



Embrapa

Amazônia Oriental

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

ELIETE DOS SANTOS SOUSA

**DINÂMICA DO CARBONO DISSOLVIDO NO RIO ACRE: VARIAÇÕES
ESPACIAIS E SAZONAIS**

**BELÉM
2007**

ELIETE DOS SANTOS SOUSA

**DINÂMICA DO CARBONO DISSOLVIDO NO RIO ACRE: VARIAÇÕES
ESPACIAIS E SAZONAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará; Museu Paraense Emílio Goeldi; Embrapa Amazônia Oriental, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de Concentração: Ecossistemas e Uso da Terra.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo de Oliveira Figueiredo

Co-Orientador: Prof. Dr. Cleber Ibraim Salimon

**Belém
2007**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação(CIP)
Biblioteca Geól. Rdº Montenegro G. de Montalvão

Sousa, Eliete dos Santos

S725d Dinâmica do carbono dissolvido do rio Acre: variações espaciais e sazonais / Eliete dos Santos Sousa. – 2007
90 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emilio Goeldi e EMBRAPA, Belém, 2007.

Orientador, Ricardo de Oliveira Figueiredo, Co-orientador, Cleber Ibraim Salimon.

1. Carbono dissolvido. 2. Variabilidade espacial. 3. Sazonalidade. 4. Amazônia. 6. Rio Acre-AC. I. Universidade Federal do Pará. II. Figueiredo, Ricardo de Oliveira Orient. III. Salimon, Cleber Ibraim, Co-orient. IV. Título.

CDD 20º ed.:553.7098112

ELIETE DOS SANTOS SOUSA

**DINÂMICA DO CARBONO DISSOLVIDO NO RIO ACRE: VARIAÇÕES
ESPACIAIS E SAZONAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará; Museu Paraense Emílio Goeldi; Embrapa Amazônia Oriental, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais.

Data da aprovação:

Conceito:

Banca Examinadora:

Prof. Ricardo de Oliveira Figueiredo - Orientador
Doutor em Ciências Ambientais
Embrapa Amazônia Oriental

Prof. Waterloo Napoleão de Lima - Membro
Doutor em Ciências (Química Inorgânica)
Universidade do Estado do Pará

Prof. Francisco de Assis Oliveira - Membro
Doutor em Geologia e Geoquímica
Universidade Federal Rural da Amazônia

Prof. José Henrique Cattanio - Membro
Doutor em Agronomia Tropical
Universidade Federal do Pará

*Aos meus pais
Maria do Socorro e José Santana
e aos meus irmãos
Eliane, Elison e Elson,*

Dedico

E à minha avó Ester (in memoriam).

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sua infinita misericórdia e por guiar minha vida;

Aos meus pais por todo amor, apoio e incentivo;

A toda a minha família: irmãos, cunhado, sobrinhos, tios, tias, primos, primas e avós, pelas orações e incentivo;

Ao Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, pela oportunidade e pelo aprendizado;

Aos meus orientadores, Prof. Dr. Cleber Salimon e Prof. Dr. Ricardo Figueiredo, pela paciência e dedicação;

A Márcia Figueiredo (Marcinha), secretária do LBA em Belém, por toda a dedicação e cuidado e ao Adnaldo, pelo apoio.

Ao Grupo Milênio LBA, pelo financiamento do projeto;

Ao GEOMA pela bolsa de pesquisa;

À Universidade Federal do Acre por toda a logística oferecida a este trabalho;

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), pelas análises. Em particular ao Prof. Dr. Alex Krusche e à Alexandra Mayres (Xanda);

A Willians Aiache, meu amigo e companheiro de campo, por todo esforço, dedicação e momentos de descontração nas coletas;

Aos meus amigos Flávio (Neguim) e Augusto, pelas vezes que me conduziram ao campo;

À Estação Meteorológica da UFAC, em especial à minha amiga Suelen Alves, pelos dados de precipitação;

A Coordenadoria Estadual de Defesa Civil, em especial ao Sargento Denis Santana, pelos dados de cota do rio Acre;

Ao Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM/PA), em especial ao Dr. Rolim e ao Tarcísio, pelos dados de vazão e pelos mapas da bacia do rio Acre;

A Henrique Anastácio, da SEMEIA, pela imagem de satélite cedida;

Aos mestres Nei Leite, Fátima Rasera e Maria Beatriz Rosa, pelas contribuições na metodologia e ajuda na interpretação dos resultados;

As “Meninhas Super-Poderosas” (Ana Claudia, Dione, Elinez, Jorgete, Joselaine, Márcia, Lídia e Lidiany) pela torcida;

Aos meus amigos da UFAC (Ana, Isaías, Rosângela, Clênia, Robson, Sara, Iracema, João, Paulinha, Diego, Nadir e Raquel) pelos momentos de descontração, companheirismo e incentivo;

Aos meus amigos Renato Soares, Randolf Zachow e Levi Riviiti, pela amizade e apoio, mesmo a distância;

Aos professores Dr. Lisandro Juno, Dra. Maria Rosélia Lopes e Dr. Marcos Silveira, pela amizade e incentivo à pesquisa;

À minha amiga Lívia pela amizade, broncas, companheirismo, puxões de orelha, companhia, por comer no Habib's, por ir ao cinema assistir filmes "chatos", pelos passeios, pela brigas... Enfim, obrigada por tudo amiga!

Aos meus amigos Harumi e Serginho, pela convivência e força que me deram nos momentos decisivos da dissertação. Vocês são incríveis!

À turma 2006 do PPGCA, em especial aos meus amigos Bruno, Cibelle, Dani, Joelma e Homero, pelos momentos de descontração e apoio. Égua do povo paid'égua!!!;

À Fabiane, Flérida e Andressa, pela convivência em Belém;

Gostaria de finalizar, fazendo um agradecimento especial a todos os membros da Igreja Evangélica Assembléia de Deus em Vila Acre, pelas orações que fizeram em meu favor.

Que o Senhor Jesus possa recompensar a cada um que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

Está escrito:

*As coisas que o olho não viu, e o ouvido não ouviu,
e não subiram ao coração do homem são as que
Deus preparou para os que O amam.
I Coríntios 2.9*

RESUMO

Este trabalho teve como principal objetivo estudar a dinâmica do carbono dissolvido ao longo de um trecho do rio Acre, avaliando a influência da área urbana da cidade de Rio Branco, e da descarga de três de seus tributários (Riozinho do Rola, Igarapé Judia, Igarapé São Francisco), bem como a influência das mudanças hidrológicas sazonais. Foram realizadas campanhas de campo mensais, entre dezembro de 2006 e setembro de 2007, em cinco sítios no rio Acre e um sítio na foz de cada um dos três tributários. A cada amostragem 1 litro de amostra de água era submetida a filtração e dividida em alíquotas para as análises de carbono orgânico dissolvido (COD), carbono inorgânico dissolvido (CID) e íons maiores (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , e PO_4^{3-}). Além das coletas foram medidos in situ os parâmetros físico-químicos pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e temperatura da água. O pH médio anual no rio Acre variou de 6,46 a 6,54 entre os sítios e a condutividade elétrica apresentou valores médios anuais entre os sítios que variam de 69,93 a 77,84 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Nos tributários, os valores médios anuais de pH variaram de 6,10 a 6,51 e a condutividade elétrica apresentou valores médios anuais que variaram entre 54,08 e 153,03 S cm^{-1} . Os cátions predominantes no rio Acre e nos tributários foram o Na^+ e o Ca^{2+} e os ânions foram o Cl^- e o SO_4^{2-} . A concentração média anual de COD no rio Acre variou de 4,62 a 5,17 mg l^{-1} , sem diferenças significativas entre os sítios de amostragem. Nos tributários as médias anuais de COD variaram de 3,55 a 6,55 mg l^{-1} . As concentrações foram significativamente maiores no período de cheia, com médias que variaram de 6,26 a 6,39 mg l^{-1} nos sítios do rio Acre. O Igarapé São Francisco foi o único tributário que não apresentou diferenças entre os períodos sazonais. O CID teve uma concentração média anual no rio Acre que variou de 527,91 a 598,18 μM , sem diferenças significativas entre os sítios de amostragem. As maiores concentrações foram observada na seca, quando as concentrações médias variaram de 816,31 a 998,52 μM . Nos tributários as concentrações médias anuais de CID variaram de 248,54 a 986,50 μM . Quanto a pressão parcial do CO_2 ($p\text{CO}_2$), os sítios no rio Acre apresentam valores médios anuais variando entre 3559 e 4059 ppm, sem diferenças entre os sítios e com os maiores valores ocorrendo no período de cheia. Com base nos resultados, pode-se concluir que a dinâmica do carbono dissolvido no rio Acre

não apresenta variações significativas decorrentes das descargas dos tributários nem do lançamento de esgotos. Por outro lado, as mudanças hidrológicas sazonais são os maiores responsáveis pelas alterações nesta dinâmica.

