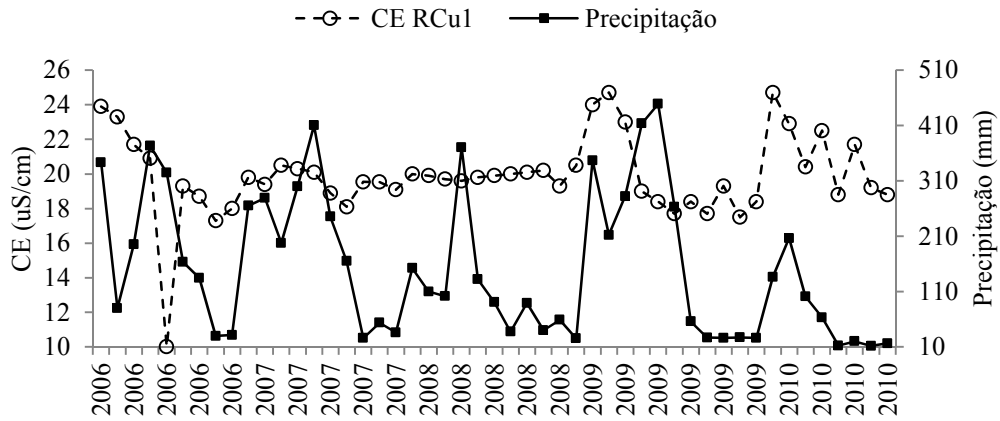


Figura 14: Variação temporal da CE x Precipitação no ponto RCU1

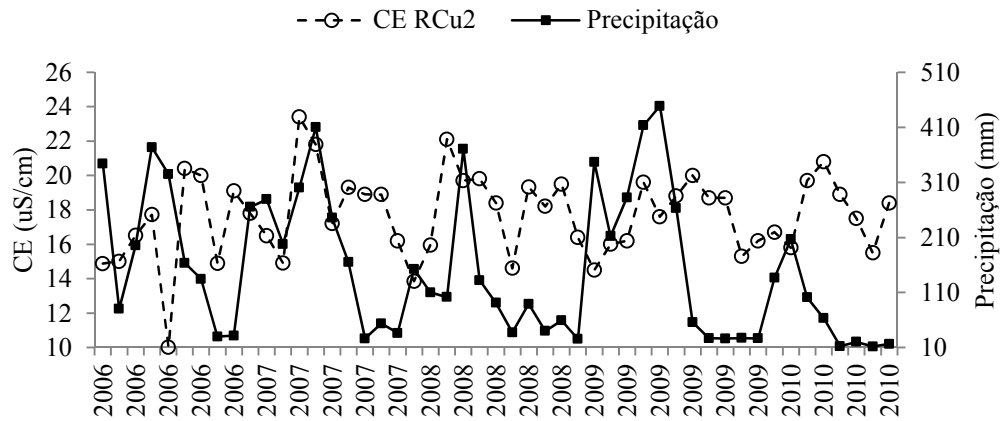


Figura 15: Variação temporal da CE x Precipitação no ponto RCU2

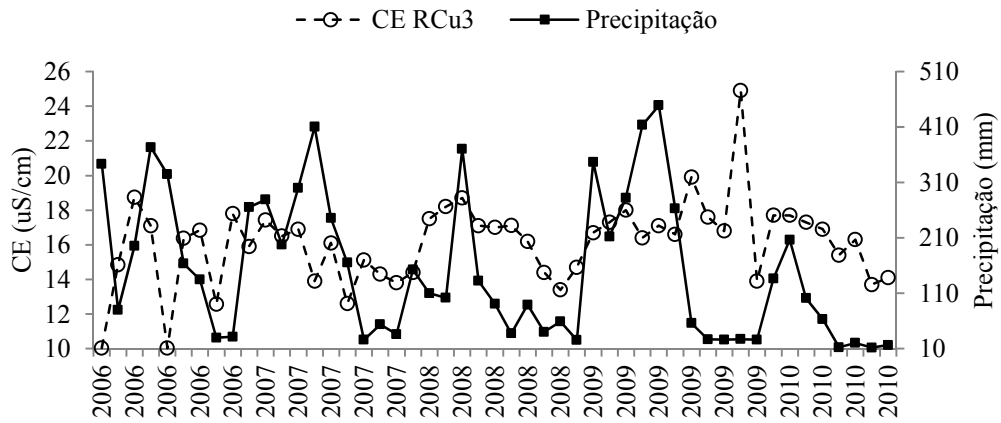


Figura 16: Variação temporal da CE x Precipitação no ponto RCu3

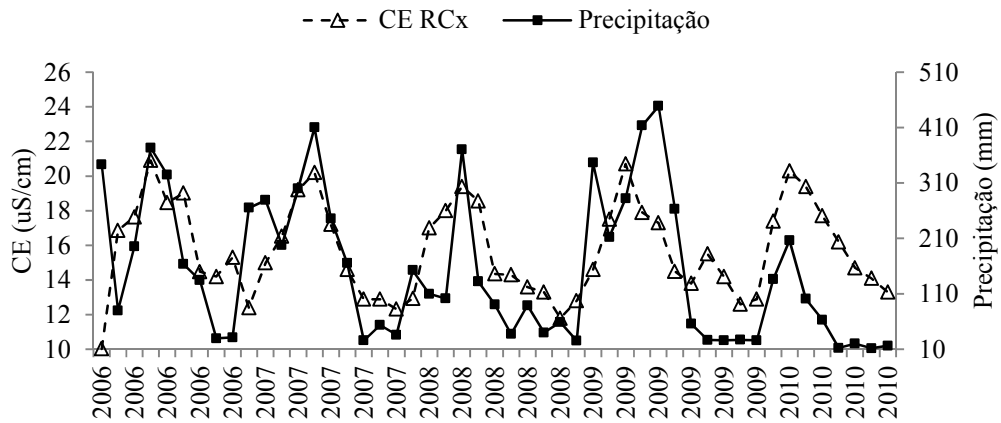


Figura 17: Variação temporal da CE x Precipitação no ponto RCx

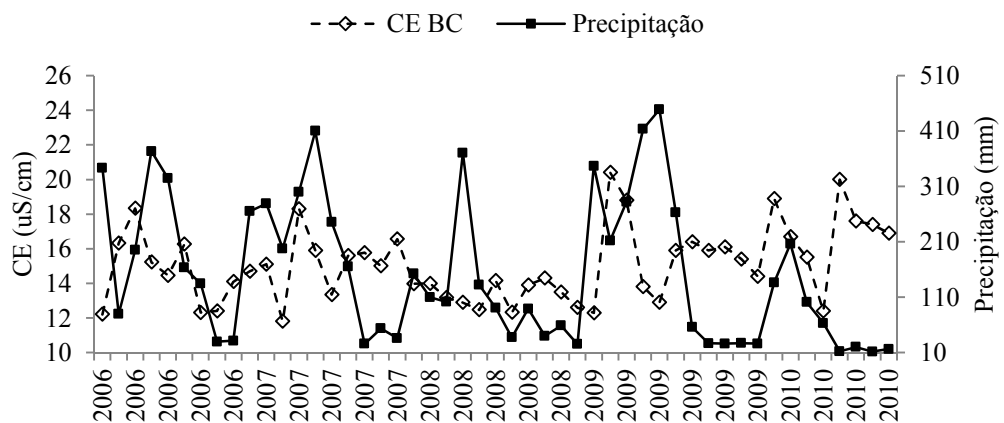


Figura 18: Variação temporal da CE x Precipitação no ponto BC

O oxigênio dissolvido (OD) apresentou no período chuvoso, concentrações máximas nos pontos de coletas, variando de 1,09 a 6,74mg/L, no período de estiagem a variação foi entre 0,3 e 6,10 mg/L (figuras 19 a 23). Em geral, o ponto BC apresentou as maiores médias no período estudado, podendo estar relacionado ao metabolismo aquático e à maior agitação das águas, provocados pela ação dos ventos, sendo que as baixas profundidades da baía facilitam a homogeneização da coluna d'água.

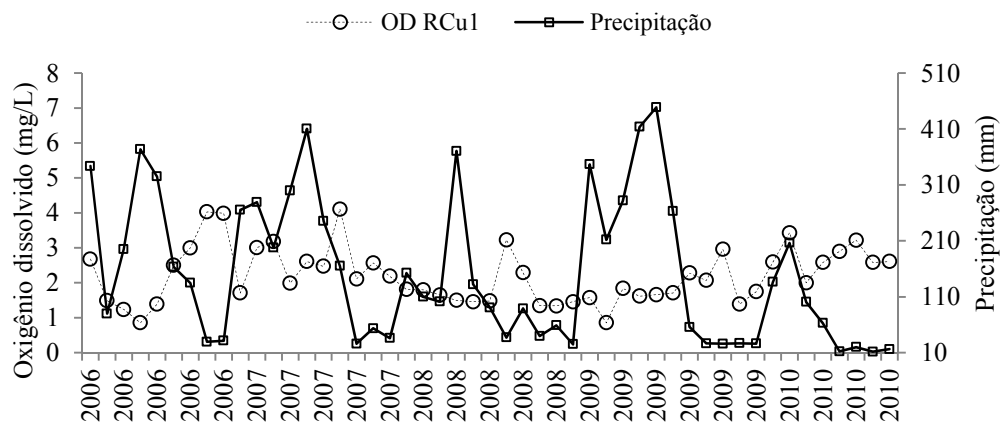


Figura 19: Variação temporal do OD x Precipitação no ponto RCu1

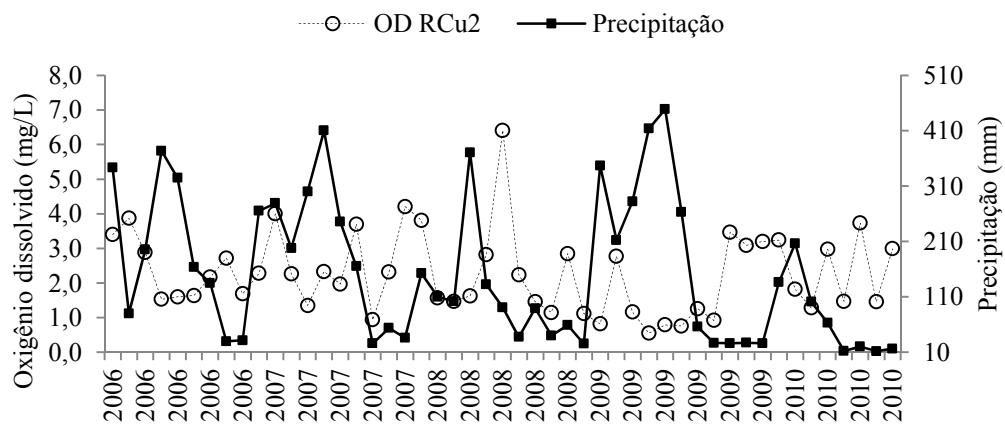


Figura 20: Variação temporal do OD x Precipitação no ponto RCu2



### 5.1.1 Sódio

As concentrações médias de sódio variaram de 47,03 a 65,02  $\mu\text{mol/L}$  (figura 24 a 28). Os valores de sódio foram maiores no período estiagem, aumentando no sentido de montante (RCU01) para jusante (RCU03) no rio Curuá, ou seja, adotando uma relação inversa com a precipitação. Para o rio Caxiuanã e a baía foram observados o mesmo padrão de comportamento. Com a diminuição do nível da água nos ambientes estudados, este elemento tende a se concentrar.

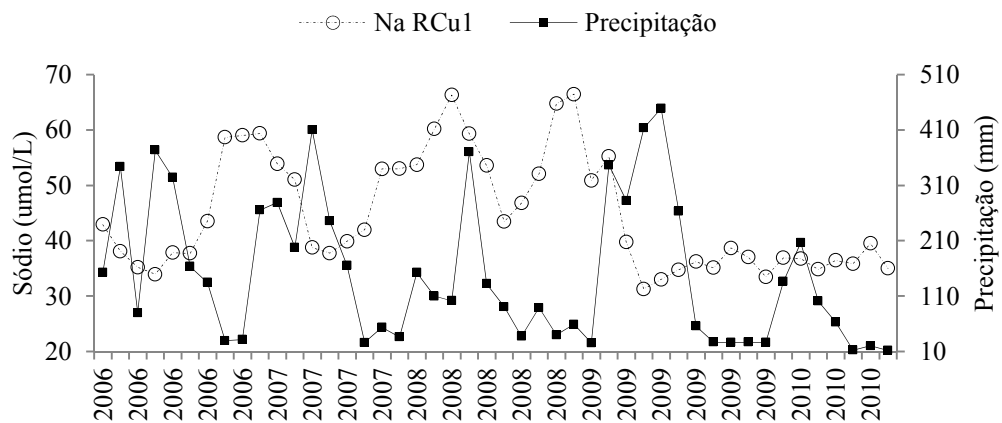


Figura 24: Variação temporal do sódio x Precipitação no ponto RCU1

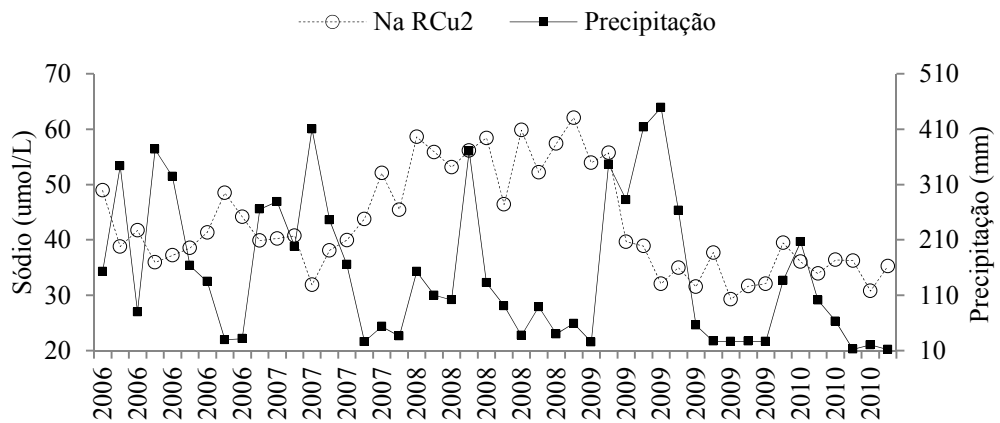


Figura 25: Variação temporal do sódio x Precipitação no ponto RCU2

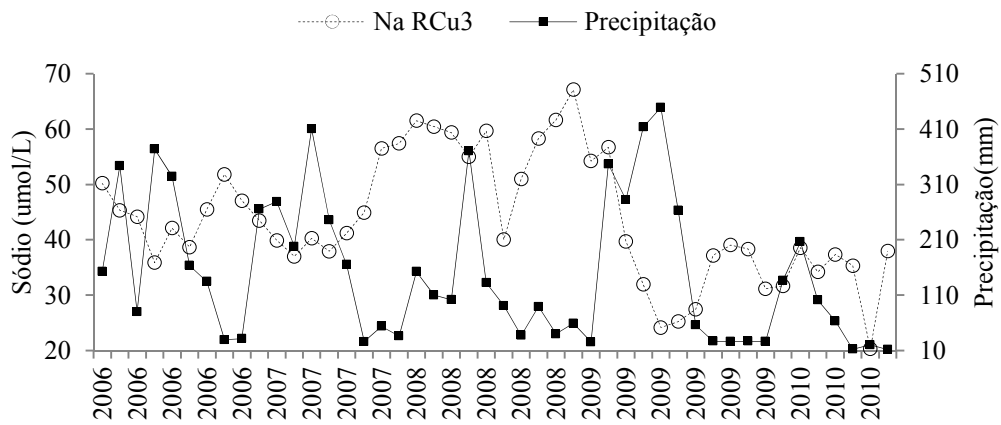


Figura 26: Variação temporal do sódio x Precipitação no ponto RCU1

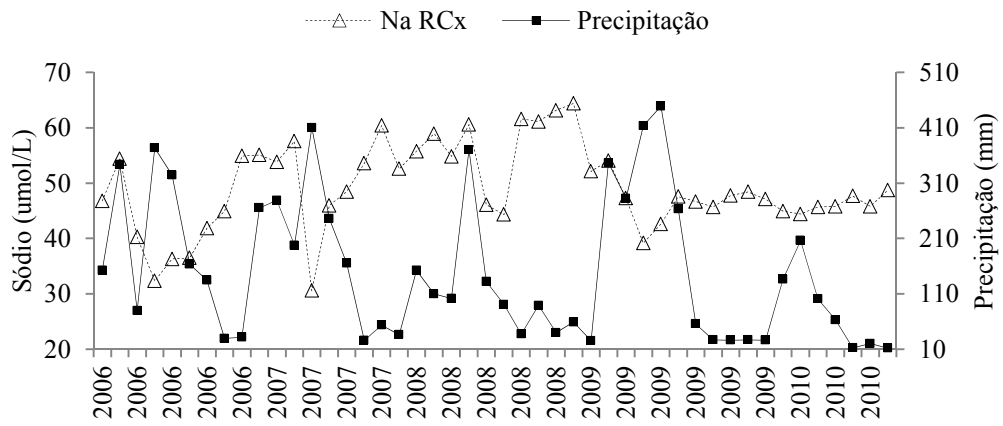


Figura 27: Variação temporal do sódio x Precipitação no ponto RCx

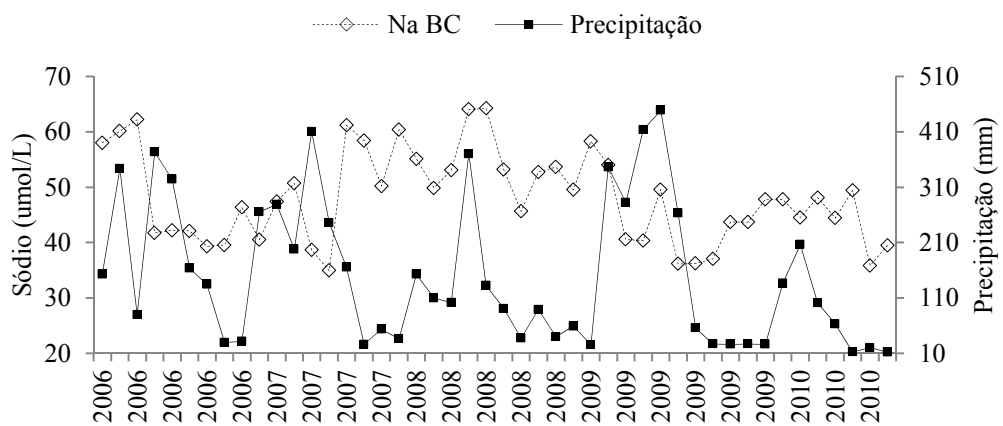


Figura 28: Variação temporal do sódio x Precipitação no ponto RCU1

### 5.1.3 Cálcio

As águas da região de Caxiuanã possuem concentrações médias de cálcio que variaram de 4,74 a 9,41  $\mu\text{mol/L}$  (figuras 29 a 33). O cálcio, em geral, apresentou os maiores valores para o período de menor precipitação pluviométrica na área de estudo durante o tempo observado. Em alguns igarapés de Manaus, Horbe *et al.* (2005) encontraram as maiores concentrações (0,82  $\mu\text{mol/L}$ ) no período chuvoso (maior intensidade pluviométrica), e no presente estudo, as concentrações foram maiores na estiagem, como observado nas figuras abaixo.