Palavras-chave: Carbono dissolvido. Variabilidade espacial. Sazonalidade. Amazônia. Rio Acre.

ABSTRACT

The main objective of this study was to study the dissolved carbon dynamics along a reach of the Acre River, evaluating the influence of Rio Branco city urban area and of the discharge from three of its tributaries (Riozinho do Rola, igarapé Judia and igarapé São Francisco), as well as the influence of hydrological seasonal changes. Samples were taken monthly, between December 2006 and September 2007, at five sites in Acre River and one site at the tributaries mouths. Each sample consisted of 1 liter of river/tributary water, which was submitted to filtering and aliquots withdrawn for dissolved organic carbon (DOC), dissolved inorganic carbon (DIC) and major ions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , e PO_4^{3-}) analysis. Electrical conductivity, pH, dissolved oxygen and water temperature measurements were also made. Mean annual pH in Acre River varied from 6.46 to 6.54 between sites and electrical conductivity presented mean values from 69.93 to 77.84 $\mu\text{S cm}^{-1}$. In the tributaries, the mean annual pH ranged from 6.10 to 6.51 and electrical conductivity presented annual means from 54.08 and 153.03 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Na^+ and Ca^{2+} were the dominant cations for both Acre River and its tributaries, while main anions were Cl^- and SO_4^{2-} . The mean annual DOC concentration in Acre River ranged from 4.62 to 5.17 mg l^{-1} , with no significant difference among sampling sites. The tributaries' mean annual DOC concentrations varied from 3.55 to 6.55 mg l^{-1} . The concentrations were significantly higher in the high water period, with averages that ranged from 6.26 to 6.39 mg l^{-1} in Acre River sites. igarapé São Francisco was the only tributary that did not present differences between the seasons. Mean annual DIC concentration in Acre River ranged from 527.91 to 598.18 μM , with no significant difference among sampling sites. The higher concentrations were observed in the dry season, ranging from 816.31 to 998.52 μM . Mean annual DIC concentration in the tributaries ranged from 248.54 to 986.50 μM . Mean annual CO_2 partial pressure ($p\text{CO}_2$) in Acre River sites ranged from 3559 and 4059 ppm, with no significant differences among sites and with higher values in high waters. Based on these results, we conclude that the dissolved carbon dynamics in Acre River have not presented significant variations due to the tributaries discharge or due to the sewage discarded. On the other hand,

hydrological seasonal changes are the most important drivers for changes in carbon dynamics.

Key-words: Dissolved carbon. Space variability. Seasonality. Amazon. Acre River

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Bacia do rio Acre.....	27
Figura 2. Localização e rede de drenagem na porção estudada da bacia do rio Acre.....	28
Figura 3. Pedologia do trecho de estudo na bacia do rio Acre.....	29
Figura 4. Imagem de satélite do trecho de estudo na bacia do rio Acre.....	30
Figura 5. Rio Acre em período de cheia e seca	31
Figura 6. Precipitação mensal acumulada e cota mensal do rio Acre para o período de 2000 a 2006	32
Figura 7. Vazões médias mensais do rio Acre para o período de 1998 a 2003	33
Figura 8. Riozinho do Rola	34
Figura 9. Igarapé Judia	35
Figura 10. Igarapé São Francisco	35
Figura 11. Valores médios mensais de cota do rio Acre (A) e precipitações mensais acumuladas (B) para o período de outubro de 2006 a setembro de 2007.....	41
Figura 12. Correlação entre vazão e cota fluviométrica do rio Acre incluindo a equação da curva-chave	42
Figura 13. Vazão calculada do rio Acre para o período de outubro de 2006 a setembro de 2007.....	42

Figura 14. Valores médios e desvio padrão de pH nos sítios do rio Acre e nos seus tributários para o todo o período de amostragem, período de cheia e período de seca	45
Figura 15. Concentrações médias e desvio padrão de oxigênio dissolvido (mg l^{-1}) nos sítios do rio Acre e nos seus tributários para todo o período de amostragem, período de cheia e período de seca	48
Figura 16. Valores médios e desvio padrão de condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) nos sítios do rio Acre e nos seus tributários para todo o período de amostragem, período de cheia e período de seca	52
Figura 17. Relação entre o somatório de cátions (TZ^+) e o somatório de ânions (TZ^-) para o rio Acre e para os seus tributários. Os valores estão expressos em $\mu\text{Eq l}^{-1}$.	53
Figura 18. Concentrações médias de COD nos sítios do sistema principal do rio Acre e nos seus tributários para o período de dezembro de 2006 a setembro de 2007.....	58
Figura 19. Concentrações médias de COD nos sítios do rio Acre e nos seus tributários nos períodos de seca e cheia	63
Figura 20. Concentrações médias e desvio padrão do carbono inorgânico dissolvido total (CID) em μM nos sítios do rio Acre e nos seus tributários para o período de dezembro de 2006 a setembro de 2007.....	66
Figura 21. Contribuição porcentual das frações do carbono inorgânico dissolvido nos sítios do rio Acre e nos seus tributários para o período de dezembro de 2006 a setembro de 2007.....	69
Figura 22. Concentrações médias e desvio padrão de carbono inorgânico dissolvido total (μM) nos sítios do rio Acre e nos seus tributários para os períodos de cheia e seca	70

Figura 23. Correlação entre carbono inorgânico dissolvido (CID) e cota do rio e carbono orgânico dissolvido (COD) e precipitação para o rio Acre	72
Figura 24. Contribuição porcentual das frações do carbono inorgânico dissolvido nos sítios do rio Acre e nos tributários para os períodos de cheia e seca	74
Figura 25. Valores médios e desvio padrão da $p\text{CO}_2$ e pH nos os sítios do rio Acre e nos seus tributários para todo o período de amostragem, período de cheia e período de seca	80
Figura 26. Valores mensais da $p\text{CO}_2$ nos sítios do rio Acre e nos seus tributários ..	81
Figura 27. Locais de medidas de fluxos de CO_2 com câmaras flutuantes e seus respectivos fluxos	82

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Valores médios, mínimos e máximos de pH nos sítios no rio Acre e nos seus tributários para o período de dezembro de 2006 a setembro de 2007..... 44
- Tabela 2. Valores médios, mínimos e máximos de pH nos sítios do rio Acre e nos seus tributários para os períodos de cheia e seca 44
- Tabela 3. Concentrações médias, mínimas e máximas anuais de oxigênio dissolvido (mg l^{-1}) nos sítios do rio Acre e nos seus tributários para o período de dezembro de 2006 a setembro de 2007..... 46
- Tabela 4. Concentrações médias, mínimas e máximas de oxigênio dissolvido (mg l^{-1}) nos sítios do rio Acre e nos seus tributários para os períodos de cheia e seca 47
- Tabela 5. Valores médios, mínimos e máximos de condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) nos sítios do rio Acre e nos seus tributários para o período de dezembro de 2006 a setembro de 2007..... 49
- Tabela 6. Valores médios, mínimos e máximos de condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) nos sítios do rio Acre e nos seus tributários para os períodos de cheia e seca 50
- Tabela 7. Concentrações médias (μM) dos cátions encontrados no rio Acre e nos tributários para todo o período de amostragem (dezembro de 2006 a setembro de 2007) e para os períodos de seca (junho a setembro) e cheia (dezembro a maio), bem como a variação observada nas concentrações ao longo de todo o estudo ... 56
- Tabela 8. Concentrações médias (μM) dos ânions encontrados no rio Acre e nos tributários para todo o período de amostragem (dezembro de 2006 a setembro de 2007) e para os períodos de seca (junho a setembro) e cheia (dezembro a maio), bem como a variação observada nas concentrações ao longo de todo o estudo ... 57

Tabela 9. Concentrações médias, mínimas e máximas de COD (mg l^{-1}) nos sítios do rio Acre e nos seus tributários para o período de dezembro de 2006 a setembro de 2007.....	59
Tabela 10. Concentrações de DOC em rios de água branca da Bacia Amazônica .	59
Tabela 11. Concentrações médias anuais de COD (mg l^{-1}), pH e OD (mg l^{-1}) nos sítios do rio Acre e nos seus tributários e Correlação de Pearson entre as variáveis ($n=10$, $p<0,05$)	61
Tabela 12. Concentrações médias, mínimas e máximas de COD (mg l^{-1}) nos sítios do rio Acre e nos seus tributários para os períodos de cheia e seca	63
Tabela 13. Correlação de Pearson entre COD (mg l^{-1}), cota do rio (m) e precipitação (mm) nos sítios do rio Acre e nos seus tributários ($n=10$, $p<0,05$)	64
Tabela 14. Concentrações médias, mínimas e máximas de carbono inorgânico dissolvido (CID) em μM nos sítios do rio Acre e nos seus tributários no período de dezembro de 2006 a setembro de 2007.....	67
Tabela 15. Concentrações médias das frações do carbono inorgânico dissolvido total (μM), pH e condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) nos sítios do rio Acre e nos seus tributários para o período de dezembro de 2006 a setembro de 2007.....	69
Tabela 16. Concentrações médias, mínimas e máximas de carbono inorgânico dissolvido total (μM) nos sítios do rio Acre e nos seus tributários para os períodos de cheia e seca	72
Tabela 17. Correlação de Pearson entre CID (μM), cota do rio (m) e precipitação (mm) nos sítios do rio Acre e nos seus tributários ($n=10$, $p<0,05$)	72

Tabela 18. Concentrações médias das frações do carbono inorgânico dissolvido (μM), pH e condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) nos sítios do rio Acre e nos seus tributários nos períodos de cheia e seca 75

Tabela 19. Correlação de Pearson entre HCO_3^- , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} e K^+ para os pontos no rio Acre e nos seus tributários (n=10, $p<0,05$)..... 76

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	OBJETIVOS	24
3	MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1	ÁREA DE ESTUDO	25
3.2	MÉTODOS AMOSTRAIS	36
3.3	MÉTODOS ANALÍTICOS	37
3.4	DADOS HIDROLÓGICOS	39
3.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1	HIDROLOGIA	40
4.2	CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA ÁGUA	42
4.2.1	pH	42
4.2.2	Oxigênio dissolvido	46
4.2.3	Condutividade elétrica	49
4.2.4	Íons dissolvidos	51
4.3	CARBONO ORGÂNICO DISSOLVIDO	58
4.3.1	Variações espaciais	58
4.3.2	Variações sazonais	62
4.4	CARBONO INORGÂNICO DISSOLVIDO	66
4.4.1	Variações espaciais	66
4.4.2	Variações sazonais	70
4.5	PRESSÃO PARCIAL DO CO ₂	77
5	CONCLUSÕES	83
	REFERÊNCIAS	84

1 INTRODUÇÃO

O carbono tem um papel fundamental no equilíbrio da biosfera. Seu ciclo é indispensável para a sua manutenção, pois participa dos principais processos biológicos (fotossíntese e respiração) e, junto com a água, é responsável pelo funcionamento do sistema climático global. O ciclo global do carbono nunca foi tão discutido como hoje, não somente no meio científico mas também na sociedade em geral, devido ao aumento das concentrações de dióxido de carbono na atmosfera, causado principalmente por atividades humanas, o qual provoca o aumento do efeito estufa.

No início de 2007, o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (*International Panel on Climate Change - IPCC*) concluiu, no seu Quarto Relatório de Avaliação AR4, que as temperaturas médias globais neste século subirão entre 2,0 °C e 4,5 °C, o que representa um aquecimento mais rápido do que aquele detectado no século XX e que, aparentemente, não possui precedentes durante, pelo menos, os últimos 10.000 anos (MARENGO, 2006). Apesar de a Terra passar por ciclos naturais de aquecimento e resfriamento, há um consenso científico de que as atividades humanas que resultam na liberação de CO₂ para atmosfera estejam afetando o clima terrestre na sua variabilidade natural.

De acordo com Nobre e Nobre (2002), aproximadamente 8,0 bilhões de toneladas de carbono originados de processos antropogênicos são lançadas na atmosfera anualmente e destas, 3,2 bilhões de toneladas permanecem na atmosfera. Dados coletados por David Keeling no observatório de Mauna Loa (Hawaii), mostraram um aumento de 19,4% na concentração média anual de CO₂ no período de 1959 a 2004, aumentando de 316 para 377 partes por milhão por volume (ppm) de ar neste período (KEELING ; WHORF, 2005). Se forem considerados os valores pré-industriais, quando a concentração atmosférica era de 277 ppm, este aumento representa cerca de 31% e mais da metade deste aumento ocorreu nos últimos 50 anos (MARENGO, 2006).

Apenas o desmatamento da Amazônia brasileira é responsável pela emissão anual de aproximadamente 200 milhões de toneladas de carbono para atmosfera (HOUGHTON, SKOLE e NOBRE, 2000). Dados do Instituto Brasileiro de Pesquisas Espaciais (INPE, 2007), mostram também que a taxa de desmatamento na

Amazônia para o biênio 2004/2005 foi de 18.793 Km² transformando a região em uma grande fonte de CO₂ para atmosfera.

Contudo, vários estudos realizados nos últimos 20 anos têm abordado as relações dos ecossistemas amazônicos com o clima e também com o ciclo do carbono e os resultados ainda não esclareceram se a região realmente funciona como fonte ou sumidouro de carbono para a atmosfera. Um estudo relacionado ao aumento global da produtividade primária líquida, indicou que as florestas amazônicas seriam responsáveis por 42% deste aumento (NEMANI et al. 2003) e alguns estudos (GRACE et al., 1995; MALHI et al., 1998) apontam que florestas de terra firme estariam atuando como grande sorvedouro de carbono. Porém, estudos mais recentes, mostram um balanço líquido próximo de zero (MILLER *et al.*, 2004). Outro estudo, realizado por Saleska, Miller e Matross (2003), na Floresta Nacional do Tapajós, Santarém-PA, indica uma variabilidade dos fluxos na soma anual positiva, relacionada principalmente aos distúrbios causados, nesta parte da floresta amazônica, por períodos de seca (anos de “El Nino”) que aumentam a mortalidade das árvores e levam a uma grande liberação de CO₂ no início do período chuvoso, devido ao processo de decomposição. Para estes autores, em termos anuais, a floresta de Tapajós apresenta emissão líquida de CO₂.

Ainda existem muitas incertezas associadas a estes resultados e algumas estimativas são muitas vezes incompletas considerando o tamanho e a complexidade da região. Desta forma, outros aspectos do ciclo do carbono, usualmente desconsiderados, podem ter um papel mais relevante do que o anteriormente previsto como, por exemplo, a quantidade de carbono que é primariamente fixado pela floresta e então lixiviado dos solos para os sistemas fluviais.