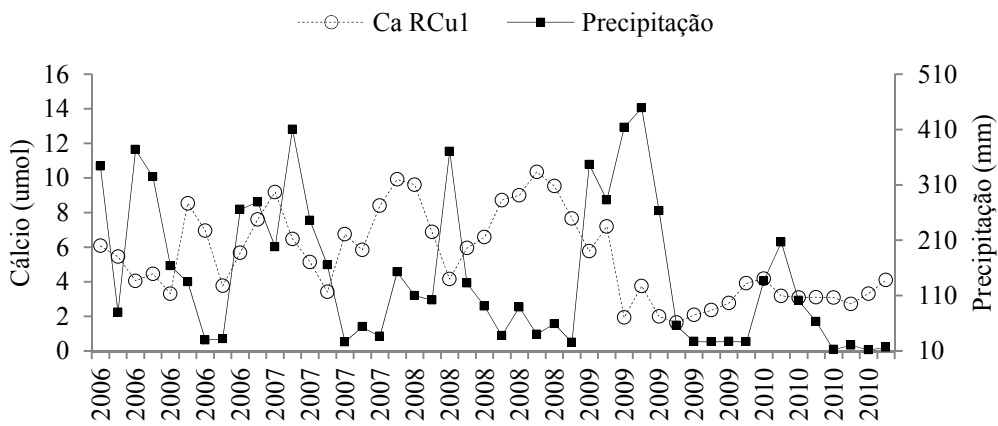


Figura 29: Variação temporal do cálcio x Precipitação no ponto RCu1

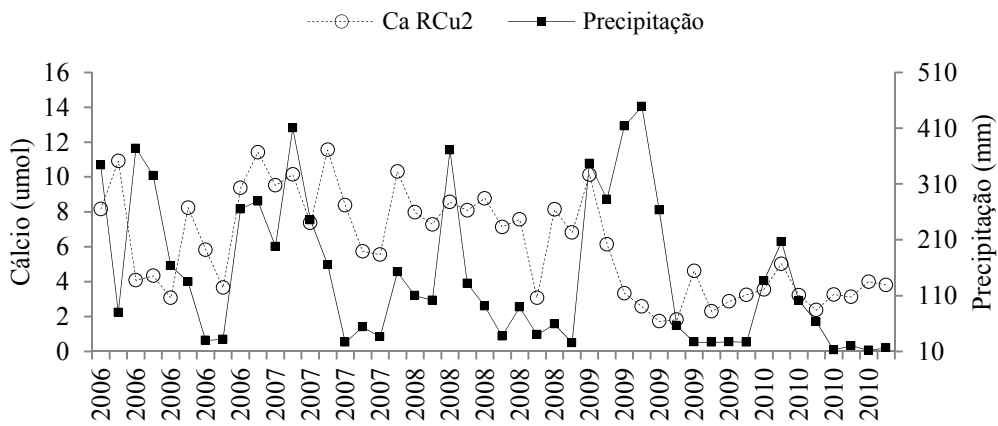


Figura 30: Variação temporal do cálcio x Precipitação no ponto RCu2



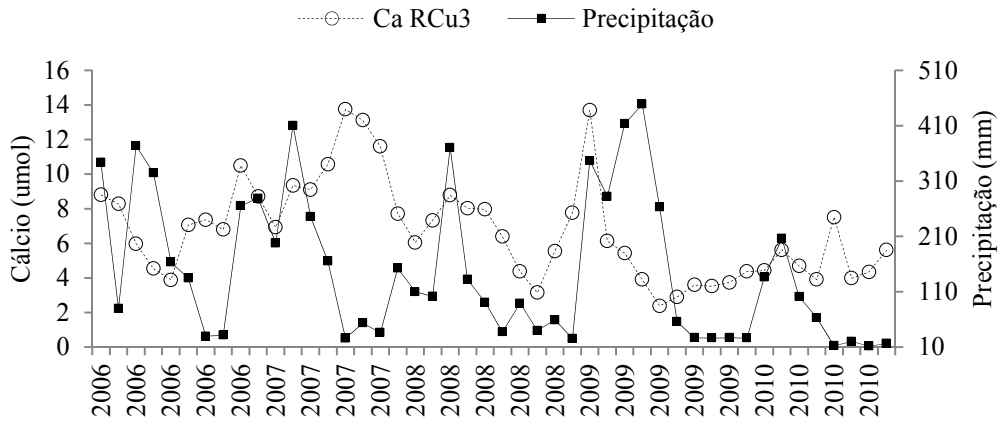


Figura 31: Variação temporal do cálcio x Precipitação no ponto RCu1

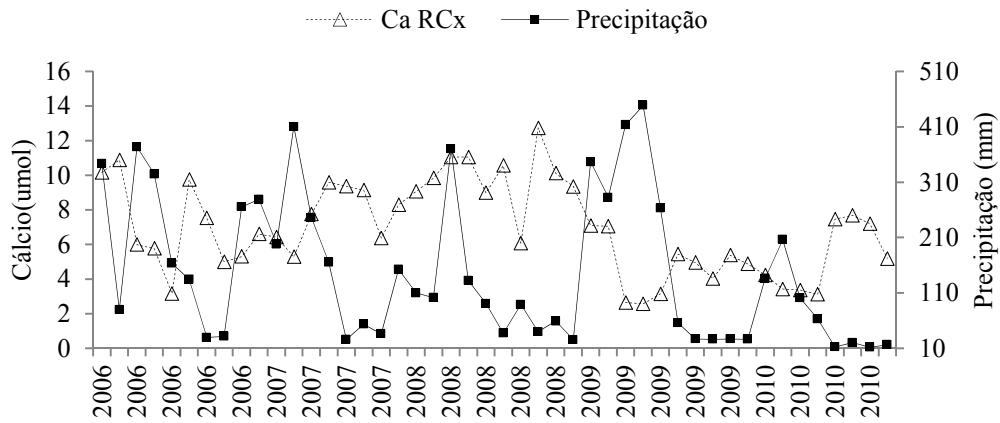


Figura 32: Variação temporal do cálcio x Precipitação no ponto RCx

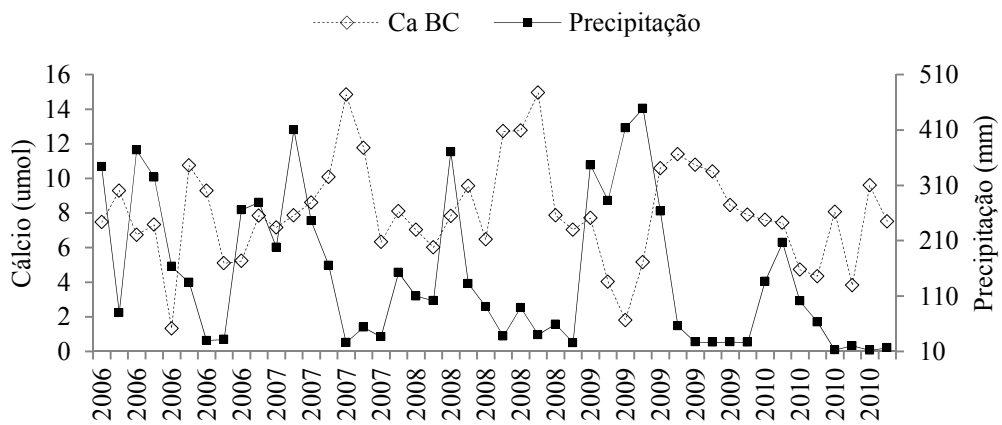


Figura 33: Variação temporal do cálcio x Precipitação no ponto BC

### 5.1.4 Magnésio

As concentrações médias de magnésio variaram de 6,54 a 10,43  $\mu\text{mol/L}$  para ambos os períodos (figuras 34 a 38) com as concentrações mais elevadas para o período de maior índice pluviométrico, exceto para o ponto de coleta localizado na baía, que apresentou valores iguais para ambos os períodos. Horbe *et al.* (2005) também encontraram os maiores valores para este íon no período chuvoso, ao longo de drenagens na região de Manaus.

Os valores do íon magnésio para este trabalho estão dentro da média para as águas superficiais dos rios Amazônicos, pois Horbe *et al.* (2008) encontraram valores de 7  $\mu\text{mol/L}$ . Kucler *et al.* (2000), determinaram concentrações de magnésio no rio Negro de 28.500  $\mu\text{mol/L}$ , no rio Solimões de 3.550 a 22.750  $\mu\text{mol/L}$  e no rio Branco de 27.250  $\mu\text{mol/L}$ . Para os rios estudados por Kucler *et al.* (2000), os valores foram elevados quando comparados a região de Caxiuanã.

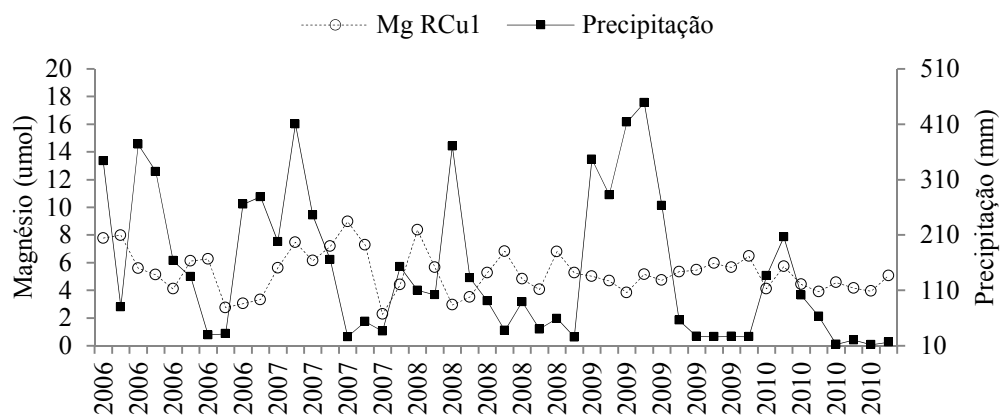


Figura 34: Variação temporal do magnésio x Precipitação no ponto RCu1

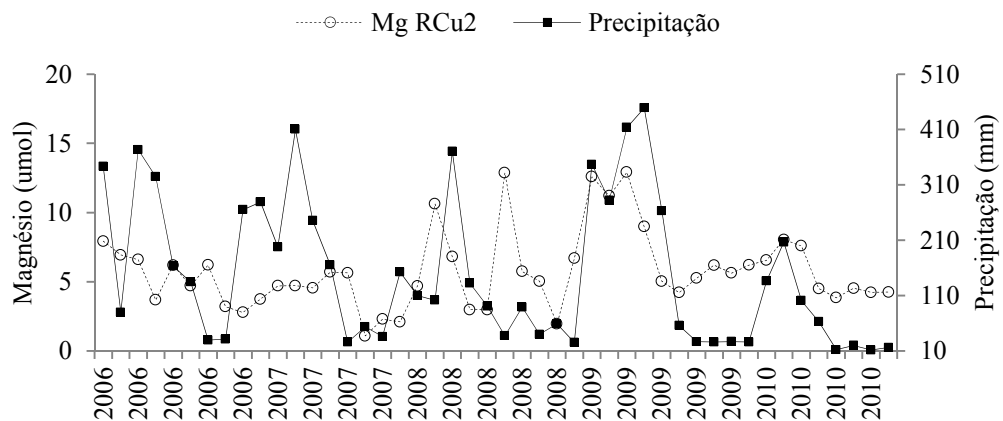


Figura 35: Variação temporal do magnésio x Precipitação no ponto RCu2

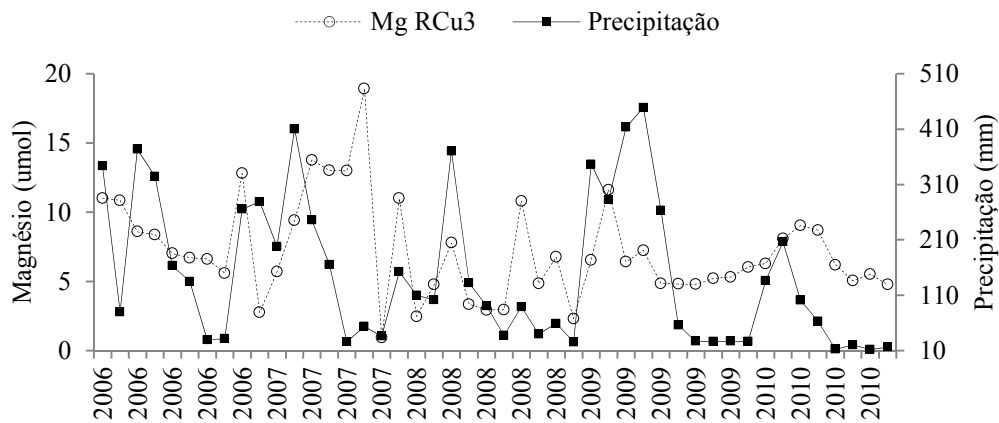


Figura 36: Variação temporal do magnésio x Precipitação no ponto RCu3

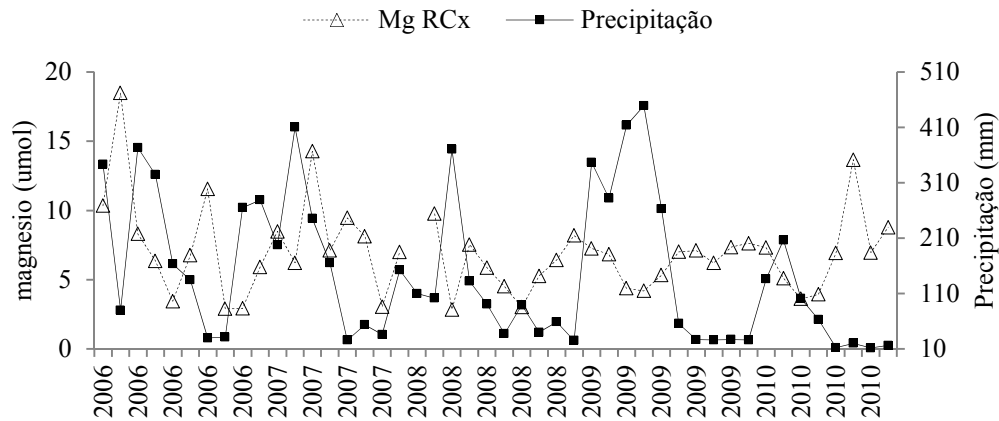


Figura 37: Variação temporal do magnésio x Precipitação no ponto RCx

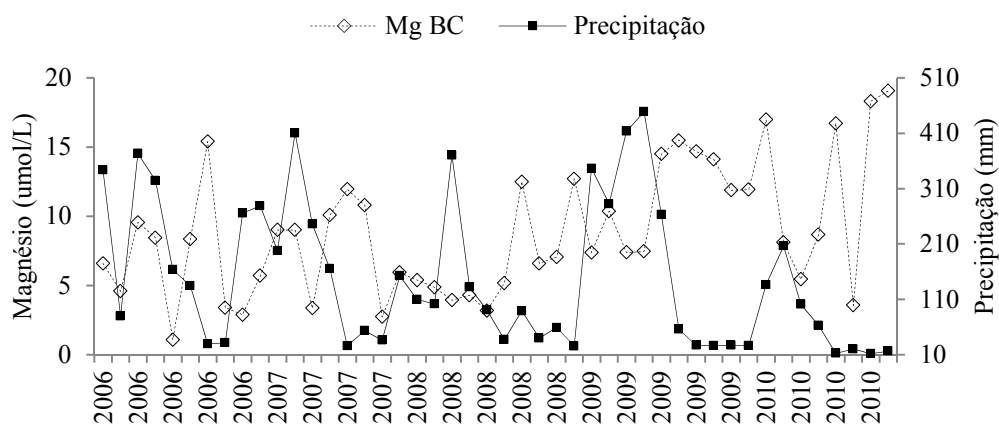


Figura 38: Variação temporal do magnésio x Precipitação no ponto BC

### 5.1.5 Potássio

As concentrações médias de potássio variaram entre 2,45 e 6,71  $\mu\text{mol/L}$  (figura 39 a 43). O potássio, assim como os demais elementos, apresentou relação inversa com a precipitação pluviométrica local. Em estudos desenvolvidos nos igarapés de água preta do

nordeste Amazônico (Horbe *et al.* 2008) encontraram concentrações de  $26,41 \mu\text{mol/L}$  e no rio Negro Kucler *et al.* (2000) e Pinto *et al.* (2009) encontraram valores médios de  $7.673 \mu\text{mol/L}$  e  $11,92 \mu\text{mol/L}$  respectivamente. Para o rio Solimões as concentrações foram de  $14.834$  a  $16.880 \mu\text{mol/L}$  e no rio Branco foi de  $18.415 \mu\text{mol/L}$ . As concentrações para os rios Solimões e Branco foram bem acima dos valores observados neste estudo, esta diferença pode ser justificada, provavelmente pela contribuição antrópica.

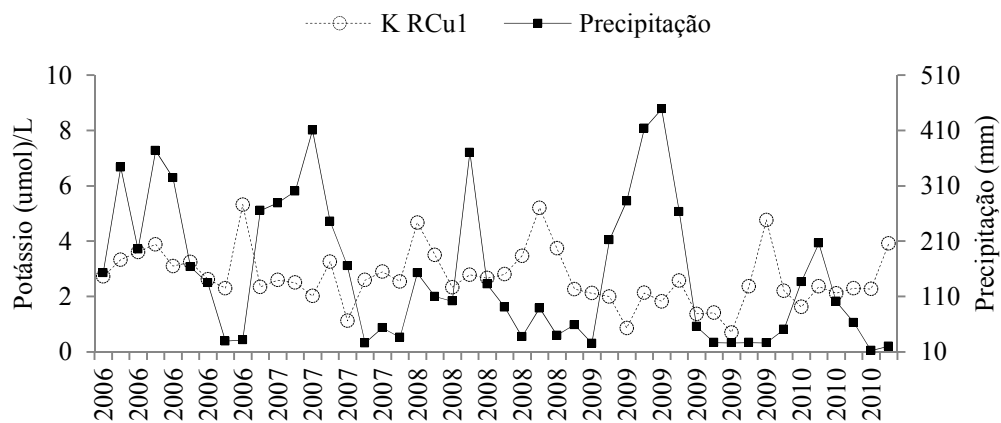


Figura 39: Variação temporal do potássio x Precipitação no ponto RCu1

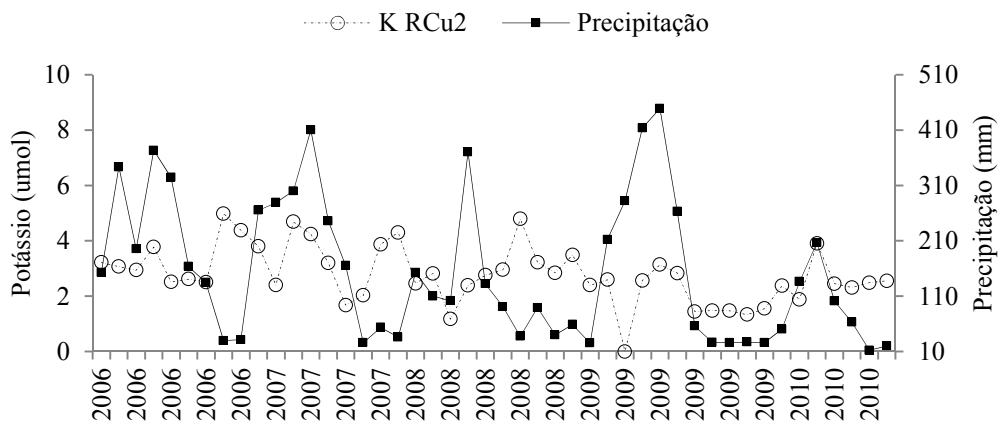


Figura 40: Variação temporal do potássio x Precipitação no ponto RCu2

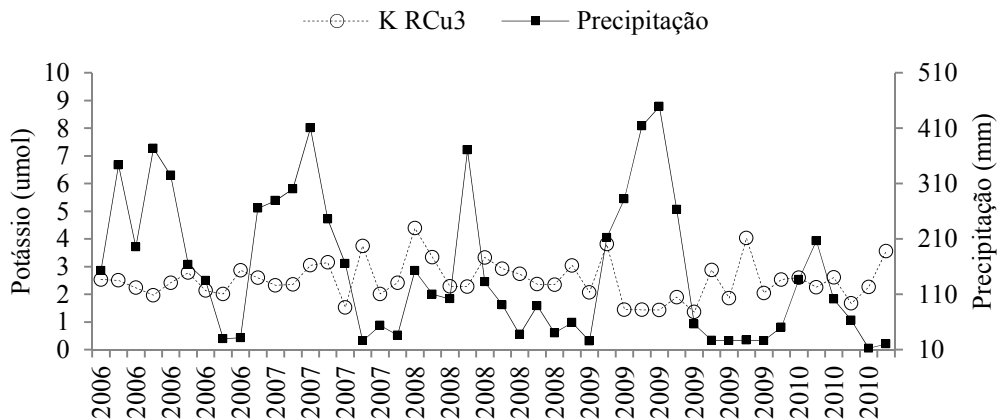


Figura 41: Variação temporal do potássio x Precipitação no ponto RCu3

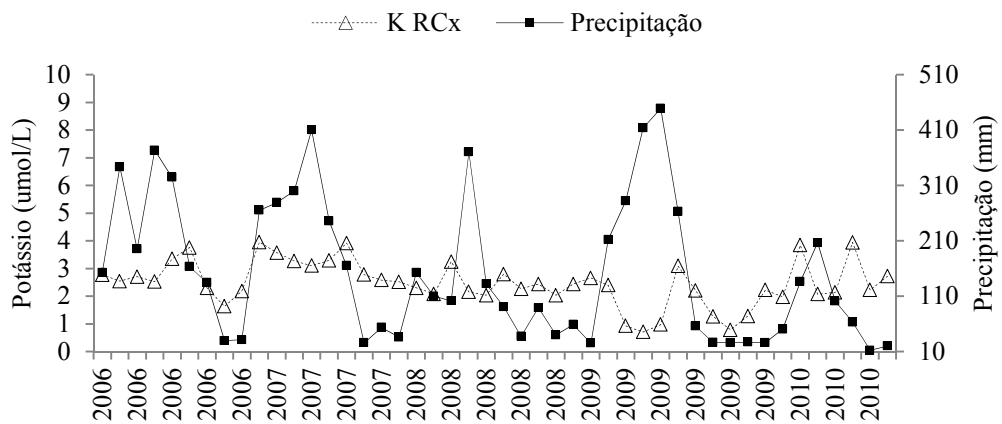


Figura 42: Variação temporal do potássio x Precipitação no ponto RCx

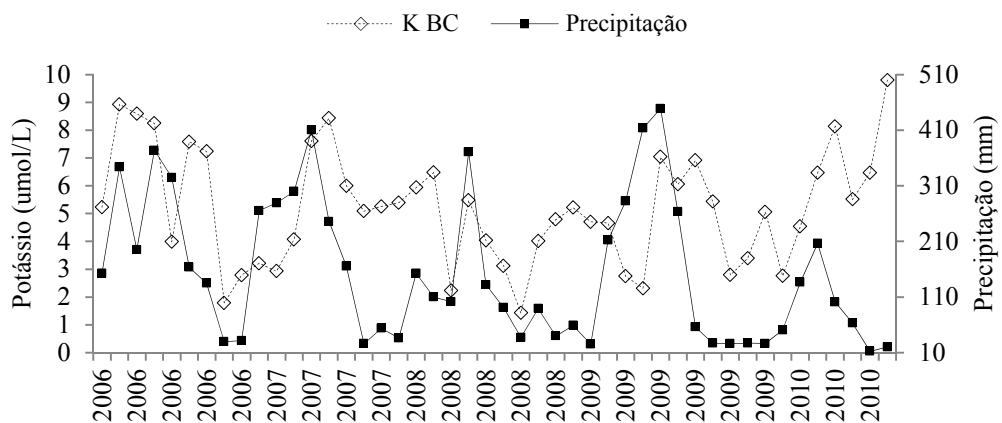


Figura 43: Variação temporal do potássio x Precipitação no ponto BC

### 5.1.6 Cloreto

O  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{HCO}_3^-$  são os principais ânions em solução nas águas da região de Caxiuanã (Figura 44 a 48). A concentração média do cloreto variou de 38,12 a 79,82  $\mu\text{mol/L}$

nos dois períodos estudados. Os valores de cloreto foram maiores durante as amostragens realizadas no período de estiagem. Segundo Gaillard *et al.* (1997) a fonte de cloreto das águas não contaminadas são associadas aos aerossóis marinhos dissolvidos na água da chuva. Para as bacias dos rios Uatumã e Urubu, Horbe *et al.* (2008) também sugerem que o cloreto pode ser proveniente da água da chuva.