O principal papel dos sistemas aquáticos no ciclo global do carbono tem sido considerado como o de exportadores fluviais de carbono orgânico total (COT) e carbono inorgânico dissolvido (CID) para o oceano, 0,4 – 0,8 e 0,4 Gt C ano⁻¹ respectivamente (DEGENS, KEMPE e RICHEY, 1991). Porém, estudos realizados em alguns grandes rios como o Amazonas (DEVOL et al., 1987; RICHEY et al., 1988), mostraram que a concentração de CO₂ dissolvido nos mesmos é cerca de 10 a 15 vezes maior que o esperado para um equilíbrio com a atmosfera. Estas observações documentam que os rios não somente transportam carbono da terra para os oceanos, mas estão também ativamente emitindo CO₂ para a atmosfera. De

fato, segundo Richey et al. (2002) a evasão de CO₂ para a atmosfera, a partir das águas superficiais da parte central da bacia amazônica (1,77 milhão de km²) é de 210 ± 60 Tg C ano⁻¹. Se os valores de fluxos observados fossem extrapolados para toda a Amazônia, a evasão total de carbono seria cerca de 470 Tg C ano⁻¹. A conclusão à que estes autores chegaram é que o fluxo de carbono emitido pela bacia é muito maior do que a descarga fluvial de carbono para o oceano Atlântico. No entanto, os valores exatos desta evasão ainda são desconhecidos, o que nos força a revisar os conceitos sobre os mecanismos de acoplamento entre os ecossistemas terrestres e aquáticos.

Processos que ocorrem no ambiente terrestre são os principais determinantes naturais da composição e concentrações de carbono orgânico e inorgânico nos rios. O carbono orgânico dissolvido (COD) é composto principalmente por substâncias húmicas (ERTEL et al., 1986; RICHEY et al., 1990; BERNARDES et al., 2004), se constitui no segundo maior reservatório de carbono nos sistemas aquáticos (DEVOL ; HEDGES, 2001) representado mais de 50% do carbono orgânico total nos rios de água branca e cerca de 90% nos rios de água preta (HEDGES et al., 1986; RICHEY et al., 1990; AUCOUR et al., 2003) e tem como principal fonte a matéria orgânica do solo (PROBST, MORTATTI e TARDY, 1994). Processos como adsorção, sedimentação, consumo de matéria orgânica e lixiviação são processos que determinam as concentrações e os fluxos de DOC nos rios amazônicos (ERTEL et al., 1986; HEDGES et al., 1986; GUYOT; WADSSON., 1994). Atividades antrópicas como mudanças no uso e cobertura da terra (FARELLA et al., 2001; BERNARDES et al., 2004) e lançamento de esgoto urbano (MARTINELLI et al., 1999; DANIEL et al., 2002; KRUSCHE et al., 2002) também alteram as concentrações de carbono orgânico nos sistemas aquáticos.

O carbono inorgânico é encontrado principalmente na forma dissolvida (CID) e pode ocorrer no ambiente aquático em três frações: CO₂ livre (CO₂ + H₂CO₃), íons bicarbonato (HCO₃⁻) e carbonato (CO₃²⁻) (FINLAY, 2002). Dentre os processos que determinam suas concentrações estão: (1) a respiração de microorganismos e raízes no solo, que enriquecem em CO₂ as águas que percolam o mesmo e do lençol freático; (2) a respiração de plantas aquáticas e a respiração heterotrófica da matéria orgânica dentro do canal do rio; (3) trocas com CO₂ atmosférico e (4) o intemperismo de rochas (TELMER ; VEIZER, 1999; HOPE et al., 2004, RASERA, 2005).

As três primeiras fontes de CID envolvem um equilíbrio do CO₂ com a água, que pode ser demonstrado pelas equações 1, 2 e 3, descritas abaixo (DREVER, 1997; STUMM e MORGAN¹, 1996 apud RASERA, 2005):



Estas reações são dependentes do pH, isto é, da atividade dos íons H⁺ e desta forma, o pH das águas naturais determina em grande parte a distribuição destas frações. No rio Amazonas a fração dominante é o íon bicarbonato (RICHEY et al., 1990), onde este contribui com cerca de 90% para CID total, sendo que esta porcentagem cai para cerca de 57% nos tributários e 50% nas áreas de várzea, devido a uma diminuição do pH nessas águas (DEVOL ; HEDGES, 2001).

Segundo Mayorga *et al.* (2005), as concentrações de carbono inorgânico dissolvido e sua subsequente evasão devem-se predominantemente ao processo de respiração do carbono orgânico transportado para dentro do canal dos rios. Utilizando evidências de ¹⁴C e ¹³C do CID, do carbono orgânico dissolvido e das frações de carbono orgânico fino em suspensão e particulado grosso, estes autores encontraram valores que indicam que o carbono evadido em alguns rios da bacia do Ji-Paraná foram fotossinteticamente seqüestrados da atmosfera há 5 ou 6 anos. Isto indica que uma fração de matéria orgânica mais recente estaria atuando como substrato para a respiração e sustentando a supersaturação e o processo de evasão destes rios. Este fato demonstra não somente as ligações das formas do carbono (orgânica e inorgânica, particulada e dissolvida) como também as conexões existentes entre os sistemas aquático e terrestre. Portanto, alterações provocadas nos ambientes terrestres, como mudanças no uso e cobertura da terra e ocupação urbana, podem ser refletidas na dinâmica do carbono em sistemas aquáticos.

A abundância e a escassez nas chuvas que marcam os principais períodos sazonais da região Amazônica também é um fator determinante na dinâmica do carbono em sistemas fluviais. O movimento da água dentro de uma bacia influencia as transformações entre as formas biogeoquímicas (orgânica e inorgânica) do

¹ STUMM, W.; MORGAN, J.J. **Aquatic chemistry**: chemical equilibrium and rates in natural waters. New York; John Wiley & Sons, 1996. 1022p.

carbono (McCLAIN ; ELSENBEER, 2001). Estudos realizados em igarapés no sudeste da Amazônia mostram que o maior transporte de carbono orgânico do solo para os sistemas fluviais acontece principalmente no período de chuvas, via escoamento superficial (JOHNSON et al. 2006; SELVA et al., 2007). Contudo, Richey et al. (1990) não encontrou diferenças significativas nas concentrações de COD no rio Amazonas entre os períodos sazonais. Isto mostra que os fatores sazonais podem ser mais determinantes em sistemas menores.

Para o CID, a variação da descarga influencia tanto suas concentrações quanto a distribuição de suas frações. As maiores concentrações são encontradas no período de menor vazão e há um predomínio de bicarbonatos (RICHEY et al., 1990; RASERA, 2005). No período de chuvas, o efeito de diluição na água do rio somado ao aumento da taxa respiratória, leva a um aumento das concentrações de CO₂ livre e, portanto, o sistema se torna mais saturado e grande parte deste CO₂ é então evadido para a atmosfera.

A grande maioria dos trabalhos relacionados à dinâmica do carbono em ecossistemas fluviais amazônicos está concentrada principalmente nas regiões central e oriental da bacia. A parte ocidental ainda é pouco estudada, no entanto a bacia do rio Ji-Paraná vem recebendo um esforço amostral bastante considerado. Estudos realizados na região sudoeste da Amazônia ainda são muito escassos. O estado do Acre destaca-se por possuir uma das maiores biodiversidades da Amazônia e manter intactos ainda aproximadamente 90% de sua floresta nativa e possuir aproximadamente 45% de seu território constituído de áreas naturais protegidas (IMAC, 2006). No entanto, toda essa riqueza está continuamente sendo ameaçada em função de diversos fatores, dentre eles destacam-se o avanço da fronteira agrícola em áreas de floresta e pecuária extensiva, iniciados ainda na década de 60 e que se concentram principalmente dentro dos limites da bacia do rio Acre (COSTA ; SOUZA JR., 2005). O presente trabalho teve como objetivo principal avaliar a dinâmica do carbono dissolvido em um trecho urbano do rio Acre (Rio Branco), levando em consideração a descarga de três de seus tributários, bem como a influência do lançamento de esgotos oriundos da cidade de Rio Branco. Este pode ser considerado um dos trechos mais importantes do rio Acre uma vez compreende uma área que recebe a contribuição do seu maior tributário (Riozinho do Rola) e de um dos tributários mais degradados da bacia (igarapé São Francisco), além de ser um trecho que sofre a influencia da maior cidade do estado, Rio Branco.

2 OBJETIVOS

Geral:

Estudar a dinâmica do carbono dissolvido ao longo de um trecho do rio Acre, avaliando a influência da área urbana da cidade de Rio Branco, e da descarga de três de seus tributários (Riozinho do Rola, igarapé Judia, igarapé São Francisco), bem como a influência das mudanças hidrológicas sazonais.