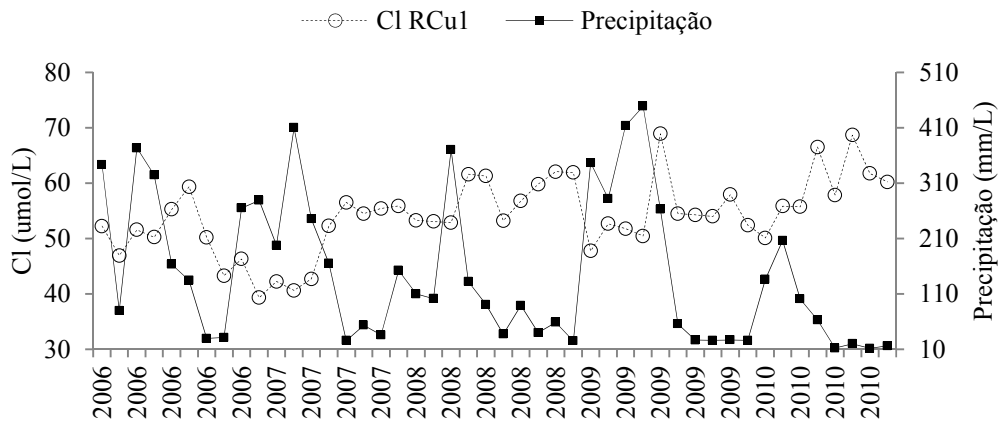


Figura 44: Variação temporal do cloreto x Precipitação no ponto RCu1

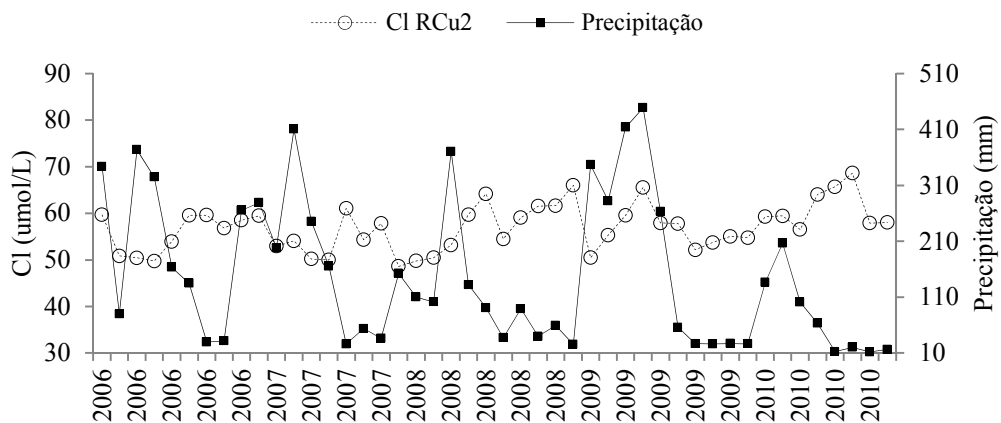


Figura 45: Variação temporal do cloreto x Precipitação no ponto RCu2

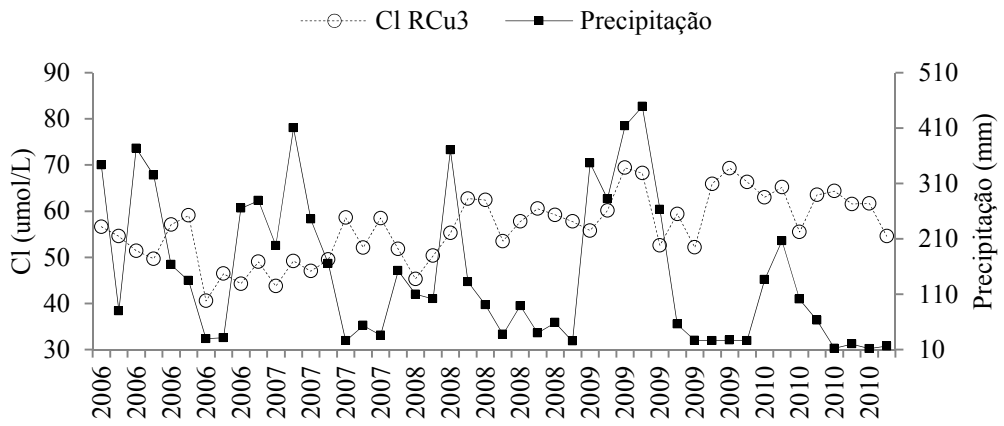


Figura 46: Variação temporal do cloreto x Precipitação no ponto RCu3

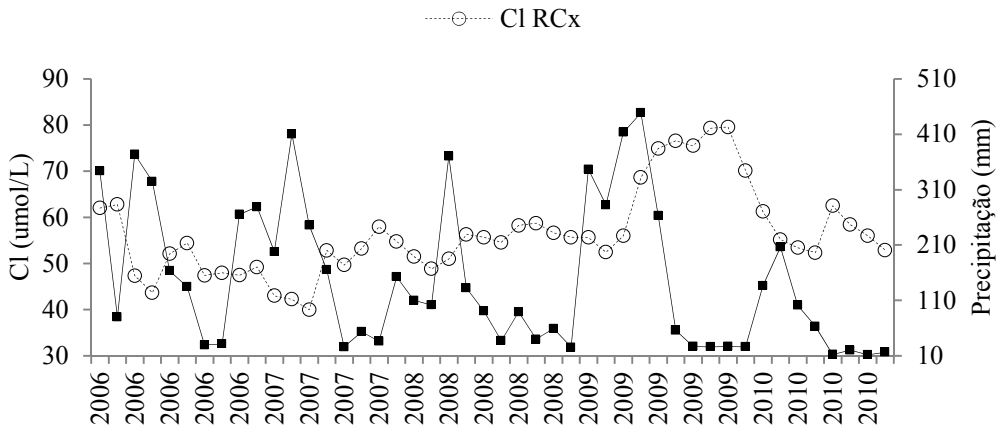


Figura 47: Variação temporal do cloreto x Precipitação no ponto RCx

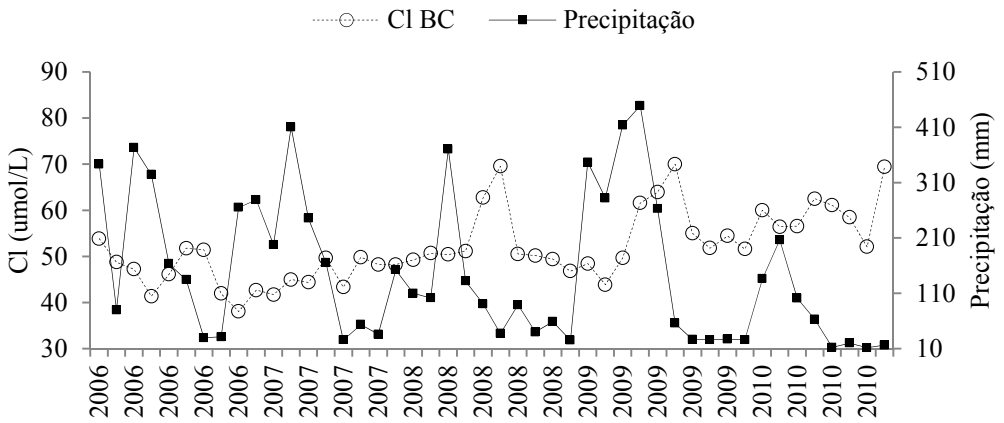


Figura 48: Variação temporal do cloreto x Precipitação no ponto BC

### 5.1.7 Sulfato

As concentrações médias do sulfato para este estudo variaram de 1,6 a 2,65 µmol/L. Em geral, houve uma tendência de comportamento inverso com a precipitação pluviométrica, conforme evidenciado nas figuras 49 a 53. Os valores de sulfato na região de Caxiuana foram maiores nos pontos de amostragem para o período de estiagem. O ponto da baía apresentou as concentrações mais elevadas entre os ambientes estudados. Para o rio Madeira Horbe *et al.* (2013) encontraram concentrações maiores para o período de estiagem (70,62 µmol/L) que para o chuvoso (43,75 µmol/L), entretanto, para os seus principais tributários as concentrações foram de 2,60 para a estiagem de 20,94 para o chuvoso. Analisando o comportamento iônico sulfato para o estudo de Horbe apenas o rio Madeira teve o mesmo comportamento ao comparar a este estudo, pois os valores foram maiores para o período chuvoso.

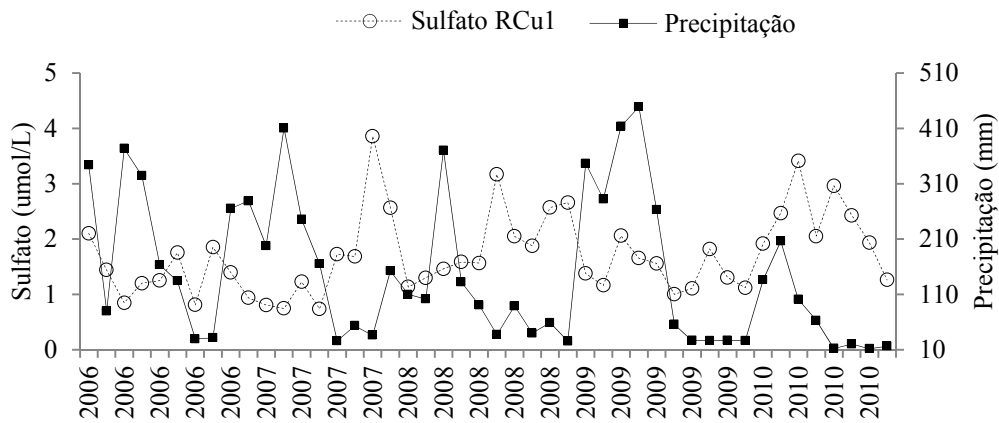


Figura 49: Variação temporal do sulfato x Precipitação no ponto RCu1

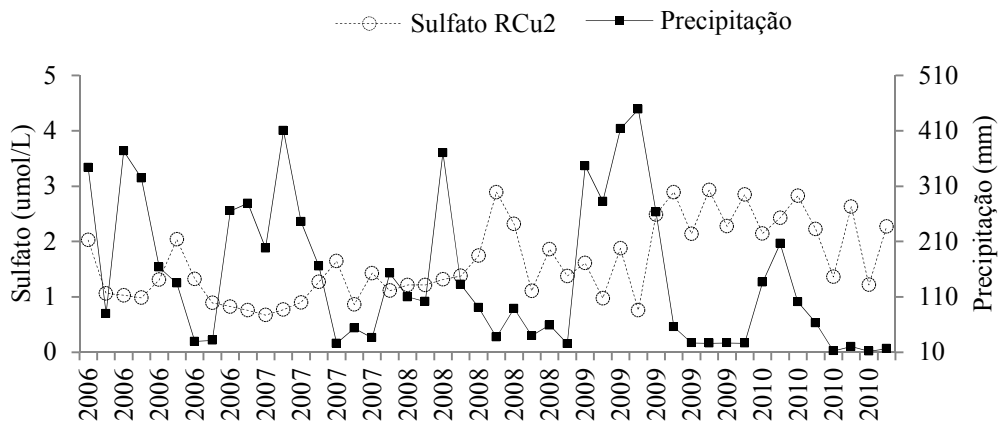


Figura 50: Variação temporal do sulfato x Precipitação no ponto RCu2



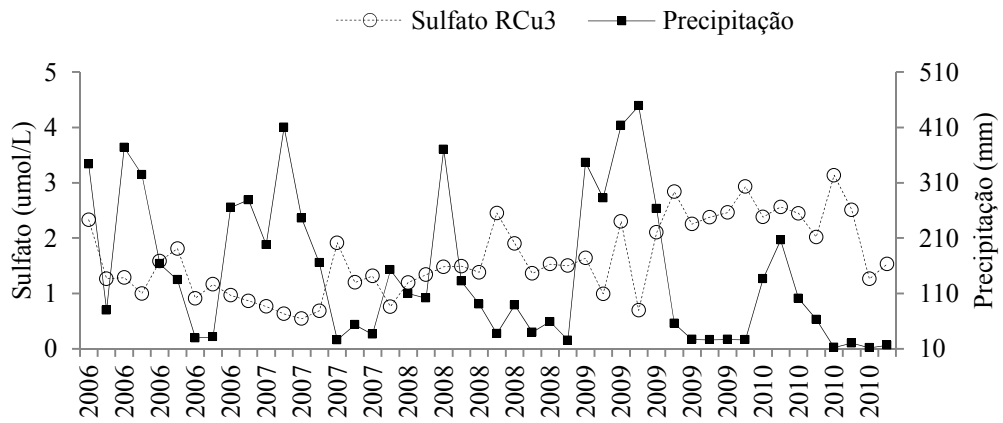


Figura 51: Variação temporal do sulfato x Precipitação no ponto RCu3

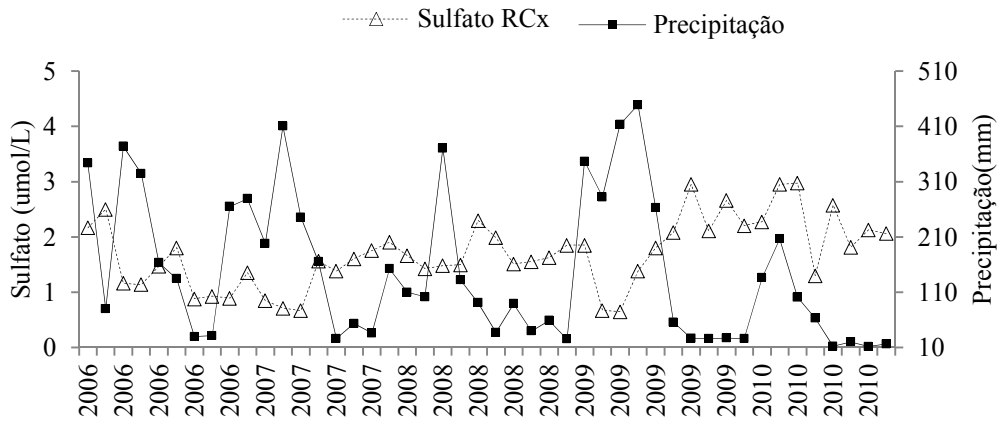


Figura 52: Variação temporal do sulfato x Precipitação no ponto RCx

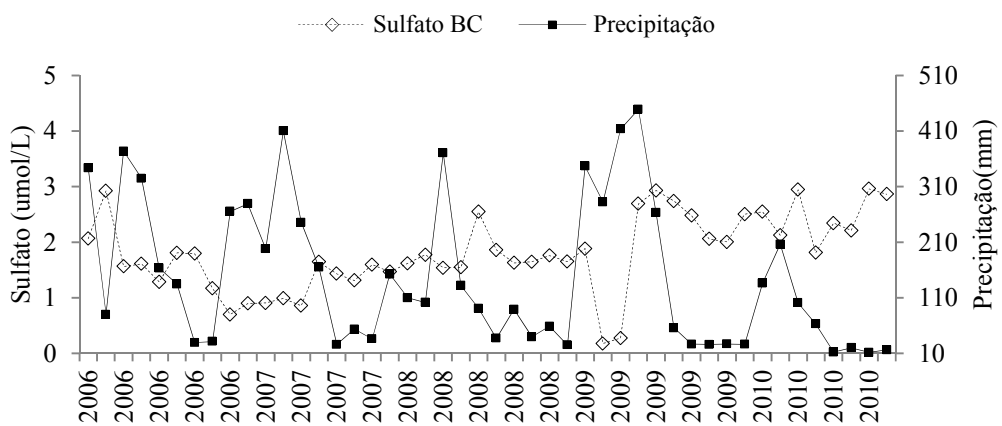


Figura 53: Variação temporal do sulfato x Precipitação no ponto BC

### 5.1.8 Nitrato

A concentração média do nitrato nos corpos hídricos estudados variou entre 1,94 a 2,19  $\mu\text{mol/L}$ . Os valores de nitrato nas águas da região de Caxiuanã foram maiores nos pontos de amostragem realizados no período de chuvoso (figuras 54 a 58). Estes valores são próximos aos encontrados por Horbe *et al.* (2005) em drenagens no Município de Manaus – Amazonas, que foram de 0,64 a 1,29  $\mu\text{mol/L}$ .

Em Caxiuanã, os valores de nitrato podem estar relacionados com a entrada de compostos orgânicos, visto que o  $\text{NO}_3^-$  pode ser gerado a partir da decomposição da matéria orgânica. A matéria orgânica presente no solo é rapidamente quebrada em compostos simples por bactérias saprófitas e vários tipos de fungos. O nitrogênio, por sua vez, é incorporado em aminoácidos e proteínas utilizados por esses microrganismos, sendo o excesso liberado sob a forma de íons amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) ou amônia ( $\text{NH}_3$ ), caracterizando o processo denominado de amonificação. O amônio não adsorvido é convertido a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e, posteriormente, oxidado a nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), denotando o processo conhecido por nitrificação (Hounslow 1995 citado por Barbosa 2005).

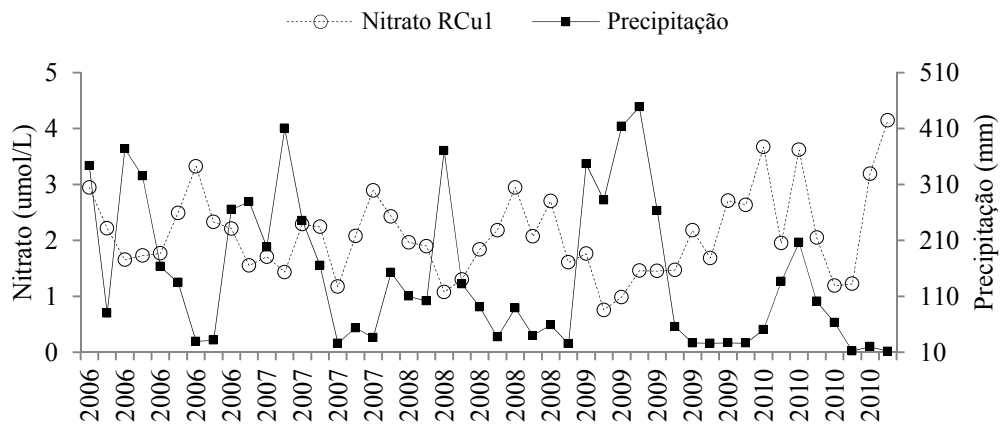


Figura 54: Variação temporal do nitrato x Precipitação no ponto RCu1

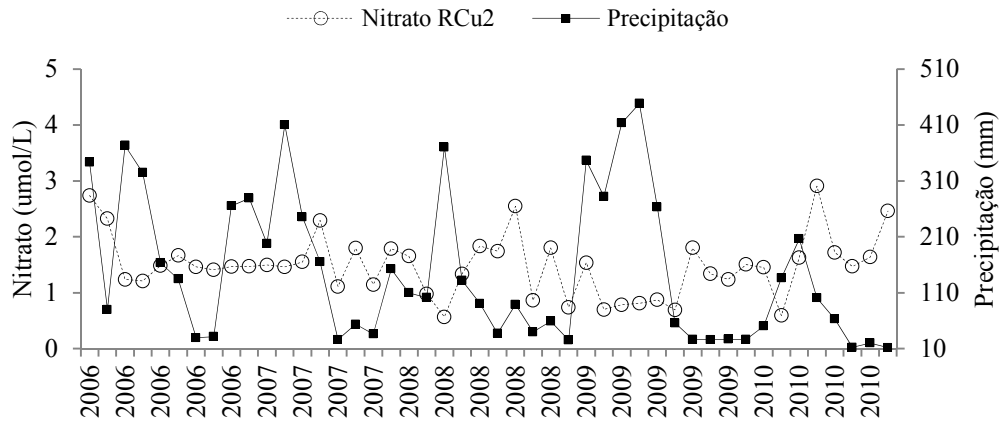


Figura 55: Variação temporal do nitrato x Precipitação no ponto RCu2

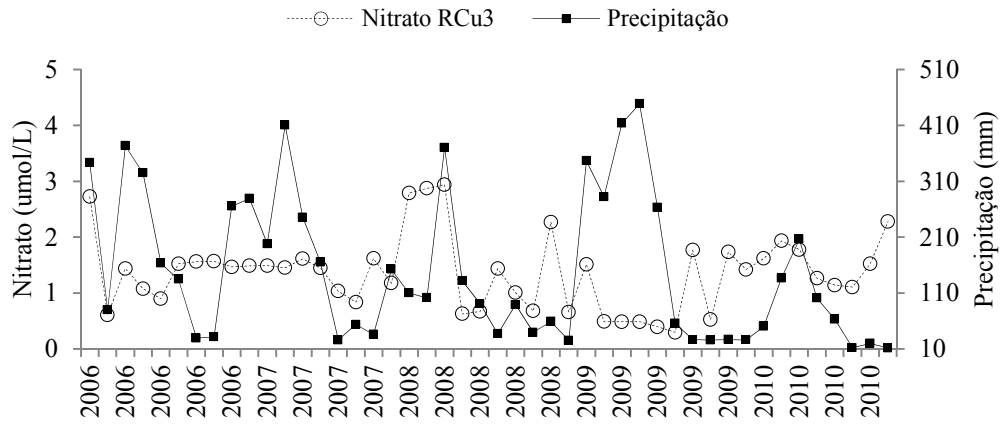


Figura 56: Variação temporal do nitrato x Precipitação no ponto RCu3

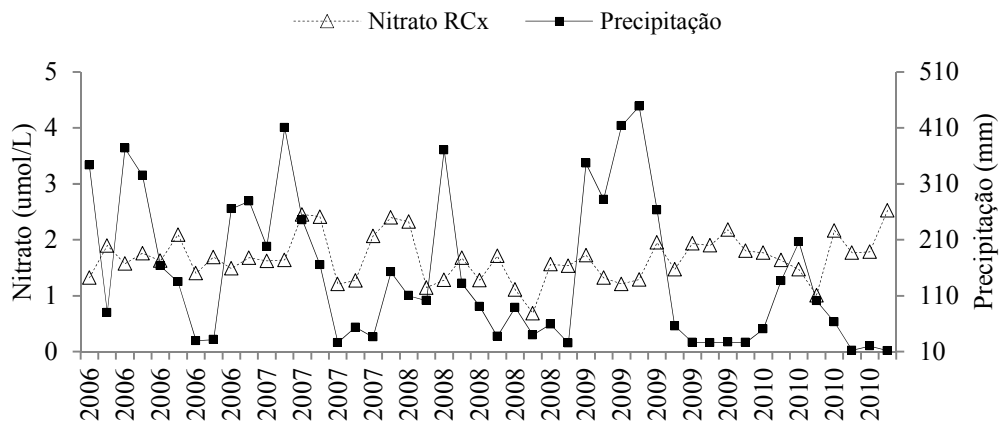


Figura 57: Variação temporal do nitrato x Precipitação no ponto RCu1

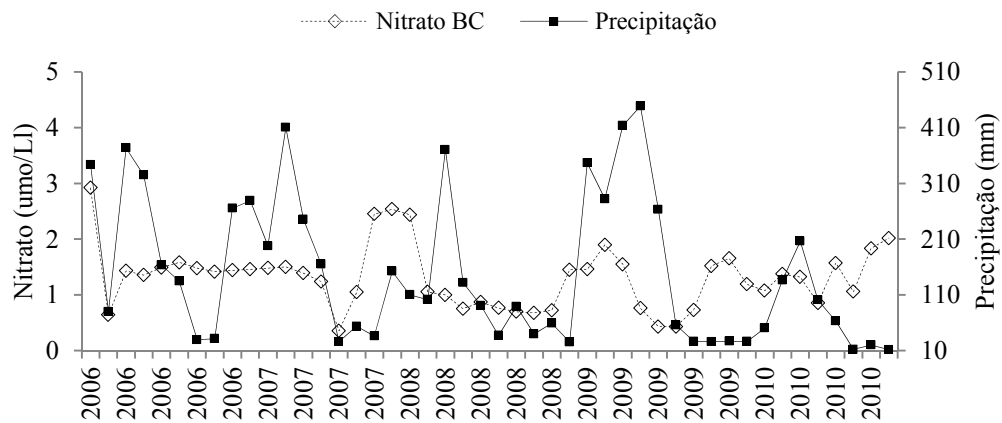


Figura 58: Variação temporal do nitrato x Precipitação no ponto BC

### 5.1.9 Silício

As concentrações variaram de 0,2 a 3,5  $\mu\text{mol/L}$ . Como é possível observar nas figuras 59 a 63, as concentrações de silício mostraram os valores maiores nos pontos estudados para as amostras coletadas no período da estiagem. Horbe *et al.* (2005) estudando alguns afluentes do rio Amazonas, em Manaus, encontraram os maiores valores (2.290  $\mu\text{mol/L}$ ) para este íon no período citado acima. Bittencourt (1980) e Miller & Drever (1977) também encontraram os menores valores no período chuvoso.

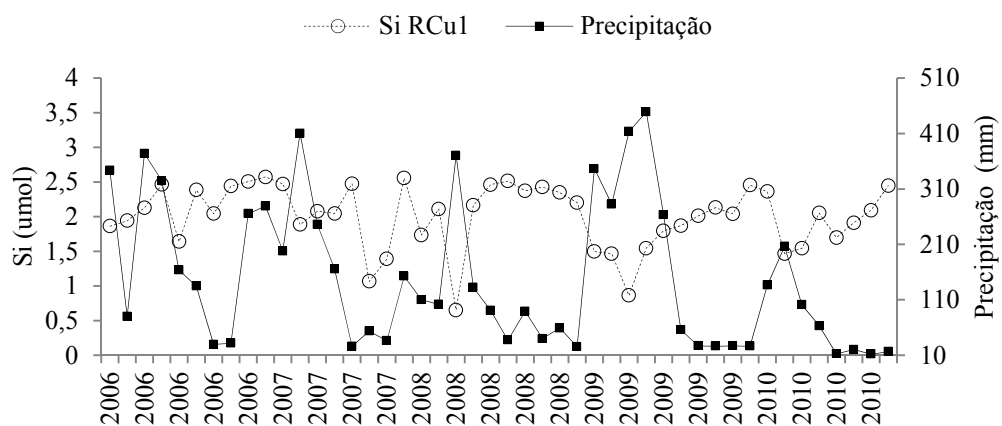


Figura 59: Variação temporal do silício x Precipitação no ponto RCu1

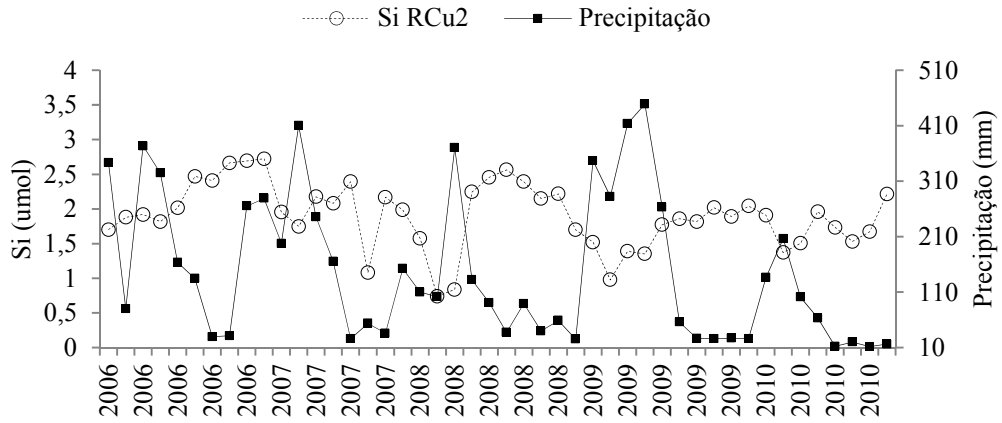


Figura 60: Variação temporal do silício x Precipitação no ponto RCu2

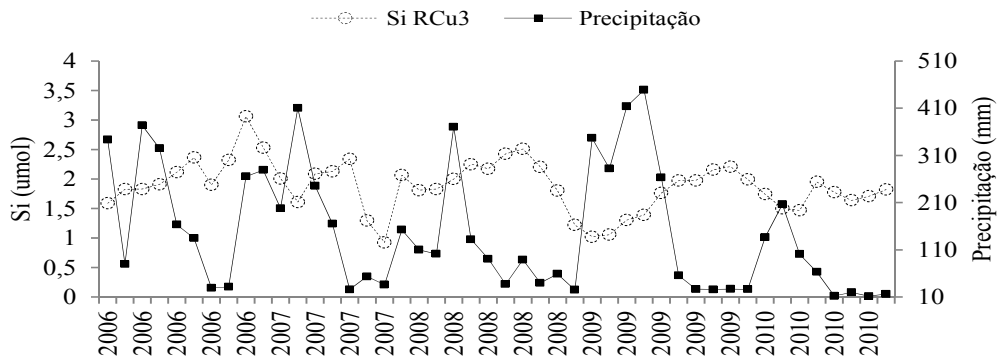


Figura 61: Variação temporal do silício x Precipitação no ponto RCu3

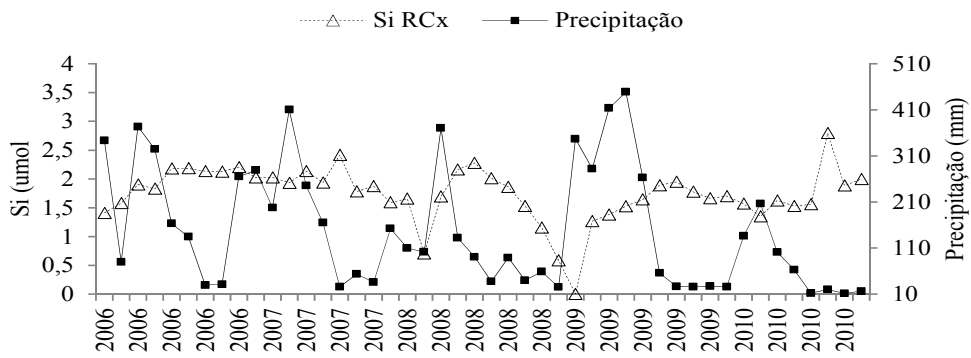


Figura 62: Variação temporal do silício x Precipitação no ponto RCx



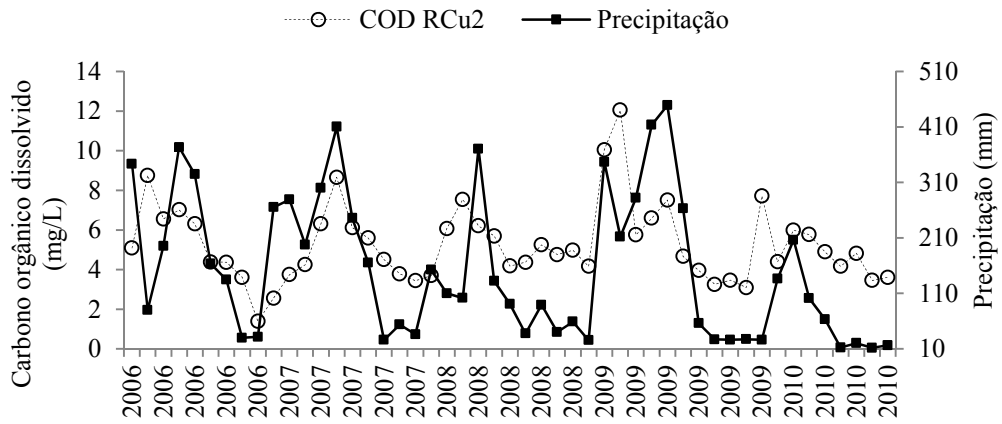


Figura 65: Variação temporal do COD x Precipitação no ponto RCu2

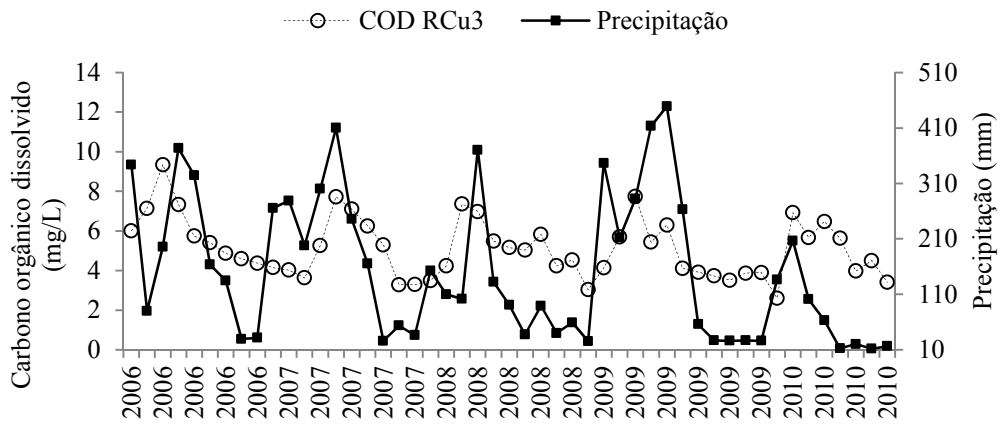


Figura 66 Variação temporal do COD x Precipitação no ponto RCu3

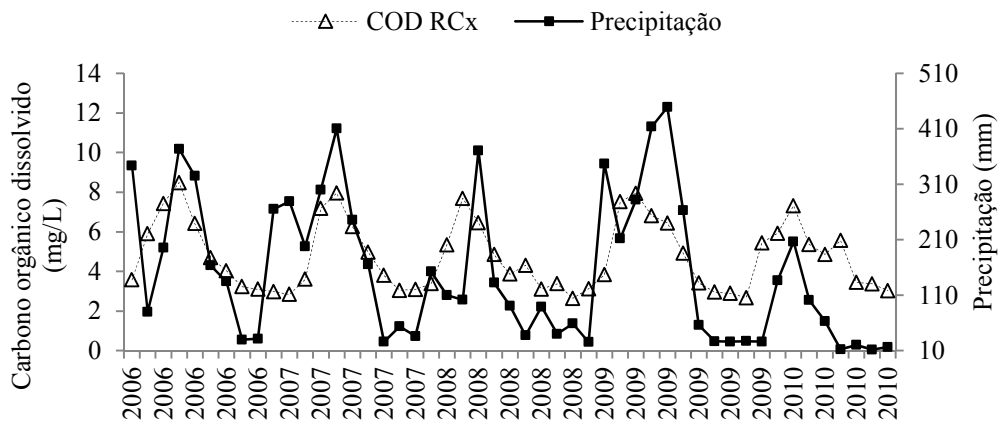


Figura 67: Variação temporal do COD x Precipitação no ponto RCx

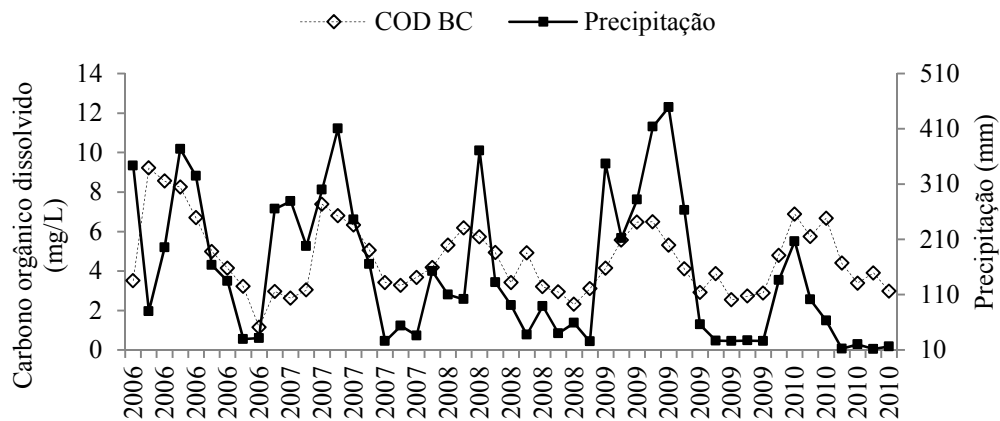


Figura 68: Variação temporal do COD x Precipitação no ponto BC

### 5.1.11 Metano (CH<sub>4</sub>)

A variação do metano nos pontos de coleta é representada nas figuras 69 a 73. As concentrações para este parâmetro variaram de 2,2 a 608 mg/L, as maiores concentrações foram observadas nos pontos RCU1 e RCU2 do rio Curuá no período de estiagem. Isto possivelmente está relacionado ao acúmulo de material orgânico que adentra no sistema e se deposita no leito do mesmo, enriquecendo-o em sedimento rico em matéria orgânica (Melo 2011). Nos pontos estudados foram observadas concentrações mais elevadas nos período chuvoso ( $868,9 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ) do que nos períodos estiagens ( $436,8 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ). No trabalho desenvolvido em áreas alagadas no norte Fluminense, Chagas (2010) obteve concentrações de metano significativamente maiores no período seco variando de  $5,6 \pm 2,5 \text{ mol.L}^{-1}$ , no período chuvoso esta variação foi de  $1,5 \pm 0,6 \mu\text{mol.L}^{-1}$ , comportamento semelhante ao observado na região de Caxiuanã.

Em relação aos corpos aquáticos, Chagas (2010), afirma que o metano é um dos gases do efeito estufa formado no processo de decomposição da matéria orgânica *in situ* (autóctone) ou transportada para a bacia de drenagem (alóctone). Estudos sobre a concentração dos gases CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> nos recursos hídricos são realizados devido ao fato de que estes ambientes podem contribuir de forma significativa para o aquecimento global (Khalil & Shearer 1993)



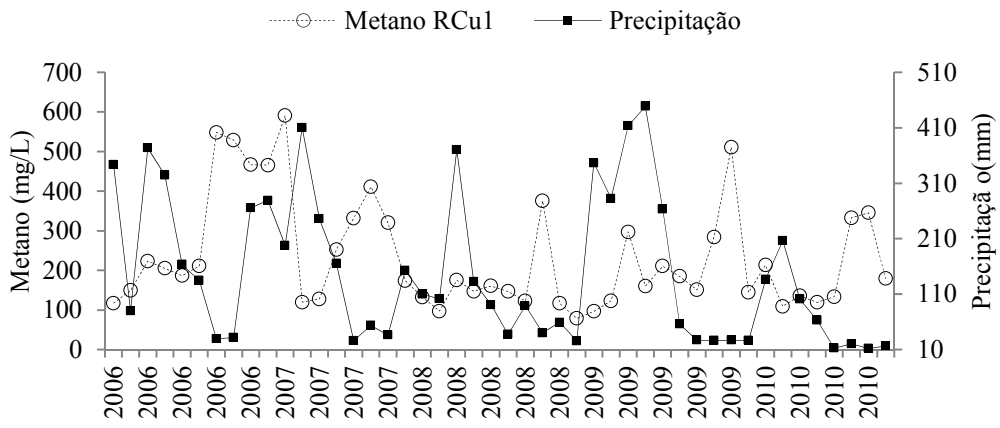


Figura 69: Variação temporal do metano x Precipitação no ponto RCu1

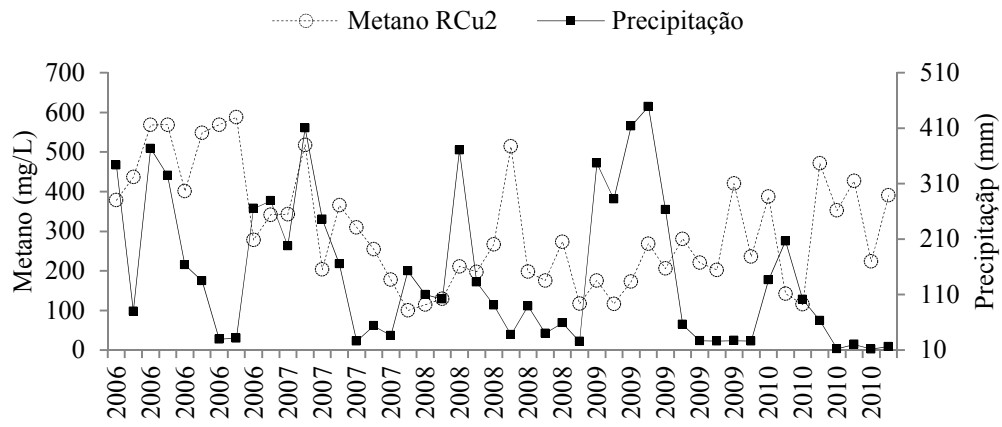


Figura 70: Variação temporal do metano x Precipitação no ponto RCu2

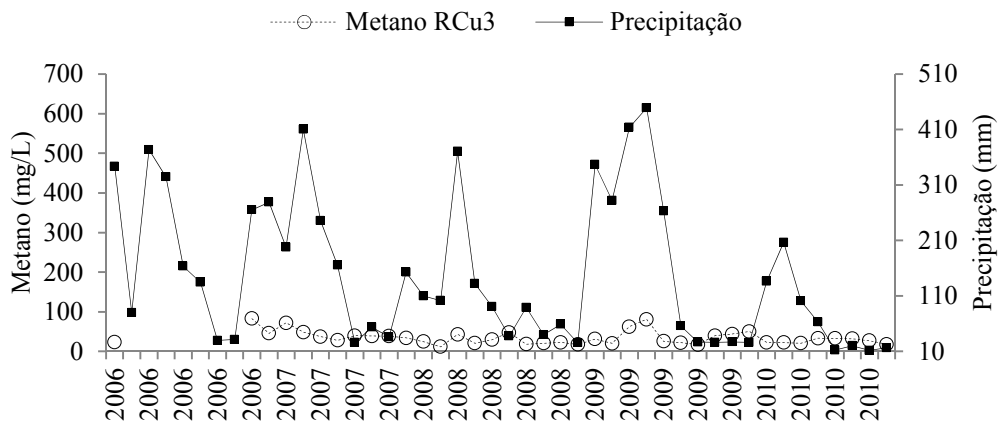


Figura 71: Variação temporal do metano x Precipitação no ponto RC3

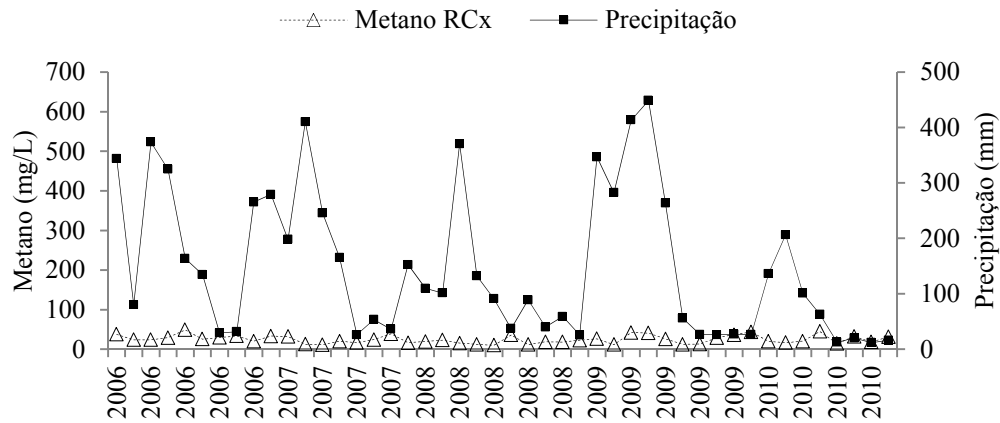


Figura 72: Variação temporal do metano x Precipitação no ponto RCx

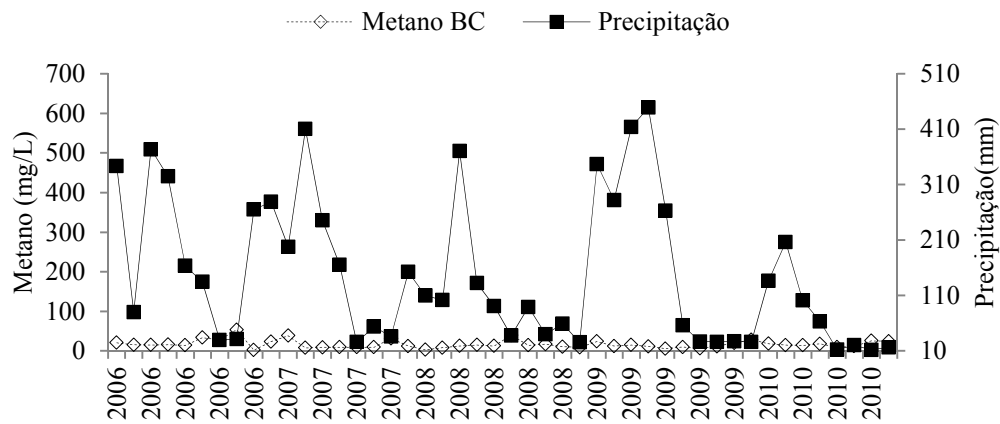


Figura 73: Variação temporal do metano x Precipitação no ponto BC

### 5.1.12 Dinâmica das variáveis CID ( $\text{HCO}_3^-$ , $\text{CO}_2$ livre), taxa de respiração, OD, pH

Em relação ao carbono inorgânico dissolvido (CID), não foi observada uma correlação entre CID e o índice de precipitação pluviométrica local (figuras 74 a 78). Os maiores valores para este parâmetro foram encontrados no rio Curuá, pontos RCU-01 e RCU-03, onde a concentração de CID alcançou valores máximo de 137,16 mg/L e mínimo de 4,30 mg/L. No rio Caxiuanã e na baía os valores máximos encontrados foram de 74,34 e 95,54 mg/L e, os valores mínimos 4,76 e 5,04 mg/L respectivamente.