Específicos:

1. Realizar a caracterização química da água do rio Acre e em três de seus tributários (Riozinho do Rola, igarapé Judia e igarapé São Francisco);
2. Determinar as concentrações de carbono orgânico e inorgânico dissolvidos em diferentes pontos do rio Acre, verificando se existe variação nas concentrações ao longo do trecho estudado em decorrência de esgotos urbanos e a contribuição dos tributários;
3. Avaliar a influência das variações hidrológicas sazonais nas concentrações de carbono orgânico e inorgânico dissolvidos no rio Acre e em seus tributários;
4. Determinar a pressão parcial do CO_2 ($p\text{CO}_2$) no rio Acre e em seus tributários, colaborando assim com a ampliação da rede amostral em sistemas aquáticos amazônicos para melhorar a estimativa da taxa regional de evasão de CO_2 para a atmosfera.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O estado do Acre se encontra na região sul-ocidental do Brasil, ocupando uma área de 163.000 km² e fazendo fronteira com Peru e Bolívia. Geologicamente 80% do estado é ocupado pela Formação Solimões, atribuída a deposições principalmente no Terciário Inferior. Os solos são classificados como argilosos distróficos, com algumas áreas eutróficas e algumas manchas de latossolos amarelos. A taxa de desmatamento para o biênio 2004/2005 foi igual a 743 km² ano⁻¹ (INPE, 2007), sendo registrados os maiores índices de desmatamento e queimada nas regiões do Alto e Baixo Acre. O clima é tropical úmido com temperatura média de 26 °C e precipitação anual média de 2000 mm. A estação chuvosa começa em dezembro e se estende até abril com maior precipitação ocorrendo em fevereiro (média igual a 299 mm) e a estação seca compreende os meses de maio a outubro, sendo junho o mês mais seco (média de 32 mm). A umidade relativa do ar está entre 75 e 95%. (DUARTE *et al.*, 2000). As duas principais bacias hidrográficas do estado são: a bacia do rio Juruá, que drena a parte oeste do estado; e a bacia do rio Purus, que drena a parte leste.

A bacia do rio Acre

A bacia do rio Acre (Figura 1) faz parte da bacia do Purus. Sua área é de aproximadamente 23.000 km² e situa-se entre o limite ocidental da Plataforma Sul-Americana e a Cordilheira Andina. Está limitada a leste e sudeste pelo Arco de Iquitos; a sul, pelo Escudo Brasileiro; e a oeste e noroeste, estende-se pelo território peruano, com o nome de bacia Pastaza, onde se acha limitada pela Cordilheira Oriental Andina (ACRE, 2006).

Quanto à geologia, a bacia do rio Acre encontra-se inserida na província geológica atribuída à era Cenozóica, (era que divide os períodos Terciário e Quaternário), cujos depósitos de sedimentos são representados pela formação Solimões, unidade que sustenta os relevos dissecados de terra-firme e os relevos em formação pelos processos de hidroformismo nas planícies de inundação (Mesquita, 2001). Os solos (Figura 3) predominantes na bacia são o Podzólico

Vermelho-Amarelo na área de terra-firme, com exceção da sub-bacia do igarapé Judia, onde há um predomínio de Argissolo Vermelho-Amarelo. Na área de várzea, no entanto, há predomínio de Gleissolo (ACRE, 2006).

O rio Acre nasce em cotas da ordem de 300m de altitude. Seu alto curso, até a localidade do Seringal Paraguaçu, atua como divisa entre Brasil e Peru, e deste ponto em diante, até Brasília, marca a divisa entre Brasil e Bolívia. A partir daí, adentra em território brasileiro, percorrendo mais de 1.190 km, desde suas nascentes até a desembocadura, na margem direita do Purus, na cidade de Boca do Acre, estado do Amazonas (BRASIL, 2007). É considerado um dos principais rios do estado, e responsável pelo abastecimento de água da cidade de Rio Branco, capital do estado.

O rio Acre possui picos claros que indicam uma temporada marcada por alta e baixa vazão (Figura 5). A vazão média do rio é de $350 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. As vazões mais altas são registradas durante os meses de janeiro a abril, com máxima registrada de $1462,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, enquanto que as vazões mínimas ocorrem nos meses de agosto a outubro, com média de $35,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (SILVA ; LATRUBESSE, 1996). Com relação ao nível de suas águas, o rio Acre tem uma altura média anual de 8,25 m e nível mínimo médio anual de 1,20 m. A cota de alerta de enchentes é de 13,50 m e a cota de transbordamento é de 14,50 m. Essa movimentação de descida e subida das águas obedece ao regime pluviométrico, que corresponde maior ou menor intensidade de chuvas na bacia (MESQUITA, 2001). A Figura 6 mostra os dados de precipitação e cota do rio Acre para os últimos 6 anos e a Figura 7 mostra as vazões registradas para o período de 1998 a 2003.



Figura 1. Bacia do rio Acre.

Fonte: SIPAM/PA.

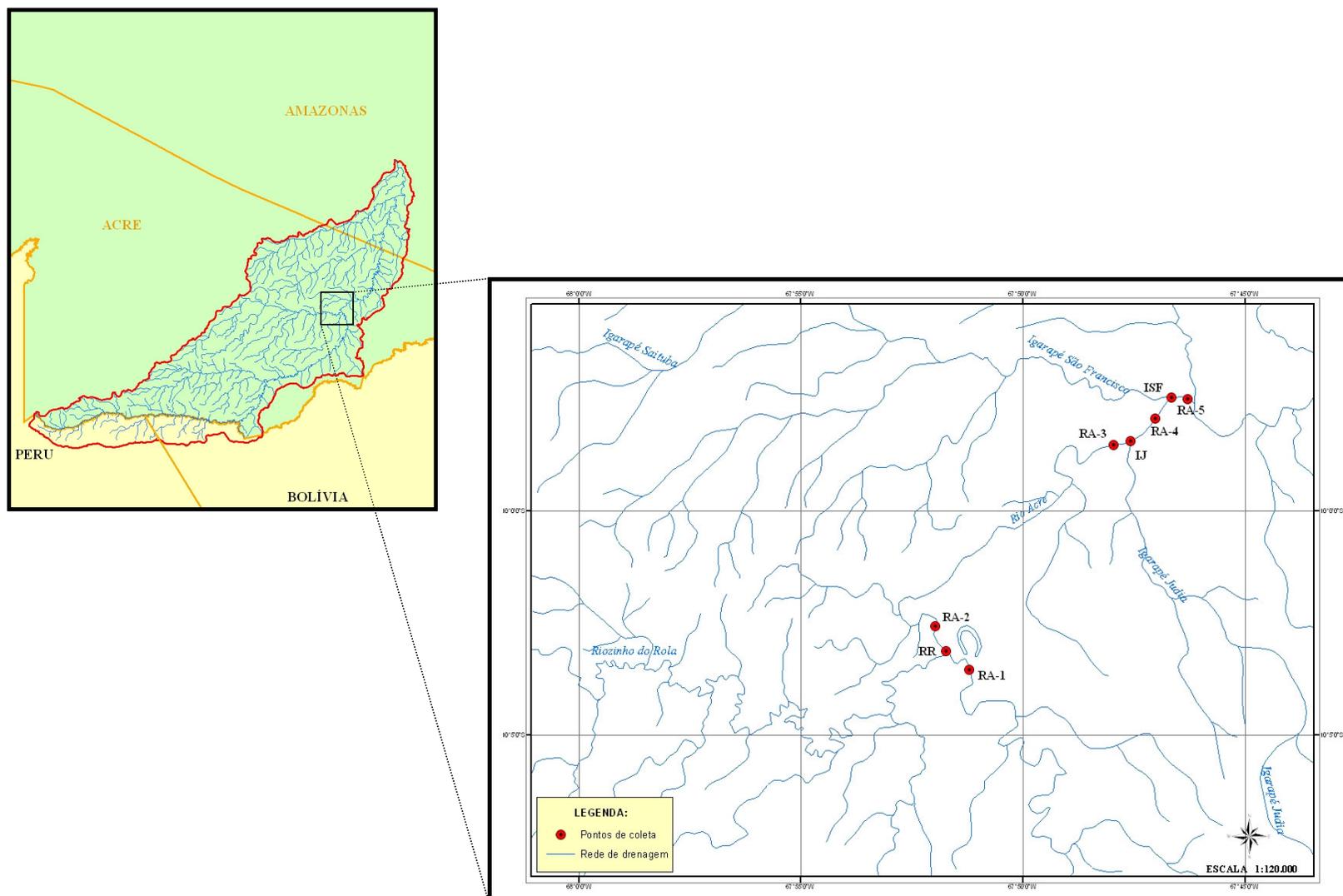


Figura 2. Localização e rede de drenagem do trecho de estudo na bacia do rio Acre.