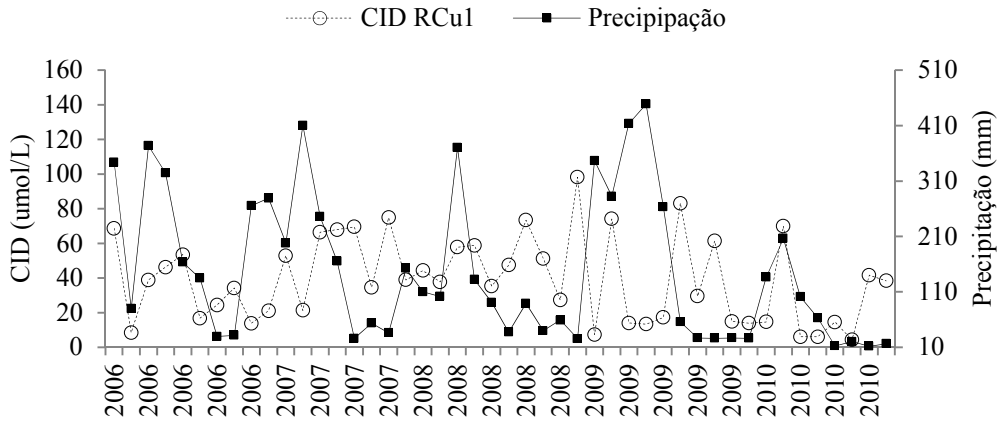


Figura 74: Variação temporal do CID x Precipitação no ponto RCu1

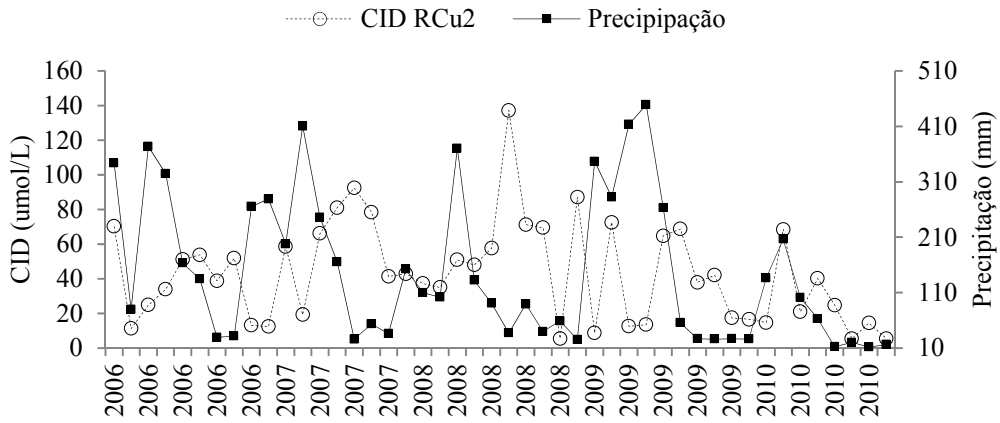


Figura 75: Variação temporal do CID x Precipitação no ponto RCu2

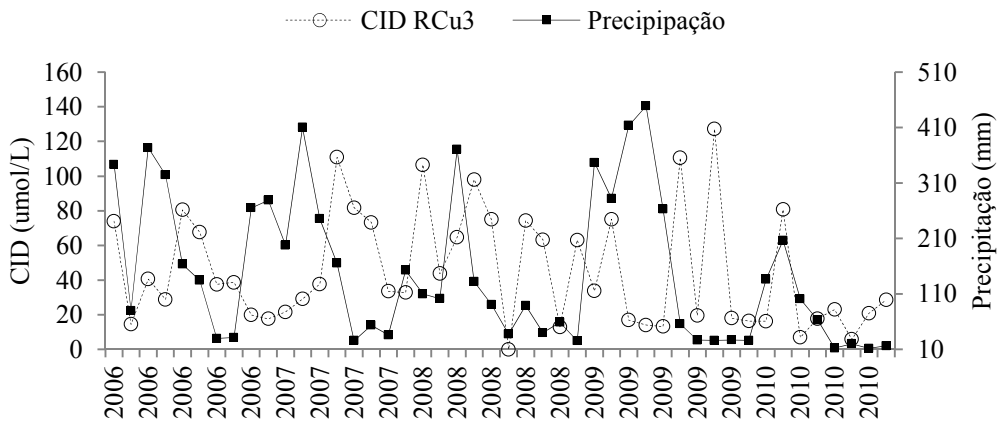


Figura 76: Variação temporal do CID x Precipitação no ponto RCu3

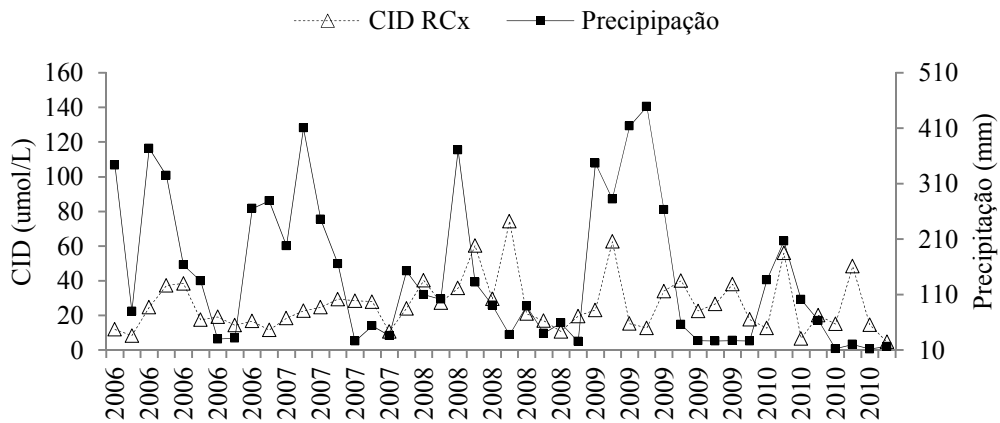


Figura 77: Variação temporal do CID x Precipitação no ponto RCx

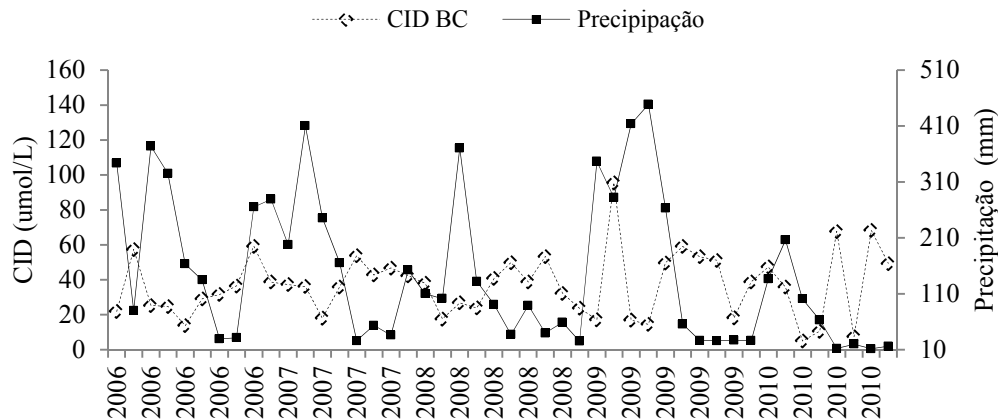


Figura 78: Variação temporal do CID x Precipitação no ponto BC

As figuras demonstram a dependência que há entre CO<sub>2</sub> livre, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> e pH, indicando que as concentrações de CO<sub>2</sub> livre e HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> são inversamente proporcionais e, ambas variam conforme o pH. Nos rios Curuá e Caxiuanã, onde os valores de pH são mais baixos (3,39 a 4,97), foram encontradas as maiores concentrações de CO<sub>2</sub> livre (4,31 a 96 μmol/L) e menores de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (0,006 a 1,98 μmol/L), pelos fatores comentados anteriormente, um desempenho diferenciado foi observado na baía de Caxiuanã, onde o pH apresenta valores que tendem de ácido a neutro, a concentração de CO<sub>2</sub> livre foi de (0,57 a 51,17 μmol/L), enquanto que o HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (0,21 a 2,17 μmol/L) (figura 79, 80, 82, 84, 86 e 88). Em alguns afluentes do rio Acre, Sousa (2007) encontrou valores distintos para o CO<sub>2</sub> livre entre os períodos chuvoso (152,78 - 221,84 μmol/L) e estiagem (88,28 - 142,53 μmol/L). O CO<sub>2</sub> livre e o bicarbonato não apresentaram uma boa relação com a precipitação.

Para a taxa respiratória (Figura 81, 83, 85, 87 e 89) os valores foram de 0,08 a 3,00  $\mu\text{mol O}_2\text{L}^{-1}\text{h}^{-1}$  no rio Curuá, Caxiuanã e baía. Os maiores valores (3  $\mu\text{mol O}_2\text{L}^{-1}\text{h}^{-1}$ ) foram observados na BC e os menores para o rio Curuá no ponto RCU03 (0,08  $\mu\text{mol}/\text{LO}_2\text{ h}$ ).

Ao relacionar a taxa respiratória, OD, pH,  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{CO}_2$  livre (Figuras 80 a 89), observa-se que a baía de Caxiuanã por ter o pH ácido apresentou as maiores concentrações de OD, taxa respiratória e  $\text{HCO}_3^-$  e o rio Curuá Caxiuanã menores. Enquanto que o  $\text{CO}_2$  livre foi mais elevado nos rios Curuá e Caxiuanã por ter o pH bastante ácido. Os concentrações da taxa respiratória deste estudo foi semelhante a encontrada por Ellis *et al* (2012).

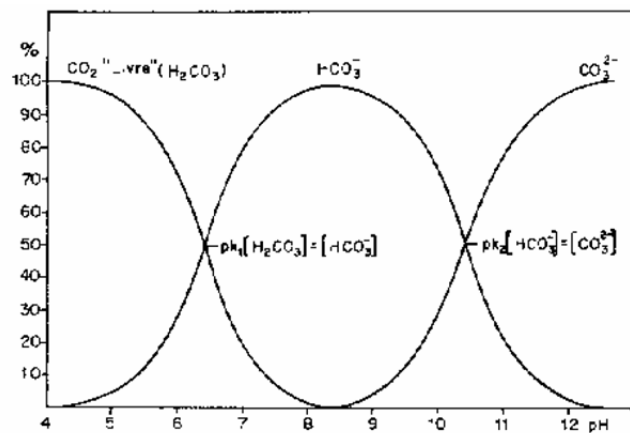


Figura 79: Relação entre pH e porcentagem de  $\text{CO}_2$  "livre",  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{CO}_3^{2-}$ . Modificado de Golterman *et al.* 1978.

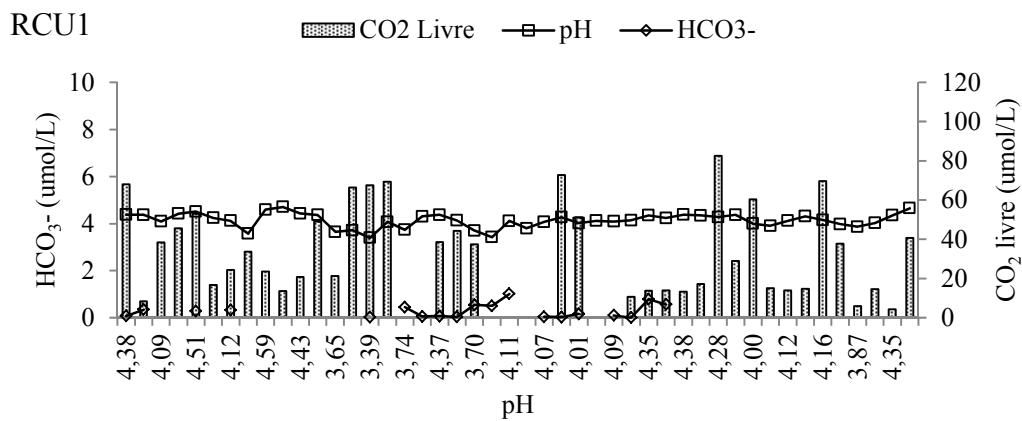


Figura 80: Variação temporal do  $\text{CO}_2$  "livre",  $\text{HCO}_3^-$  e pH no ponto RCU1

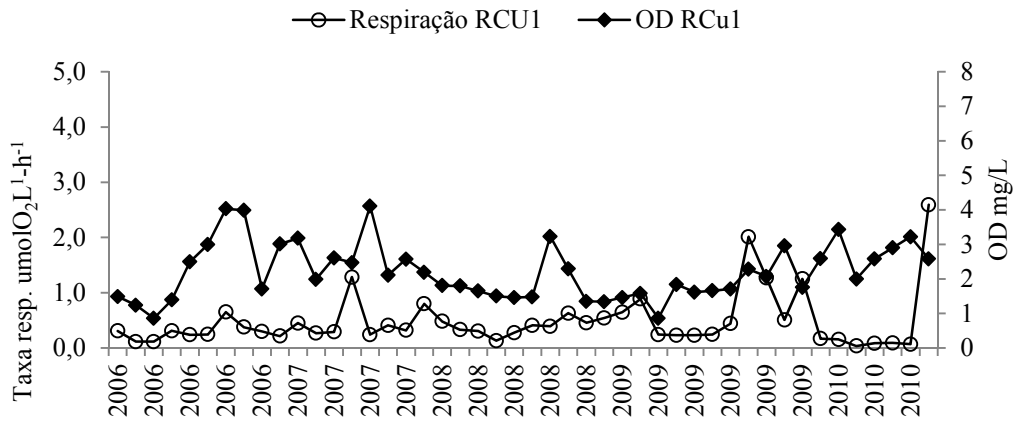


Figura 81: Variação temporal da taxa de resp. x pH no ponto RCU1

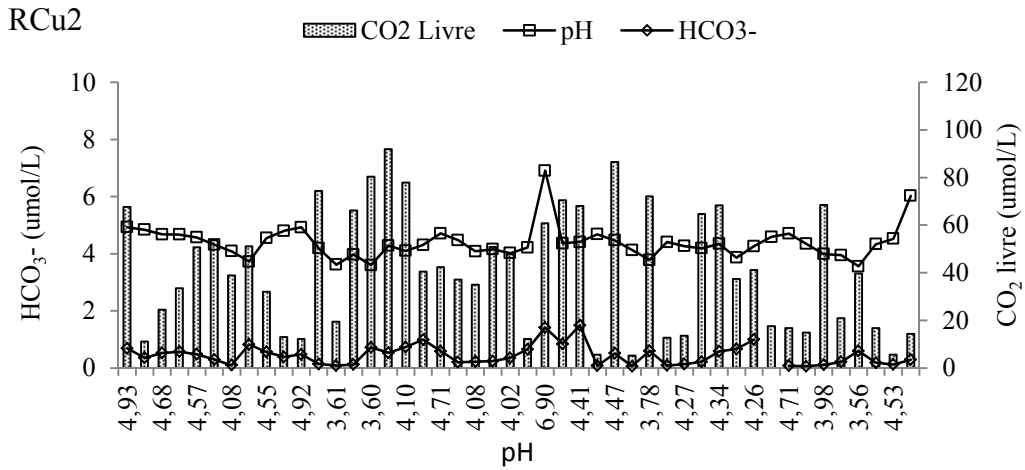


Figura 82: Variação temporal do CO<sub>2</sub> “livre”, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> e pH no ponto RCu2

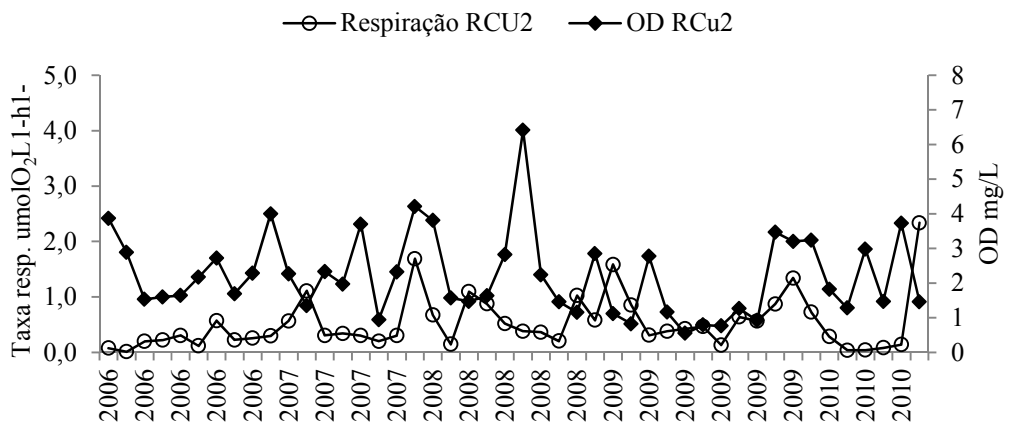


Figura 83: Variação temporal da taxa de resp. x pH no ponto RCu2

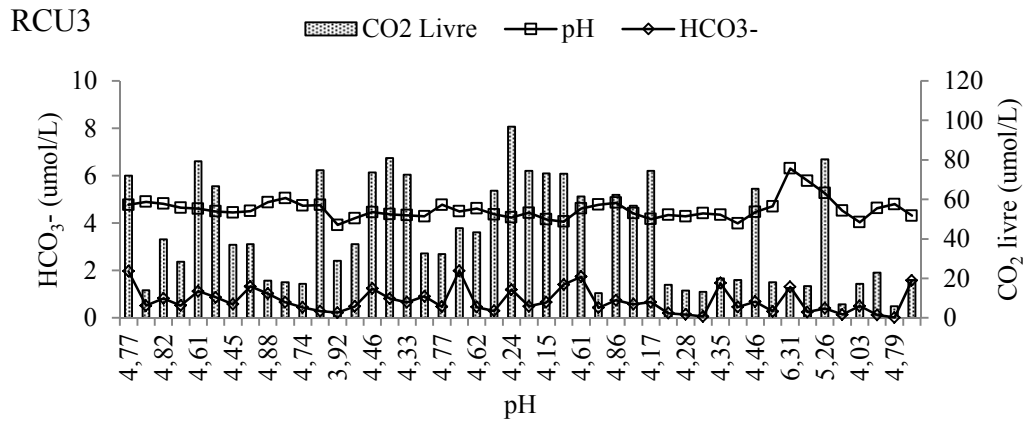


Figura 84: Variação temporal do CO<sub>2</sub> "livre", HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> e pH no ponto RCU3

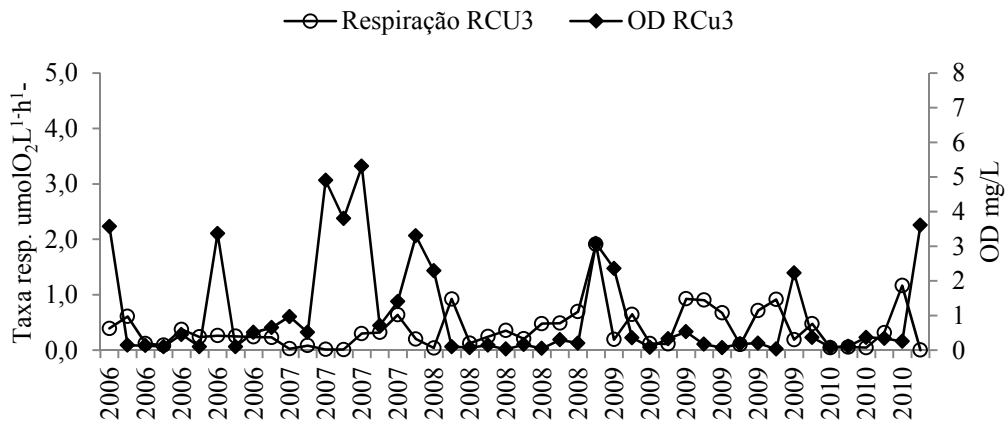


Figura 85: Variação temporal da taxa de resp. x pH no ponto RCU3

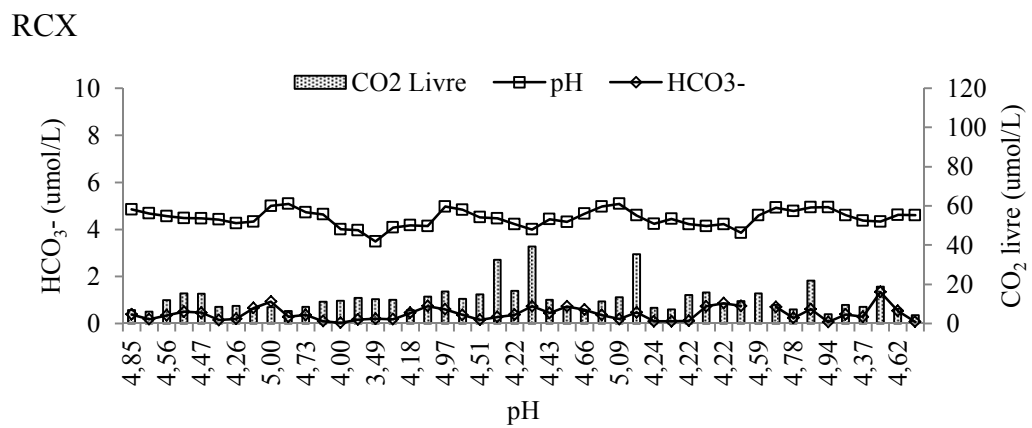


Figura 86: Variação temporal do CO<sub>2</sub> "livre", HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> e pH no ponto RCx

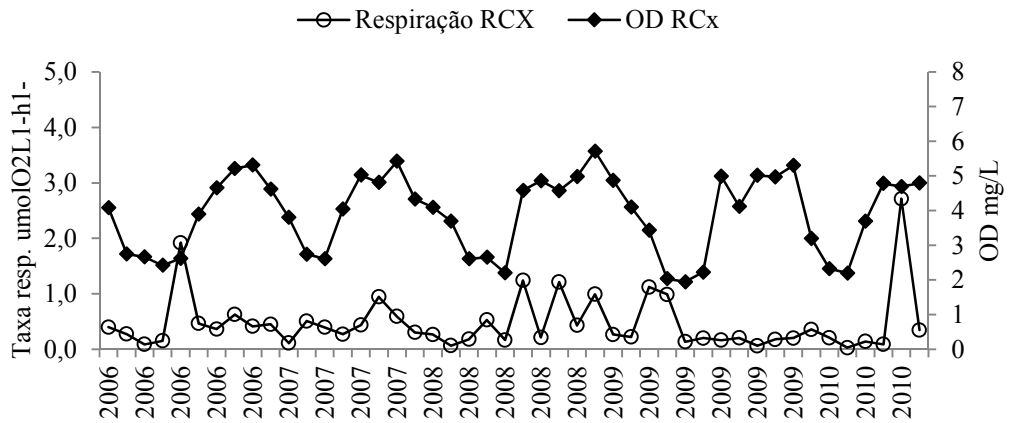


Figura 87: Variação temporal da taxa de resp. x pH no ponto RCx

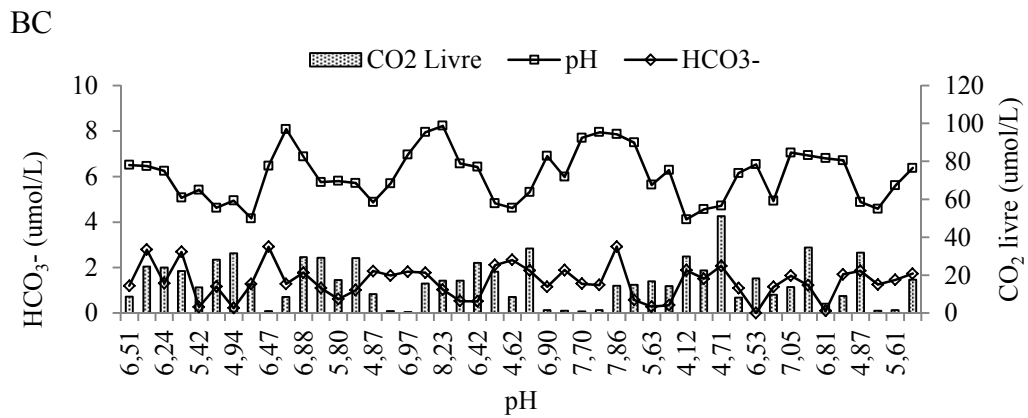


Figura 88: Variação temporal do CO<sub>2</sub> ‘livre’, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> e pH no ponto BC

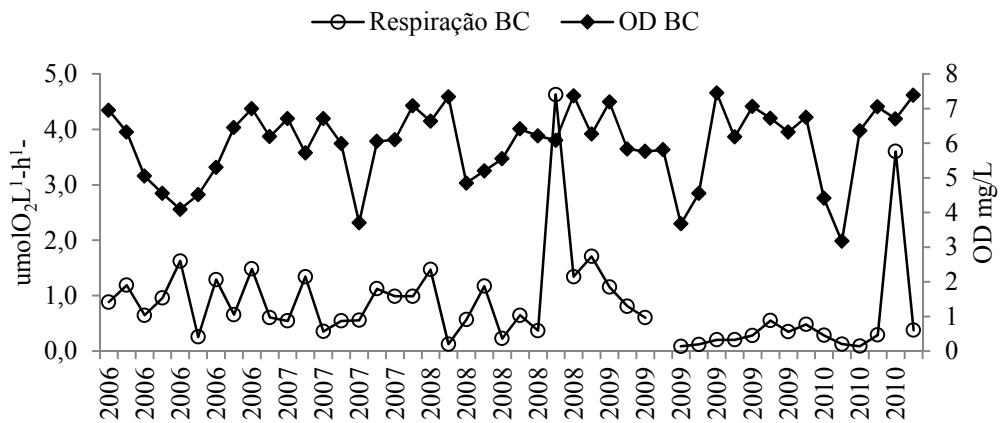


Figura 89: Variação temporal da taxa de resp. x pH no ponto BC



### 5.1.13 Particulado em suspensão

Durante as campanhas não foram observadas diferenças significativas nos pontos investigados em relação a este parâmetro, independente das condições no período de amostragem (chuvoso ou estiagem). Quantidades menores foram encontradas nos rios Curuá (1,92 g/L) e Caxiuanã (1,73 g/L). Na baía de Caxiuanã, este parâmetro se sobressai quando comparado com os outros pontos de coleta (3,4 g/L), fato atribuído à abundância de algas que são visíveis a olho nu nesta localidade (figuras 90 a 94). Para o rio Congo, Coynel *et al.* (2005) encontraram relação direta entre a concentração de sedimentos totais em suspensão e os episódios de chuva, porém, na região de Caxiuanã não se observou o mesmo comportamento, o que pode estar relacionado ao estado de preservação da área ou pelo tipo de material que compõe sua bacia de drenagem.

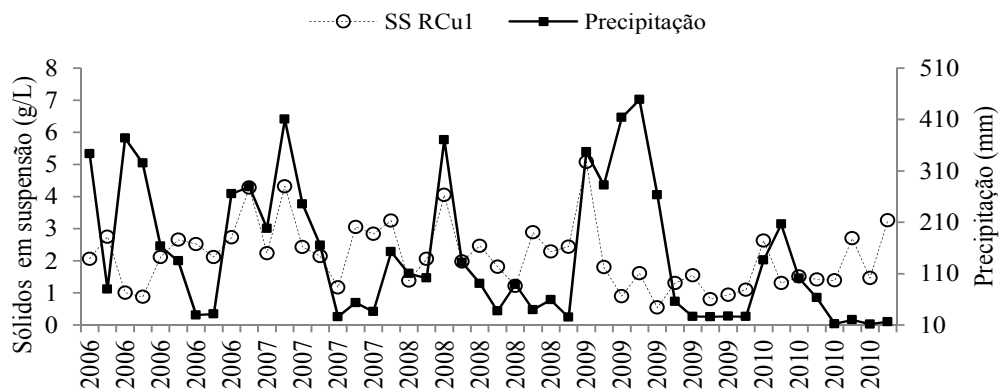


Figura 90: Variação temporal dos sólidos totais dissolvidos x precipitação ponto

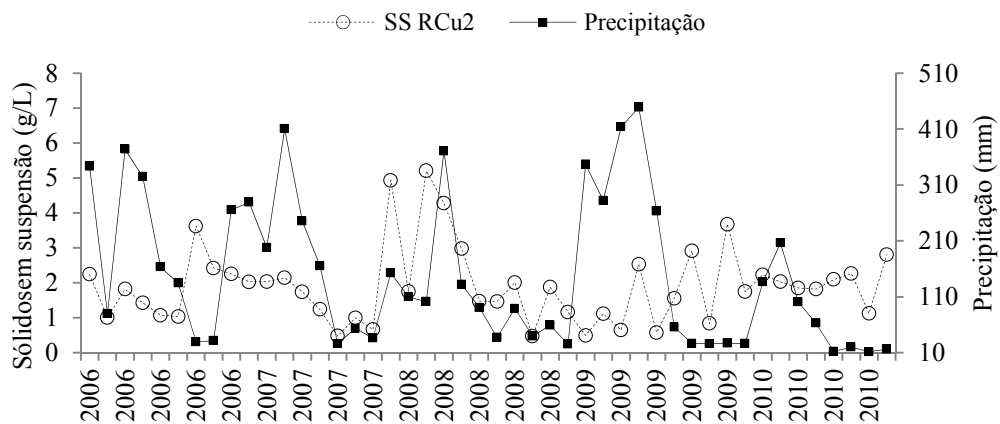


Figura 91: Variação temporal dos sólidos totais dissolvidos x precipitação ponto

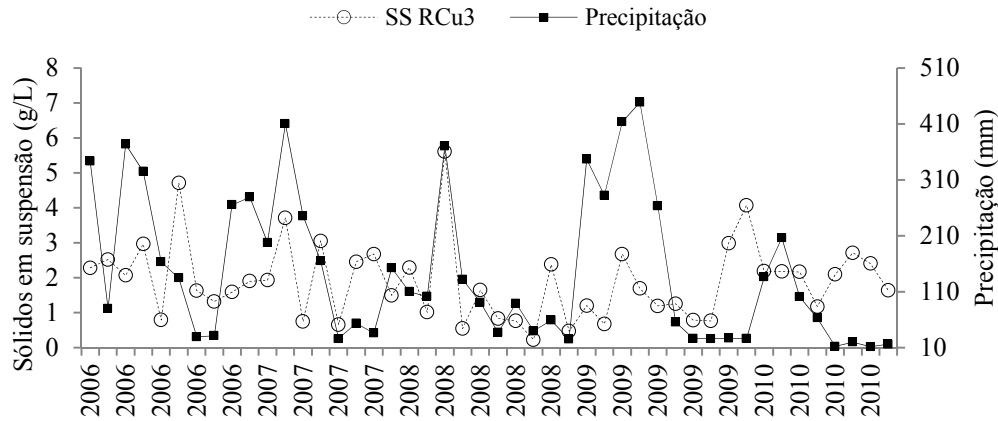


Figura 92: Variação temporal dos sólidos totais dissolvidos x precipitação ponto

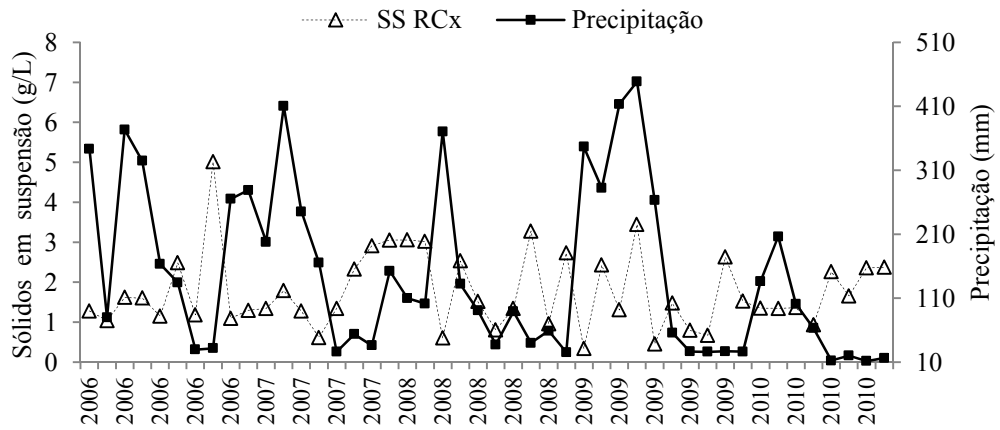


Figura 93: Variação temporal dos sólidos totais dissolvidos x precipitação ponto

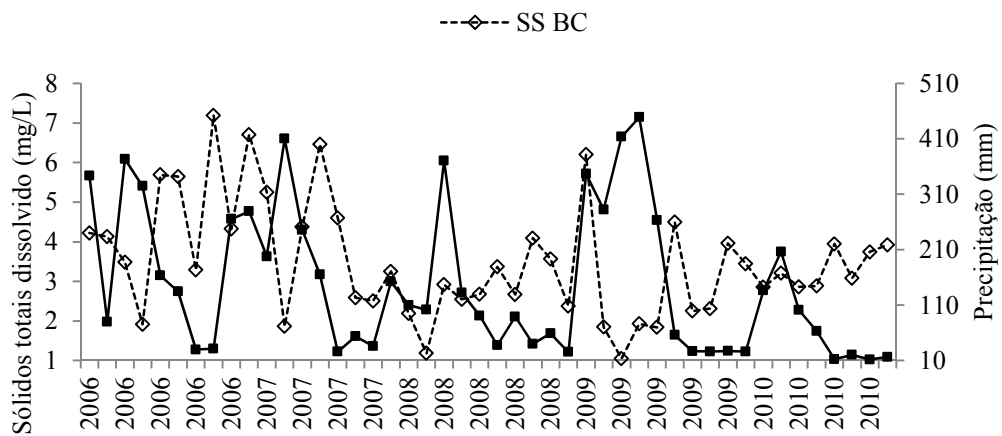


Figura 94: Variação temporal dos sólidos totais dissolvidos x precipitação ponto

### 5.1.14 Alumínio e Ferro

A concentração de Al dissolvido na região de Caxiuanã variou entre 33 e 86 mg/L. Valores mais elevados foram observados no rio Curuá, seguidos do rio Caxiuanã e Baía de Caxiuanã (tabela 2 e figura 95). Fenzl (1986), comenta a relação que há entre o pH e os compostos de alumínio, afirmando que em condições ácidas ( $\text{pH} \leq 4$ ) o alumínio encontra-se na forma solúvel ( $\text{Al}^{3+}$ ) e que condições de  $\text{pH} > 7$ , o Al assume a forma insolúvel ( $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ ). De acordo com o gráfico tal relação entre pH e Alumínio pode ser observada nos pontos de amostragem, onde as maiores médias da concentração de alumínio foram observadas nos pontos de pH mais ácido ( $< 5$ ). Outro fator que pode estar influenciando na concentração de alumínio pode ser o maior conteúdo de matéria orgânica que no rio Curuá é de 34% M.O. e na baía de 4% M.O., respectivamente. No rio Solimões e afluentes, Queiroz *et al.* (2009) encontraram concentrações mais elevadas para os igarapés de água preta do nordeste do Amazonas.

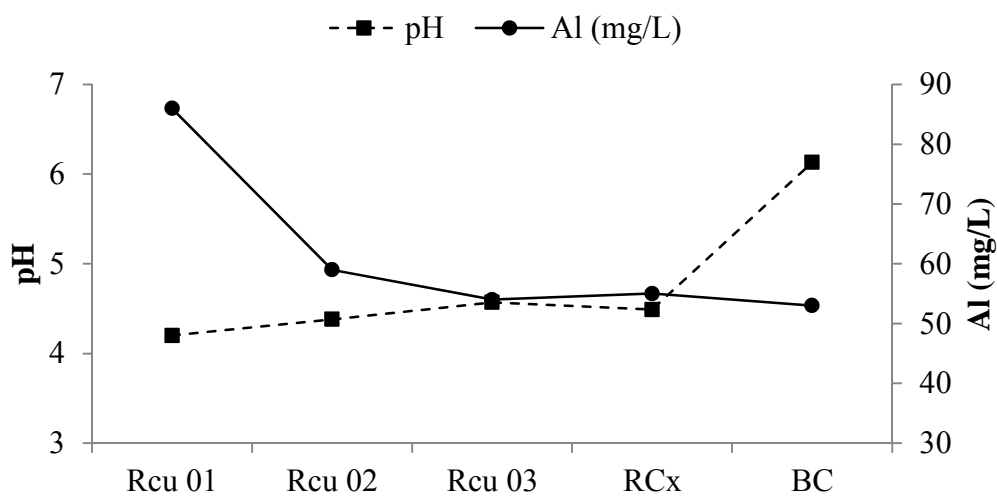


Figura 95: Concentração do Al x pH nos pontos RCU1, RCU2, RCU3, RCx e BC

Apesar de ser o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, o ferro normalmente apresenta-se em concentrações pequenas na água. O comportamento químico do ferro e a sua solubilidade na água dependem da intensidade da oxidação do sistema no qual ele ocorre; o pH é um fator que também influencia. Em Caxiuanã, o ferro variou entre 65 a 121 mg/L (Tabela 2). O ponto RCU03 apresentou a maior média, enquanto que no ponto RCx foram registradas as menores concentrações de ferro. Ao contrário do alumínio, não foi

observado um padrão definido para o Fe, pois enquanto o alumínio diminui de montante para jusante, o ferro apresentou médias que ora aumentaram, ora diminuía independentemente do local de amostragem. A espécie de ferro na água natural não deve conter mais do que alguns microgramas por litro de ferro dissolvido, uma vez que sua concentração na água do rio é de aproximadamente 10 µg/L. Para o rio Solimões, Queiroz *et al.* (2009) encontraram valores que variaram de forma similar aqueles observados neste trabalho, enquanto que Horbe *et al.* (2008) encontraram valores mais elevados para os igarapés de água preta do nordeste do Amazonas.

Tabela 2: Valores de Al e Fe na água (mg/L)

<i>Pontos</i>	<i>Al</i>	<i>Fe</i>	<i>pH</i>
Rcu01	86	95	4,12
Rcu02	59	66	4,38
Rcu03	54	121	4,57
RCx	55	65	4,49
BC	33	68	6,13
Média	57	80	4,74
Mínimo	33	56	3,69
Máximo	86	121	8,07

## 5.2 VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ÍONS MAIORES NOS RIOS CURUÁ, CAXIUANÃ E BAÍA DE CAXIUANÃ.

### 5.2.1 Cloreto e Sódio

Para analisar a variabilidade espacial das concentrações de  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Na}^+$ , ao longo dos rios Curuá, Caxiuanã e a baía, foi feita a média da concentração dos elementos durante os 5 anos de estudo em cada ponto de amostragem (figura 96). Esses valores encontram-se ilustrados na figura 19. As concentrações médias de  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Na}^+$  aumentaram do ponto RCU1 ao RCU2, para, em seguida, diminuir em direção ao RCU3, sendo que no sódio essa diminuição foi mais intensa. No ponto RCx, esses íons apresentam comportamento inverso, pois enquanto o sódio tem uma pequena diminuição, o cloreto aumenta. Já na baía, ele também tem comportamento inverso, pois neste ponto é o cloreto que diminui e o sódio aparece com um aumento pouco expressivo, essa diminuição pode estar relacionada ao efeito de diluição provocado pelas águas ao adentrarem na baía.

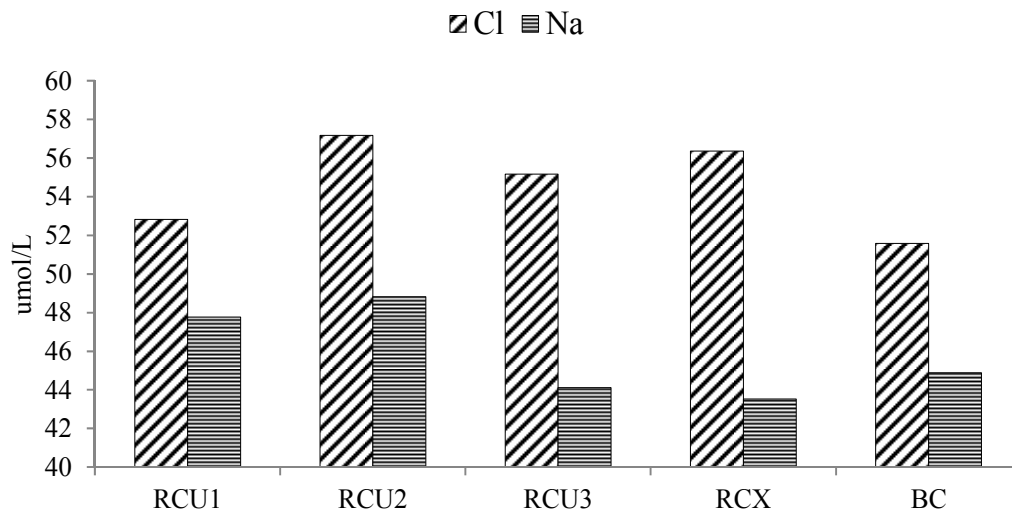


Figura 96: Variação espacial do cloreto e sódio nos pontos de coleta

### 5.2.2 $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{K}^+$ , $\text{SO}_4^{2-}$ e $\text{HCO}_3^-$

As concentrações médias de  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{HCO}_3^-$  nas águas dos rios e baía são mostrados na figura 97. As concentrações de cálcio e magnésio apresentam oscilações ao longo dos cursos d'água, ora com aumento ou diminuição. O bicarbonato praticamente não apresenta variações, sendo mais visível no rio Curuá, com exceção do ponto da baía, que por ter o pH mais elevado (ácido, tendendo à neutralidade), possibilita que parte do carbono inorgânico veja transformado em bicarbonato. O comportamento do potássio, ao longo dos pontos nos rios, apresenta concentrações muito baixas e com um aumento bastante significativo na baía de Caxiuanã quando comparado com os demais pontos. Quanto ao sulfato observa-se uma tendência a aumentar em relação à baía de Caxiuanã.