Fonte: SIPAM/PA

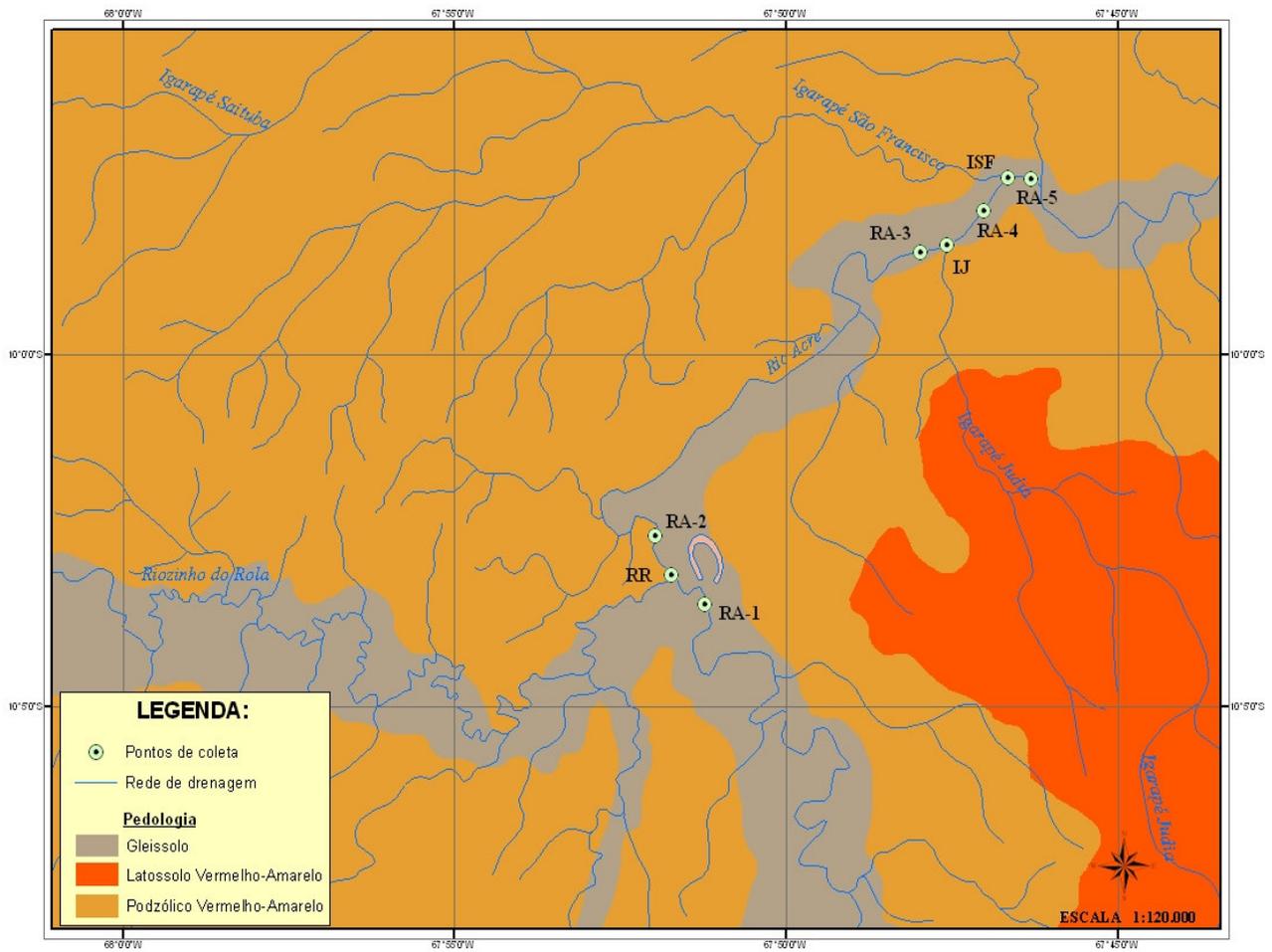


Figura 3. Pedologia do trecho de estudo na bacia do rio Acre.

Fonte: SIPAM/PA

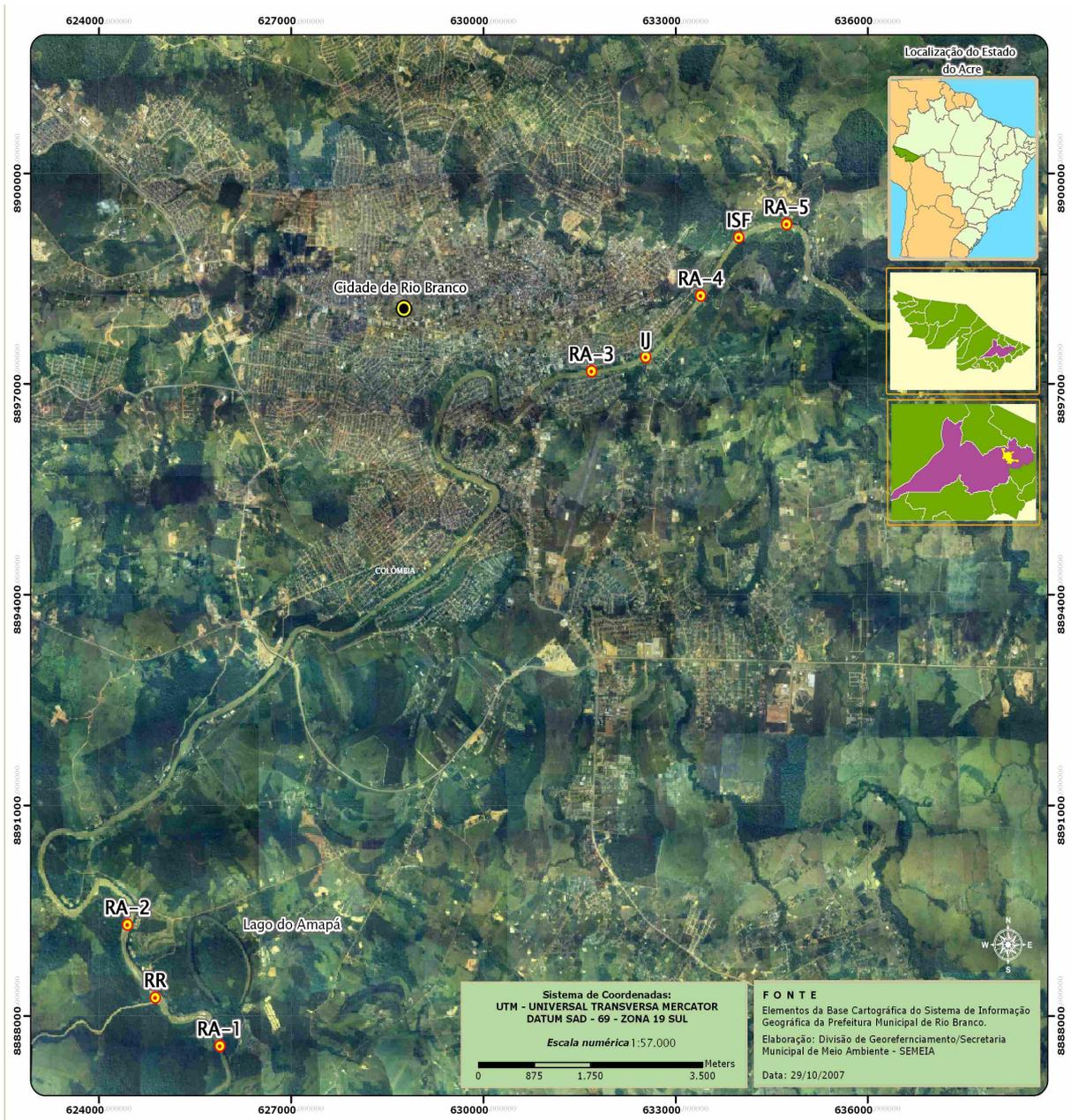


Figura 4. Imagem de satélite do trecho de estudo na bacia do rio Acre.



Figura 5. Rio Acre em período de cheia e seca.

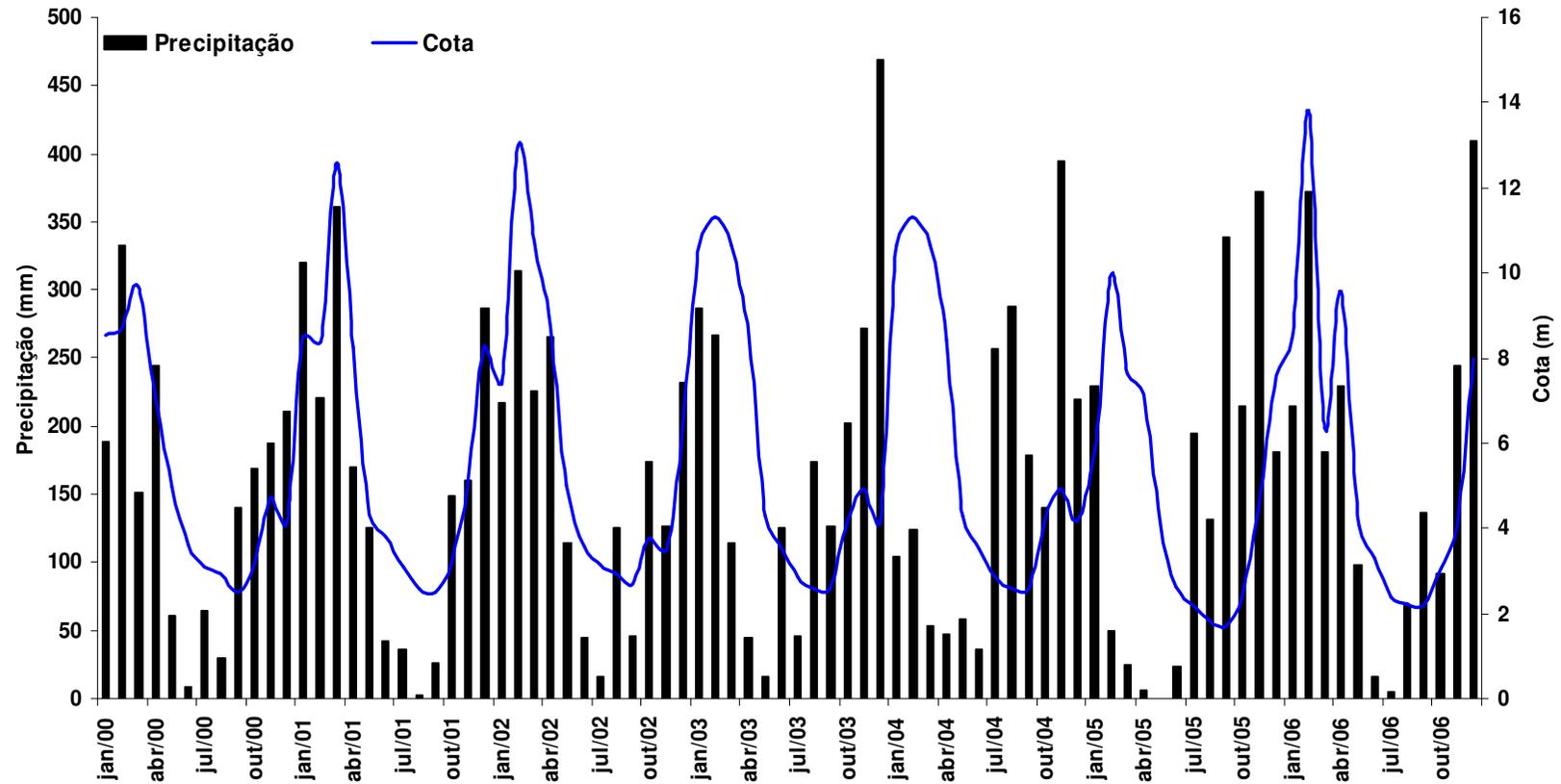


Figura 6. Precipitação mensal acumulada e cota mensal do rio Acre para o período de 2000 a 2006

Fontes: Estação Meteorológica da UFAC e SIPAM/PA.

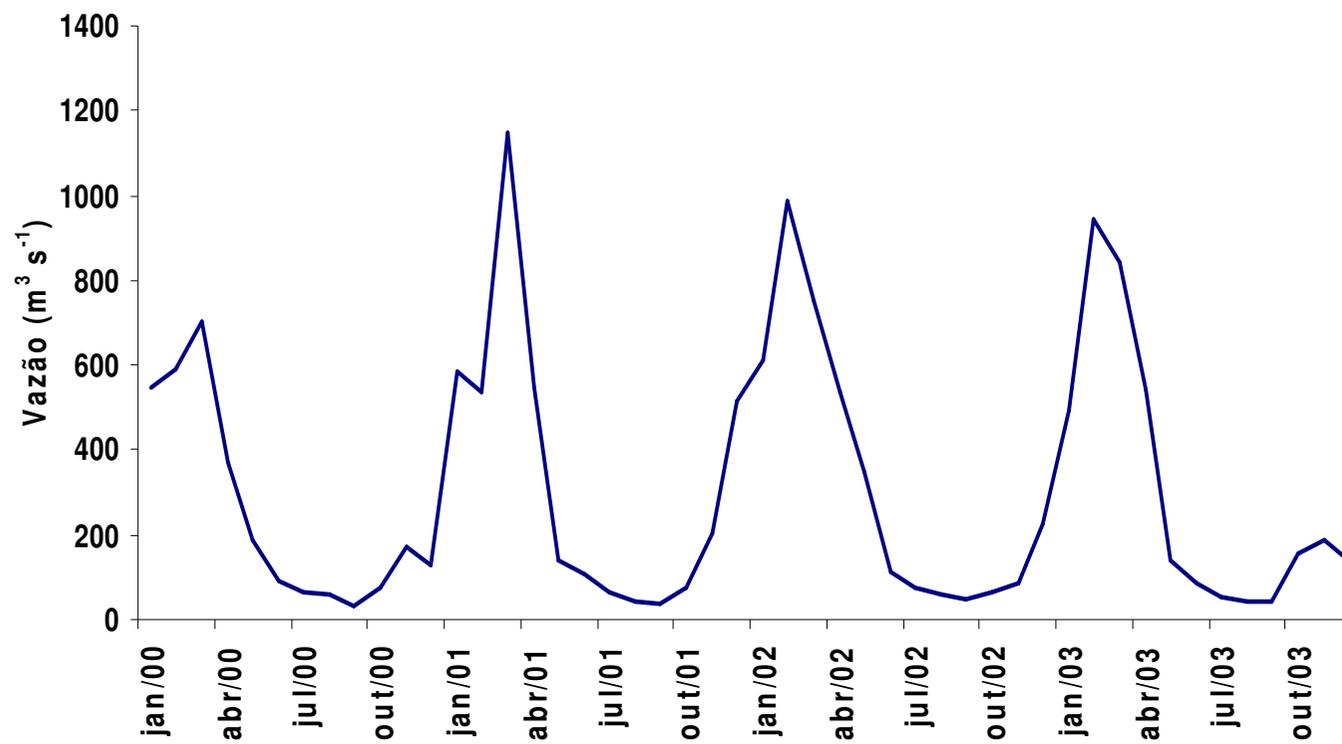


Figura 7. Vazões médias mensais do rio Acre para o período de 1998 a 2003.