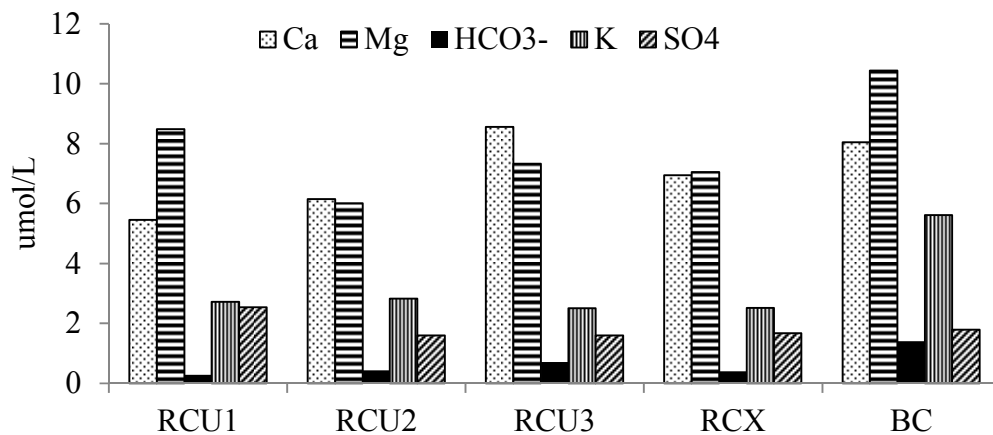


Figura 97: Variação espacial do cálcio, magnésio, bicarbonato e potássio nos pontos de

### 5.3 CLASSIFICAÇÃO HIDROQUÍMICA

A predominância de íons nos corpos aquáticos estudados foi determinada pela relação iônica ( $r$ ), dentre os principais íons, o  $\text{Na}^+$  ( $r = 21$  a  $20,53$  meq/L) foi o dominante na região de Caxiuanã, a relação para os demais foi:  $r\text{Ca}^{2+}$  (chuvoso =  $6,4$  meq/L, estiagem  $6,27$  meq/L);  $r\text{K}^+$  ( $5,7$  a  $5,13$  meq/L), e  $r\text{Mg}^{2+}$  ( $2,1$  a  $1,2$  meq/L). Esta relação segundo Custodia & Llamas (1976) e Schoeller (1962) pode apresentar similaridade com as áreas percorridas pelas águas. A observação dos valores de  $r$  para cada ponto analisado individualmente, também segue esta ordem:  $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$  (tabela 3). Há uma predominância dos íons alcalinos ( $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ) sobre os alcalinos terrosos ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ ) de aproximadamente 76%. A relação  $r$  para os ânions segue a ordem:  $\text{Cl}^-$  (53,22 %) >  $\text{HCO}_3^-$  (29,44 %) >  $\text{SO}_4^{2-}$  (17,34 %).

Através dos diagramas triangulares de Piper (figuras 98 a 103), nota-se a característica sódico-calco-magnésiana cloretada nos pontos de amostragens. A estabilidade da composição nos rios Curuá e Caxiuanã é observada pelo agrupamento dos valores em áreas específicas nos diagramas, como pode ser observado nas figuras (98 a 101), onde não há variação significativa independente do período climático (chuvoso ou estiagem). Uma tênue alternância entre o cálcio e o magnésio reflete as características de solos empobrecidos que compõem a bacia de drenagem.

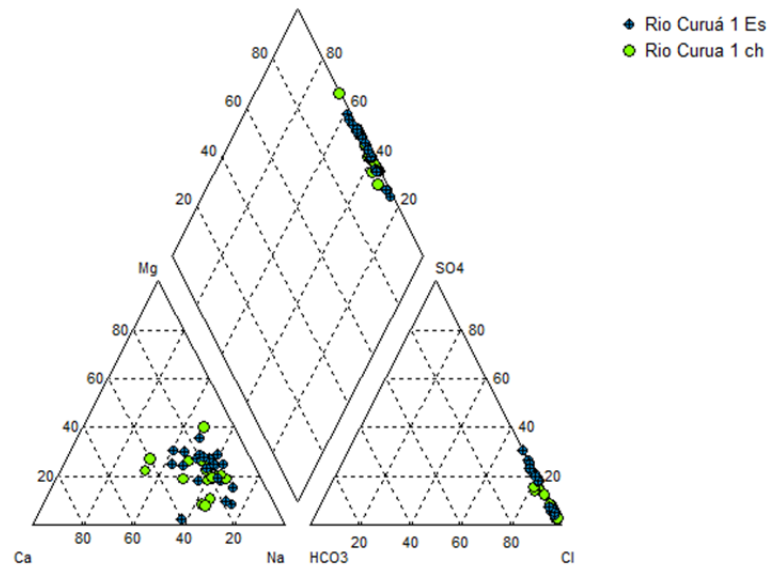


Figura 98: Diagrama de Piper no ponto RCu1 do rio Curuá

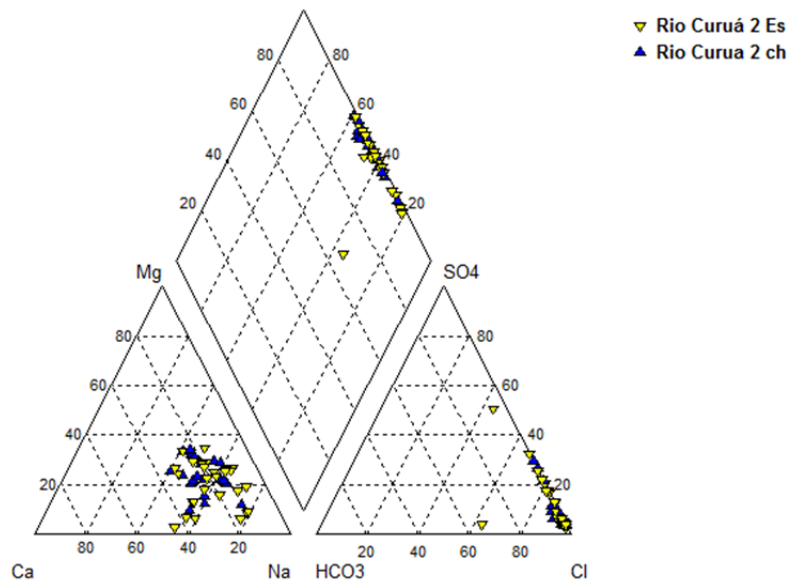


Figura 99: Diagrama de Piper no ponto RCu2 do rio Curuá

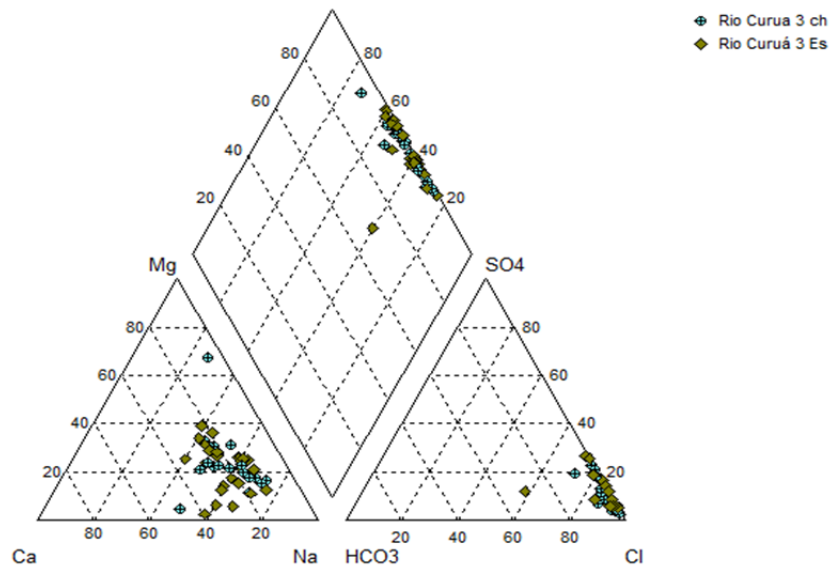


Figura 100: Diagrama de Piper no ponto RCu3 do rio Curuá

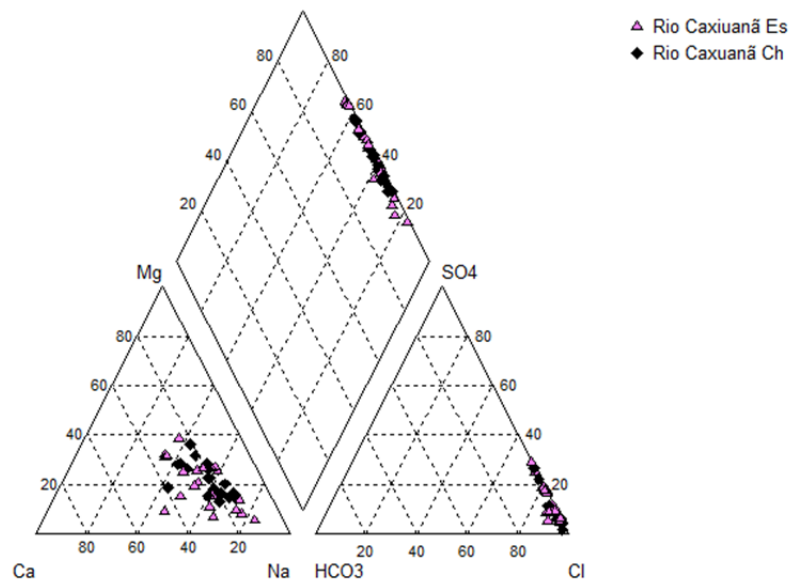


Figura 101: Diagrama de Piper no ponto RCx do rio Caxiuanã

Ao contrario do que foi observado nos rios Curuá e Caxiuanã, na baía houve variação na concentração dos parâmetros, nota-se a dispersão dos valores de cátions e ânions no diagrama (figura 102). Por se tratar de um ambiente dinâmico, a baía apresenta maior concentração de algas, que são produtoras primárias e, ao consumirem os íons que serve como nutrientes durante seus processos metabólicos causam alterações nas concentrações dos cátions e ânions, justificando o comportamento de variabilidade durante os episódios de estiagem e chuva. A figura 103 mostra como se comportamento de todos os pontos.



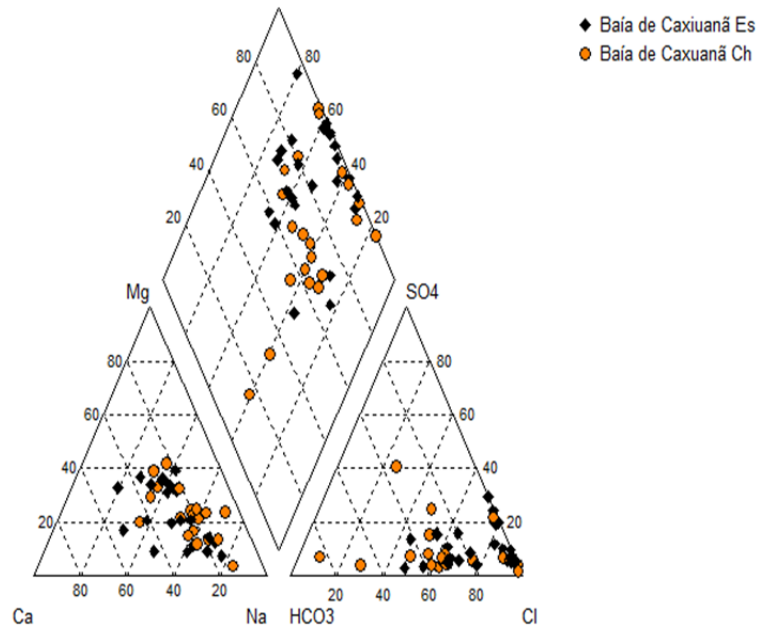


Figura 102: Diagrama de Piper no ponto da baía de Caxiuanã

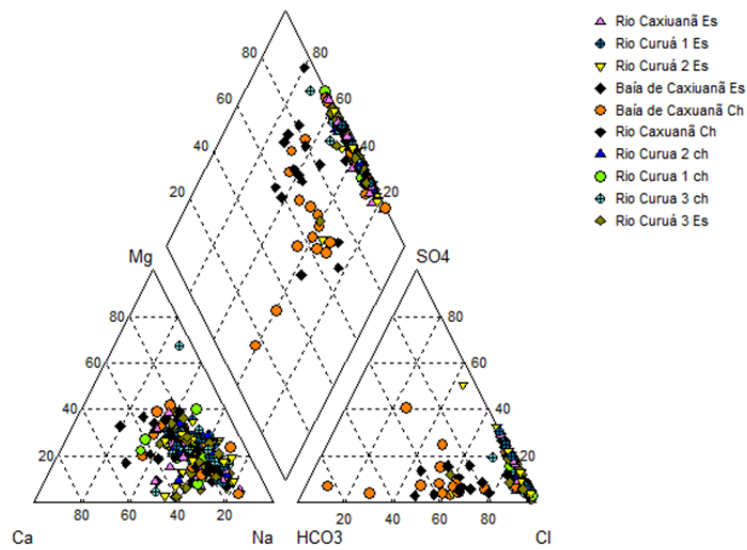


Figura 103: Diagrama de Piper nos pontos dos rios Curuá, Caxiuanã e baía de Caxiuanã

Tabela 3: Variações médias das relações entre os cátions e ânions principais nos rios Curuá, Caxiuanã e baía de Caxiuanã

Períodos	RCU01										
	2006		2007		2008		2009		2010		
	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	
rCa <sup>2+</sup> meq/L	7	8	6	10	9	13	8	1	2	2	
rMg <sup>2+</sup> meq/L	2	1	2	2	2	1	3	1	1	1	
rNa <sup>+</sup> meq/L	19	25	25	22	32	31	22	13	8	9	
rK <sup>+</sup> meq/L	8	7	10	4	6	6	5	2	2	11	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	11	12,1	35	1	0	0	0	0	0	0	
r(Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup> )	9	9	8	12	11	14	11	2	3	3	
r( Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup> )	27	32	35	26	38	37	27	15	10	20	
rCl <sup>-</sup> meq/L	63	45	33	56	69	80	70	98	70	82	
rSO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> meq/L	6	6	5	9	7	9	12	49	57	48	
	RCU02										
	rCa <sup>2+</sup> meq/L	6	6	7	9	9	10	9	2	3	2
	rMg <sup>2+</sup> meq/L	2	1	3	2	2	1	3	1	1	1
rNa <sup>+</sup> meq/L	22	21	20	22	30	36	24	15	9	9	

rK <sup>+</sup> meq/L	6	5	6	4	5	6	8	2	4	6
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	33	27	26	22	49	37	15	27	4	15
r(Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup> )	8	3	10	7	11	11	12	3	4	3
r( Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup> )	28	26	26	26	35	42	32	17	13	15
rCl <sup>-</sup> meq/L	66	52	27	70	70	81	73	100	72	82
rSO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> meq/L	5	5	4	6	5	8	17	48	46	54
RCU03										
Períodos	2006		2007		2008		2009		2010	
	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso	Estiagem
rCa <sup>2+</sup> meq/L	6	6	6	9	9	10	5	2	4	4
rNa <sup>+</sup> meq/L	23	23	22	23	32	34	22	15	10	10
rK <sup>+</sup> meq/L	8	5	5	4	4	6	5	3	4	6
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	57	59	31	41	77	40	29	34	47	28
r(Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup> )	8	7	9	11	11	11	7	3	6	5
r( Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup> )	31	28	26	27	37	40	26	18	15	16
rCl <sup>-</sup> meq/L	66	49	19	68	64	80	82	116	72	80
rSO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	6	5	3	5	6	7	16	48	55	52

meq/L										
Períodos	RCX									
	2006		2007		2008		2009		2010	
	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso	Estiagem
rCa <sup>2+</sup> meq/L	9	5	4	10	9	9	6	3	3	5
rMg <sup>2+</sup> meq/L	3	2	1	1	2	1	2	1	1	2
rNa <sup>+</sup> meq/L	22	22	29	23	30	31	24	13	8	10
rK <sup>+</sup> meq/L	8	7	10	10	8	6	7	2	4	8
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	21	29	18	8	35	27	22	31	25	27
r(Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup> )	12	6	5	12	11	10	8	4	4	7
r( Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup> )	39	29	30	33	38	37	31	18	12	18
rCl <sup>-</sup> meq/L	65	40	31	52	67	74	75	96	73	78
rSO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> meq/L	7	5	5	6	7	7	12	45	44	50
Períodos	BC									
	2006		2007		2008		2009		2010	
	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso	Estiagem
rCa <sup>2+</sup> meq/L	1	6	6	20	11	12	10	7	8	8
rMg <sup>2+</sup> meq/L	1	1	2	4	3	1	3	3	3	3

rNa <sup>+</sup> meq/L	1	20	26	25	32	31	39	17	12	13
rK <sup>+</sup> meq/L	1	9	5	14	8	6	15	7	9	11
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	127	71	22	78	79	78	60	100	112	147
r(Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup> )	2	7	8	24	14	13	13	10	11	11
r( Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup> )	2	29	31	39	40	37	54	24	21	24
rCl <sup>-</sup> meq/L	1	45	25	49	61	70	37	91	73	83
rSO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> meq/L	1	6	5	6	7	8	17	46	54	53

As relações entre  $rK^+/rNa^+$  (comparação direta entre os íons) nos rios Curuá e Caxiuanã variaram entre 0,3 e 0,5 nos períodos de chuva e estiagem, estes valores estão de acordo com os determinados por Custódio e Llamas (1976) para águas doces. Na baía, os valores foram praticamente iguais ( $\pm 0,5$ ). As relações entre  $rMg^{2+}/rCa^{2+}$  é de 0,3 a 0,5 para o período chuvoso e de 0,25 a 0,5 para a estiagem nos pontos de coleta (tabela 4). Não há uma diferença significativa entre os valores das relações dos cátions citados, a razão entre estes íons não variou nos corpos aquáticos independente da condição climática como se observa nos diagramas de Piper (figuras 98 a 103).

Tabela 4: Razão  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$  e  $K^+/Na^+$  para os anos de estudos

		RCu1									
		2006		2007		2008		2009		2010	
		Ch	Es	Ch	Es	Ch	Es	Ch	Es	Ch	Es
$rMg^{2+}/rCa^{2+}$		0,29	0,13	0,33	0,20	0,22	0,08	0,38	1,00	0,50	0,50
$rK^+/rNa^+$		0,28	0,28	0,18	0,18	0,19	0,19	0,15	0,15	1,22	1,22
		RCu2									
		2006		2007		2008		2009		2010	
		Ch	Es	Ch	Es	Ch	Es	Ch	Es	Ch	Es
$rMg^{2+}/rCa^{2+}$		0,33	0,17	0,43	0,22	0,22	0,10	0,33	0,50	0,33	0,50
$rK^+/rNa^+$		0,24	0,24	0,18	0,18	0,17	0,17	0,13	0,13	0,67	0,67
		RCu3									
		2006		2007		2008		2009		2010	
		Ch	Es	Ch	Es	Ch	Es	Ch	Es	Ch	Es
$rMg^{2+}/rCa^{2+}$		0,33	0,17	0,50	0,22	0,22	0,10	0,40	0,50	0,50	0,25
$rK^+/rNa^+$		0,22	0,22	0,17	0,17	0,18	0,18	0,20	0,20	0,60	0,60

RCX										
	2006		2007		2008		2009		2010	
	Ch	Es	Ch	Es	Ch	Es	Ch	Es	Ch	Es
$rMg^{2+}/rCa^{2+}$	0,33	0,20	0,25	0,20	0,22	0,11	0,33	0,33	0,33	0,40
$rK^+/rNa^+$	0,32	0,32	0,43	0,43	0,19	0,19	0,15	0,15	0,80	0,80
BC										
	2006		2007		2008		2009		2010	
	Ch	Es	Ch	Es	Ch	Es	Ch	Es	Ch	Es
$rMg^{2+}/rCa^{2+}$	1,00	0,17	0,33	0,20	0,27	0,08	0,30	0,43	0,38	0,38
$rK^+/rNa^+$	0,45	0,45	0,56	0,56	0,19	0,19	0,41	0,41	0,85	0,85

Ch= chuvoso; Es= estiagem.

#### 5.4 ANÁLISE MULTIVARIADA

As variáveis mais significativas foram selecionadas através da comparação entre as cargas no primeiro componente principal (PCA1), assumem-se como mais expressivas as variáveis que apresentaram valores maiores que 0,5. No presente trabalho os parâmetros mais significativos foram: a temperatura, pH, OD, condutividade elétrica, COD e sólidos totais dissolvidos, sendo estas as variáveis utilizadas para caracterizar a área de estudo (tabela 5).

O PCA1 (eixo 01) relacionou o comportamento das áreas de coleta de acordo com as condições de chuva e estiagem explicando 53,30% dos dados. Neste eixo, o rio Caxiuanã mostrou diferença significativa entre as amostras coletadas no período chuvoso e o período de estiagem, observando-se que as amostras coletadas nos períodos de estiagem encontram-se agrupadas no quarto quadrante, enquanto que, as amostras coletadas no período chuvoso durante os anos de coleta ficaram agrupadas principalmente no segundo quadrante (figura 104).

A análise das variáveis do rio Curuá no eixo 01 apresentou separação entre os períodos em relação aos quadrantes, onde, as amostras coletadas durante o período de estiagem ficaram concentradas no terceiro quadrante e, as amostras do período chuvoso no segundo quadrante, em ambos não houve um agrupamento entre os pontos. A maioria das variáveis referentes à baía de Caxiuanã concentrou-se no primeiro quadrante, não havendo uma distinção notória entre as amostras do período chuvoso e estiagem. Segundo Umetsu *et al.* (2007), as variáveis temperatura, pH, OD, condutividade elétrica, COD e sólidos totais dissolvidos para estes ambientes estão associadas às ações geológicas e climáticas, uma vez que a área de estudo está localizada em uma unidade de conservação, desta forma ausente de influencia antropogênica.

A segunda componente (PCA2 - eixo 02) explicou 19% dos dados, nesta ocorre a distinção entre os ambientes. A baía de Caxiuanã concentrou-se no lado positivo do eixo 02, enquanto que, o rio Curuá encontra-se no lado negativo deste eixo. Em relação a PCA2, o rio Caxiuanã no período de estiagem se comporta semelhante à baía e, no período chuvoso ao rio Curuá. Em PCA2 a precipitação pluviométrica foi a variável principal, associada ao fator climático (tabela 5 e figura 104).

Tabela 5: Resultado da PCA1 e PCA2 feita com as médias das variáveis

	PCA1	PCA2
T	<b>0,778</b>	-0,252
pH	<b>0,831</b>	0,415
CE	<b>-0,843</b>	0,117
OD	<b>0,937</b>	0,175
COD	<b>-0,574</b>	0,515
SST	<b>0,655</b>	0,465
P	-0,297	<b>0,754</b>
Autovalor	3,730	1,329
Variabilidade (%)	<b>53,30</b>	<b>19,00</b>
% Acumulada	<b>53,30</b>	<b>72,30</b>



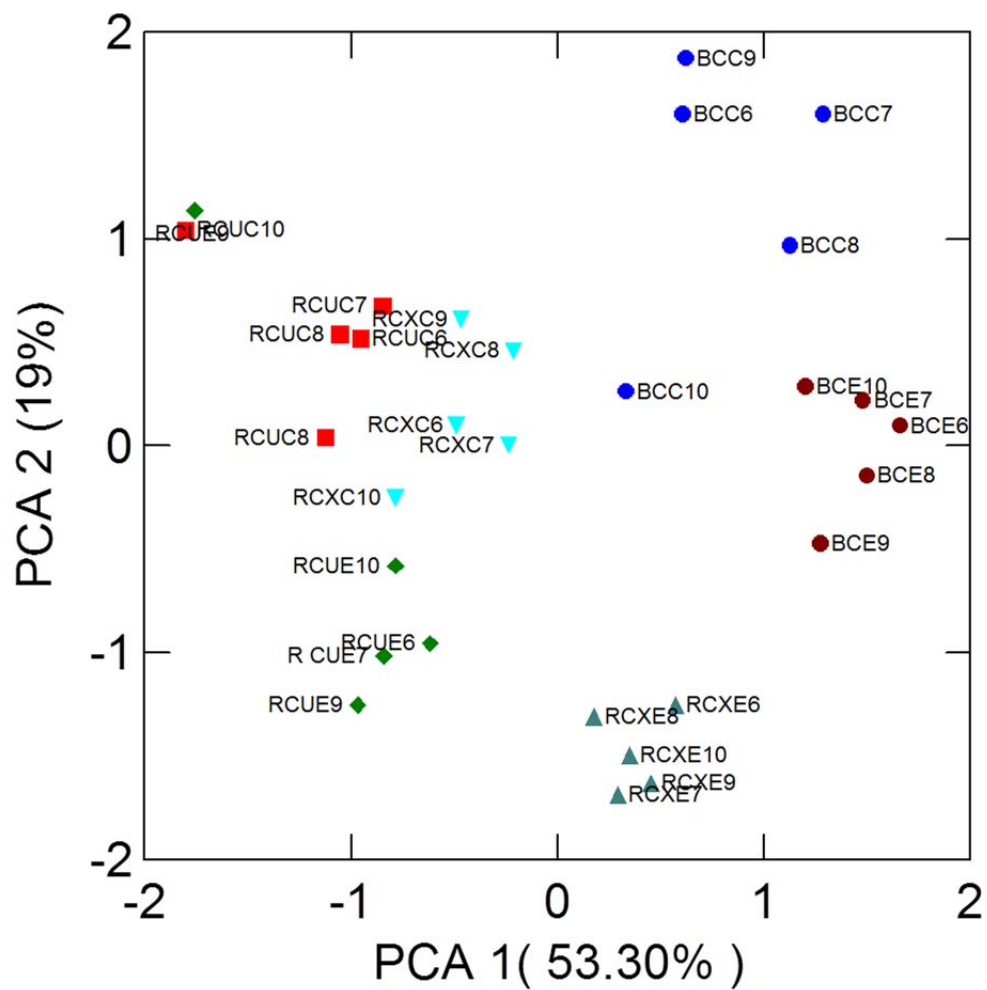


Figura 104: Biplot de correlação entre o eixo 1 e 2 das variáveis físico-químicas obtidas com as médias das águas da região de Caxiuanã

## 6 CONCLUSÃO

A hidroquímica da região de Caxiuanã foi avaliada durante cinco anos (2006 – 2010), em dois rios menores, Curuá (RCu1, RCu2, RC3) e Caxiuanã (RCx) e baía de Caxiuanã (BC). Em relação aos seus afluentes a baía de Caxiuanã apresentou valores elevados de pH, temperatura, oxigênio dissolvido e baixo de condutividade elétrica, a dinâmica da baía explica o comportamento destes parâmetros.

O ponto de coleta BC esta localizado em uma área com alta incidência solar e sem cobertura vegetal, justificando os valores da temperatura. Ao contrario do que ocorre com os rios, a baía recebe pouca contribuição da vegetação ao em torno, influenciando o pH (pouco quantidade de ácidos húmicos, pH mais elevado). A presença de algas é visivelmente percebida no ponto BC, estes organismos consomem os nutrientes durante seu processo metabólico, resultando na redução dos valores de condutividade elétrica. O consumo de CO<sub>2</sub> da água pelos produtores primários infere no aumento da concentração de OD, pois, no processo de fotossíntese estes organismos consomem CO<sub>2</sub> e liberam oxigênio.

Não há uma diferença significativa na hidroquímica, entre a baía e seus tributários, uma vez que a concentração dos constituintes químicos entre ambos é praticamente constante, independente do período climático, como observado nos diagramas de Piper e na avaliação pontual, com exceção do carbono orgânico dissolvido, pois é a única variável que teve comportamento positivo com a precipitação pluviométrica, ou seja, aumento na concentração com o período chuvoso. Através da análise multivariada foi possível perceber que dentre os corpos aquáticos estudados, o rio Caxiuanã é influenciado pelos episódios de cheia e estiagem. Durante a estiagem o rio Caxiuanã apresenta comportamento semelhante à baía, e no chuvoso ao rio Curuá.

Por ser uma área isenta de influencia antropogênica a região de Caxiuanã não apresentou variações significativas ao longo do período de estudo, indicando um sistema em equilíbrio.

## REFERÊNCIAS

- ALLAN, J. D.; CASTILLO, M. **Stream ecology**: structure and function of running waters. 2<sup>a</sup> ed. Netherlands: Springer Press, 2007. 436p.
- BARBOSA, Cátia Fernandes. Hidrogeoquímica e a contaminação por nitrato em água subterrânea no bairro Piranema, Seropédica-RJ. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas. 2005.
- BARON, J.; BRICKER, O. P. 1990. Hydrological and chemical flux in Loch Vale watershed, Rocky Mountain National Park. In: **Biogeochemistry of Major Rivers**. SCOPE 42, Wiley e Sons, New York, USA.
- BAUMGARTEM, M. G. Z.; ROCHA, J. M. B.; NIENCHESKI, L. F.; 1996. Manual de análises em oceanografia química. Editora da FURG/Palotti. 115p.
- BERMEGUY, R. L. **Morfotectônica e evolução paleogeografia da região da calha do rio Amazonas**. Tese (Pós em Geoquímica e Petrologia)– Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará. Belém, PA, 1998. 197p.
- BERGER, L.; FORBERG, B. R. 2006. Factors Controlling Hg levels in two predatory fish species in the Negro River basin, Brazilian Amazon. In: **Science of the total Environment**, 367:451-459.
- BERNER, E. K., BERNER, R. A. **The global water cycle. Geochemistry and Environment**. New Jersey: Prentice-Hall, 1987.
- BERRÊDO, J. F. **Estudo hidrogeoquímico das Regiões de Salobo e Pojuca, Carajás**. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia)– Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará. Belém, PA. 1992. 151p.
- BILLETT, M. F.; SATHER, O. M. 1996. Bedrock-water interactions in catchments: Evidence from small scale spatial changes in stream water chemistry. In: Bottrell, S.H. (Ed. in chief) 4th Internat. ISymp. Geochemistry of the Earth's Surface, short papers. 541-547.
- BITTENCOURT, A. V. L. 1980. Aspectos hidrogeoquímicos da alteração intempérica de basaltos da bacia do Paraná: Bacia Hidrográfica do Jacutinga (PR). Revista Brasileira de Geociências, 10(3): 202 – 212.

- BRICKER, O.P.; JONES, B. F. Main factors affecting the composition of natural waters. In: **Salbu B, Steinnes E.** editors. Trace elements in natural waters. Boca Raton: CRC Press, 1995:1-20.
- CASPER, P. (1992) Methane production in lakes of different trophic state. Arch.Hydrobiol. Beith. Ergebn. Limnol. vol. 37 p.149-154.
- CHAGAS, G. G. 2010. Análise crítica dos estudos sobre metano desenvolvidos no Brasil. In: **Revista Vértices**, Campos dos Goytacazes/RJ, v. 12, n. 1, p. 17-30, jan./abr. 2010.
- COSTA, A. C. L.; ALMEIDA, S. S.; CARVALHO, C. R.; MEIR, P.; MALHI, Y.; COSTA, R. F.; SILVA, J. A.; COSTA, M. C.; TANAKA, B. T.; FISHER, R. A.; SOTTA, E. D.; OLIVEIRA, L. L.; GONÇALVES, P. H. L.; BRAGA, A.; BARRETO, P. N. Experimento Esecaflo-LBA em Caxiuanã. In: LISBOA, P. L. B. (Org.). **Caxiuanã: desafios para a conservação de uma floresta nacional na Amazônia.** Belém, Museu Paraense Emílio Goeldi. 2009.
- COSTA, F. F.; LIMA, W. N.; DIAS, J. C. Avaliação hidrogeoquímica em áreas selecionadas na bacia do rio Maracanã (Nordeste do Pará). In: **Holos Environmental**, v.9 n. 2, 2009 – p167;
- COSTA, J. L. (1974). Geologia da folha AS 22. **Projeto RADAMBRASIL**
- COSTA, M. L.; KERN, D. C.; BEHLING, H.; BORGES, M. S. Geologia. In: **LISBOA, P. L. B. (org.) Caxiuanã.** 2002. Belém, Museu Paraense Emílio Goeldi.
- COYNEL, A.; SEYLER, PATRICK, ETCHEBER, H.; MEYBECK, M. 2005. **Spatial and seasonal dynamics of total suspended sediment and organic carbon species in the Congo River and Didier Orange.** GLOBAL BIOGEOCHEMICAL CYCLES, VOL. 19, GB4019, doi:10.1029/2004GB002335
- CUNHA, H. B.; SIMÕES, C. A. 2000. Caracterização físico-química das águas do Rio Negro e seus tributários. In: **IX Jornada de Iniciação Científica. Anais.** Manaus-Amazonas, 325-329.

- CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M. R. 1983. **Hidrologia Subterrânea**. Barcelona, Ômega. V. 1, p. 1019-1095.
- ELLIS, E. E.; RICHEY, J. E.; AUFDENKAMPE, A. K.; KRUSCHE, A. V.; QUAY, P. D.; SALIMON, C.; DA CUNHA, H. B. 2012. Factors controlling water-column respiration in rivers of the central and southwestern Amazon Basin. In: **Limnology Oceanography**. 57(2), 2012, 527–540.
- FENZL, N.; RAMOS, J. F. 1986. **Introdução à hidrogeoquímica**. Belém: Universidade Federal do Pará. 189p.
- FITTKAU, E. J.; U. IRMLE; W.J. JUNK; F. REIS e G.M. SCHMIDT, 1975. Productivity, Biomass and Populations Dynamics in Amazonian Water Bodies. In: **GOLLEY, F.B, e E. MEDINA, eds. Tropical Ecological Systems Trends in Terrestrial and Aquatic Research**. Berlin, Springer-Verlag, p. 289-312.
- FURCK, K. 1984. Water chemistry of the Amazon Basin: The distribution of chemical elements among freshwaters. In: SIOLI, H. (Ed). **The Amazon - Limnology and Landscape Ecology of a might Tropical River and its Basin**. Dordrecht, Dr. W. Junk Publishers, p, 167 - 200.
- GAILLARDET, J.; DUPRÉ, B.; ALLÈGRE, C. J.; NÉGREL P. 1997, Chemical and physical denudation in the Amazon River Basin. *Chemical Geology* 142, 141-173.
- GIBBS, J. R., 1964. **The Geochemistry of the Amazon Basin**. San Diego, Univ. of California. 95 p (PhD Thesis).
- GIBBS, R. J. 1970. Water chemistry of Amazon River. In: **Geochemical et Cosmochimica Acta**, 36:1061-1066.
- HAUER, F. R.; LAMBERTI, G. A. **Methods in Stream Ecology**. New York: Academic Press, 1996. 674p.
- HEM, J. D. **Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water**. 3<sup>rd</sup> ed. Washington: U. S. Geological Survey Water-Supply, 1989. 263 p.

- HORBE, A. M. C.; GOMES, I. L. F.; MIRANDA, S. A. F.; SILVA, M. S. R. 2005. Contribuição à hidroquímica de drenagens no Município de Manaus – Amazonas. In: **Acta Amazônica**, 35: p 119-124.
- HORBE, A. M. C.; QUEIROZ, M. M. A.; HORBE, A. M. MOURA, C. A.; TORO, M. G. 2013. Geoquímica das águas do médio e baixo rio Madeira e seus principais tributários - Amazonas - Brasil. **Acta Amazônica**. vol. 43 (4) 2008: 498 – 504.
- HORBE, A. M. C.; OLIVEIRA, L. G. S. 2008. Química de igarapés de água preta do nordeste do Amazonas – Brasil. **Acta Amazônica**. vol. 38 (4) 2008: 753 – 760.
- HREN, M. T.; CHAMBERLIN, C. P.; HILLEY, G.E.; BLISNIUK, P. M.; BOOKHAGEN, B. 2007. Major ion chemistry of the Yarlung Tsangpo–Brahmaputra River: Chemical weathering, erosion, and CO<sub>2</sub> consumption in the southern Tibetan plateau and eastern syntaxes of the Himalaya. In: **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 71:2907-2935.
- JUNK, W. J.; FURCH, K. 1985. Química da água e macrófitas aquáticas de rios e igarapés na bacia Amazônica e nas áreas adjacentes. **Acta Amazônica**, 10 (3): 611-633.
- KHALIL, M. A. K.; SHEARER, M. J. Sources of methane: an Overview. In: KHALIL, M.A.K (ed). *Atmospheric methane sources, sinks and role in global change*. v. 13. Berlin: Nato ASI Series, Springer, 1993. p. 180-198.
- KUCHLER, I. L.; MIEKELEY, N; FORSBERG. 2000. A contribution to the chemical characterization of Rivers in the rio Negro basin, Brasil. In: **Journal Braz. Chemical Soc.**, volume, 11, No, 3, 286 – 292.
- LIKENS, G. E., BORMANN, F. H.; PIERCE, R. S.; EATON, J. S.; JOHNOSON, N. M. VI. (eds).1977. **Biogeochemistry of a Forested Ecosystem**. Springer-Verlag, New York, USA.
- LISBOA, P.L.B. e FERAZ, M. G. 1999. **Estação Científica Ferreira Penna: Ciência e desenvolvimento sustentável na Amazônia**. Belém, Museu Paraense Emílio Goeldi.

- LIVINGSTON, P. G.; HUTCHINSON, G. L. Enclosure-based measurement of trace gas exchange: applications of sources of error. In: MATSON P. A.; HARRISS, R. C. **Biogenic traces gases**. Measuring emissions from soil and water. Oxford. Blackwell Science, 1995. Chap. 2, p. 14-51.
- MARTINELLI, L. A. **Composição química e isotópica ( $^{13}\text{C}$ ) de sedimentos de várzea e suas interações com alguns rios da bacia Amazônica**. Dissertação (Mestrado em Química na Agricultura e no Ambiente) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 1986.
- MARQUES, A. C.; NUCCI, J. C. 2007. Planejamento, gestão e Plano de Manejo em Unidade de Conservação. In: **Revista Ensino e Pesquisa** (União da Vitória), v. 4, p. 33-39,
- MELO, D. M. B. **Dinâmica biogeoquímica do carbono em ambientes fluviais de águas lênticas da Amazônia Oriental (FLONA de Caxiuanã, Pará)**. Dissertação Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Piracicaba. 2011. 69p.
- MILLER, W. R.; DREVER, J. I. 1977. Chemical weathering and related control on surface water chemistry in the Absaroka Mountains, Wyoming. **Geochimica Cosmochimica Acta**. 41(12): 1693 – 1702.
- PEREIRA, P. F. **Fluxo de dióxido de carbono em água e suas interações químicas e físico-químicas na região de Caxiuanã – Pará**. Relatório Final. Belém. 2008. 30 p.
- PETTS, G.; CALOW, P, editors. **River restoration**. Oxford: Blackwell Science, 1996.
- PINTO, A. G. N.; HORBE, A. M. C.; SILVA, M. S. R.; MIRANDA, S. A. F.; PASCOALOTO, D.; SANTOS, H. M. C. 2009. Efeitos da ação antrópica sobre a hidrogeoquímica do rio Negro na orla de Manaus/AM. In: **Acta Amazônica**, v. 39(3) 2009: 627 – 638

- QUEIROZ, M. M. A.; HORBE, A. M. C.; SEYLER, P.; MOURA., C. A. V.2009. Hidroquímica do rio Solimões na região entre Manacapuru e Alvarães – Amazonas Brasil. In: **Acta Amazônica**. V. 39(4) 2009: 943 – 952.
- RICHEY, J. E.; HEDGES, J. I.; DEVOL, A. H.; QUAY, P. D.; VICTORIA, R.; MARTINELLI, L.; FORSBERG, B. R. Biogeochemistry of carbon in the amazon River. In: **Limnology Oceanography**, Grafton, v. 35(2), p 352–371, 1990.
- SANTOS, U. M.; RIBEIRO, M. N. G. 1988. A Hidroquímica do rio Solimões – Amazonas. In: **Acta Amazônica**, v. 18 (3-4): 145 – 172.
- SOUSA, E. S. **Dinâmica do carbono dissolvido no rio Acre: variações espaciais e sazonais**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará. Belém, PA. 2007. 161p.
- SCHLESINGER, W. H. **Biogeochemistry**: an analysis of global change. London: Academic Press, 1991. 443 p.
- SIOLI, H.; KLINGE, H. 1962. **Solos, típicos de vegetação e águas na Amazônia**. Amazonia, 1:27-41.
- SIOLI, H. 1968. **Hydrochemistry and Geology in the Brazilian Amazon Region**. Amazonia, 3:267-277.
- SIOLI, H., 1975 a. Tropical River: The Amazon. In: B.A. WHITTON, ed. **River Ecology**. Berkeley,-U.C. Press, p. 461 - 487.
- SIOLI, H., 1984. The Amazon and its main effluents: Hydrography, morphology of the river courses and river types. In: **SIOLI, H. ed., The Amazon Limnology and Landscape Ecology of a might Tropical River and its Basin**. Dordrecht, Or. W. Junk Publishers, p. 127 - 165.
- SIOLI, H. **Amazônia: Fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais**. Rio de Janeiro: Vozes, 1985. 72p.
- SCHOELLER, M. 1962. Les eaux souterrains. Paris, Masson, 642p.



- SOARES, A. C. L.; LISBOA, P. L. B. 2009. Estação científica Ferreira Penna/ECFPn (2002-2008). In: LISBOA, P. L. B. **Caxiuanã: desafios para a conservação de uma Floresta Nacional na Amazônia**. Belém, Museu Paraense Emílio Goeldi.
- STALLARD, R. F.; EDMOND, J. M. 1983. Geochemistry of the Amazon 2. **The influence of geology and weathering environment of the dissolved load**. J. of Geoph. Res., Washington, 88: 9671-9688.
- STUMM, W.; MORGAN, J. J. **Aquatic chemistry**: an introduction emphasizing chemical equilibrium in natural waters. New York: John Wiley, 1981. 1022 p.
- UMETSU, C. A.; UMETSU, R. K.; MUNHOZ, K. C. A.; DALMAGRO; H. J.; KRUSCHE, A. V. 2007. Aspectos físico-químicos de dois rios da bacia do alto Tapajó–Teles Pires e Cristalino – MT, durante período de estiagem e cheia. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, v.5, n.1, p.59- 70.
- VIERS, J.; DUPRÉ, B.; BRAUN, J.; DEERDT, S.; ANGELETTI, B.; NGOUPAYOU, J. N.; MICHRD, A. 2000. Major and trace element abundances, and strontium isotopes in the Nyong basin rivers-Cameroon: Constraints on chemical weathering processes and elements transport mechanisms in humid tropical environments. In: **Chemical Geology**, 169:211-241.
- WETZEL, R. G.; LIKENS, G. E. Primary productivity of phytoplankton. In: SAUNDERS, W. B. *Limnological analysis*. 2. Ed. New York: W. B. Saunders Company, 1990. P. 207 - 226.