Fonte: SIPAM/PA

Riozinho do Rola

O Riozinho do Rola (Figura 8) é considerado o maior e mais importante afluente do rio Acre com uma área de drenagem de aproximadamente 7.600 Km². Percorre uma distância aproximada de 226 km até o rio Acre, sendo responsável pelas grandes enchentes cíclicas que ocorrem na cidade de Rio Branco por apresentar uma grande área de captação de chuvas e por sua foz desaguar no rio Acre a 10 km a montante da cidade (MESQUITA, 2001).



Figura 8. Riozinho do Rola.

Igarapé Judia

O igarapé Judia (Figura 9) tem uma área de drenagem de aproximadamente 123 km² sendo classificada como do tipo endorreica, possuindo um padrão de drenagem do tipo dendrítico, característico da região amazônica, desenvolvendo-se sobre rochas de resistência uniforme ou em estruturas sedimentares horizontais (GUERRA e CUNHA², 2001 apud SANTOS, 2005). O mesmo percorre uma distância de 36 km até sua foz, na margem direita do rio Acre, dentro da cidade de Rio Branco (SANTOS, 2005).

O igarapé Judia, assim como todos os seus tributários, está localizado em terrenos onde predominam sedimentos argilosos, areno-argilosos e siltosos. Apresenta manchas de solos hidromórficos gleyzados eutróficos, porém em toda sua extensão há o predomínio da tipologia Latossolo Amarelo (GUERRA e CUNHA², 2001 apud SANTOS, 2005).

² GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.



Figura 9. Igarapé Judia.

Igarapé São Francisco

O igarapé São Francisco (Figura 10) é contribuinte da margem esquerda do rio Acre. Sua rede de drenagem ocupa uma área de aproximadamente 450 km² entre a rodovia federal BR 364 e a rodovia estadual AC-90 (Transacreana), sendo cerca de 30 km² cerca (7%) formada pela área urbana da cidade de Rio Branco, e 420 km² (93%) pela zona rural (VIEIRA et al., 2003). Predominam na área os solos dos tipos Argissolo Amarelo e Argissolo Vermelho (ACRE, 2006).



Figura 10. Igarapé São Francisco.

Pontos de Coleta

Os pontos de coleta foram:

RA1 – rio Acre à montante da confluência com o Riozinho do Rola (S 10° 03.796' W 067° 51.075');

RA2 – rio Acre à jusante da confluência com o Riozinho do Rola (S 10° 02.783' W 067° 51.901');

RA3 – rio Acre à montante da confluência com o igarapé Judia (S 09° 58.478' W 067° 47.953');

RA4 – rio Acre à jusante da confluência com o igarapé Judia e à montante da confluência com o igarapé São Francisco (S 09° 37.945' W 067° 47.026');

RA5 – rio Acre à jusante da confluência com o igarapé São Francisco (S 09° 57.411' W 067° 46.357');

RR – Foz do Riozinho do Rola (S 10° 03.448' W 067° 51.948');

IJ – Foz do igarapé Judia (S 09° 58.478' W 067° 47.899');

ISF – Foz do igarapé São Francisco (S 09° 57.423' W 067° 46.853').

3.2 MÉTODOS AMOSTRAIS

As coletas foram realizadas entre dezembro de 2006 e setembro de 2007.

Em cada ponto foi feita uma coleta de 1 litro de água com o auxílio de uma bomba de imersão. As amostras eram acondicionadas em isopor com gelo e levadas ao Laboratório de Limnologia da Universidade Federal do Acre para posteriormente serem feitas filtrações e obtidas as seguintes alíquotas:

- 3 alíquotas de 20 ml, filtradas com filtros de fibra de vidro (porosidade de 0,7 μm) acondicionadas em frascos de vidro pré-calcinados e preservadas com HgCl_2 a uma concentração final de 300 μM para a determinação das concentrações de carbono orgânico dissolvido;
- 1 alíquota de 60 ml, filtrada com filtro de acetato de celulose (porosidade de 0,47 μm), acondicionada em frasco de polietileno e

preservada com 6 mg de *Thymol*, para a determinação das concentrações de íons dissolvidos e carbono inorgânico dissolvido.

A determinação imediata de pH e temperatura da água foi feita com medidor portátil Orion, modelo 250A. A concentração de oxigênio dissolvido foi medida com um oxímetro portátil YSI, modelo 58 e a condutividade elétrica com um condutivímetro Amber Science, modelo 2052. As medidas destas variáveis físico-químicas foram realizadas emergindo-se os sensores desses equipamentos diretamente no canal fluvial.

3.3 MÉTODOS ANALÍTICOS

Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Ecologia Isotópica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP).

As concentrações de carbono orgânico dissolvido e carbono inorgânico dissolvido foram determinadas utilizando um equipamento da marca Shimadzu, modelo TOC 5000A, com detecção na forma de CO₂ em um analisador de gases não dispersivo com absorvância no comprimento de onda infra-vermelho. O equipamento possui duas vias de análise, sendo uma para a fração orgânica e a outra para a fração inorgânica.

Carbono Orgânico Dissolvido (COD)

Uma alíquota da amostra foi previamente acidificada até pH 1,0, borbulhada com ar sintético para retirar a fração inorgânica do carbono (convertida em CO₂ pela acidificação) e então injetada no equipamento, onde foi queimada à 680 °C. O gás produzido pela queima foi então carregado até chegar ao detector (a detecção é feita em sensor de absorção no comprimento de onda do infravermelho), onde o CO₂ produzido pela queima é quantificado. As concentrações são determinadas por comparação com padrões extremos.

Carbono Inorgânico Dissolvido (CID)

Para quantificar o carbono inorgânico dissolvido não há pré-acidificação ou queima. A amostra é injetada diretamente e carregada para dentro de um recipiente com ácido, onde os carbonatos passam à forma de CO₂, que é então carregado até o

detector de gás por infravermelho seguindo o mesmo procedimento citado para o carbono orgânico. As concentrações foram determinadas conforme descrito acima.

Frações do CID e pCO_2

A determinação das frações do CID e pCO_2 seguiu a mesma metodologia utilizada por Rasesa (2005), onde foram obtidas através de equações de equilíbrio termodinâmico, com base nas concentrações de CID, pH e temperatura (SKIRROW, 1975):

$$[CO_2^*] = \frac{CID \cdot (10^{-pH})^2}{(10^{-pH})^2 + k_1 \cdot (10^{-pH}) + k_1 \cdot k_2} \quad (4)$$

$$[HCO_3^-] = \frac{CID \cdot k_1 \cdot (10^{-pH})}{(10^{-pH})^2 + k_1 \cdot (10^{-pH}) + k_1 \cdot k_2} \quad (5)$$

$$[CO_3^{2-}] = \frac{CID \cdot k_1 \cdot k_2}{(10^{-pH})^2 + k_1 \cdot (10^{-pH}) + k_1 \cdot k_2} \quad (6)$$

$$[pCO_2] = \frac{[CO_2^*]}{k_0} \quad (7)$$

Onde $[CO_2^*]$ corresponde à soma das frações $[CO_2(aq)]$ e $[H_2CO_3]$.

As constantes de equilíbrio foram calculadas em função da temperatura de acordo com Szaran (1998):

$$pk_0 = -108,3865 - 0,01985076 \cdot Tk - 669365/Tk^2 + 40,451 \cdot \log_{10}(Tk) \quad (8)$$

$$pk_1 = -14,8435 + 0,032786 \cdot Tk + 3404,7/Tk \quad (9)$$

$$pk_2 = -6,498 + 0,02379 \cdot Tk + 2902,39/Tk \quad (10)$$

Íons dissolvidos

Para a determinação das concentrações íons dissolvidos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , e PO_4^{3-}) foram realizadas análises através

da técnica de cromatografia líquida com supressão de íons, empregando um equipamento Dionex DX-500, acoplado a amostrador automático.

O método consiste na injeção da amostra em uma fase móvel, passando por uma coluna de troca iônica (fase estacionária), com sua detecção sendo obtida por condutividade elétrica. As colunas analíticas empregadas foram IonPac AS14HC (4 mm) para os ânions e CS12A (4 mm) para os cátions. As concentrações foram determinadas por comparação com padrões.

3.4 DADOS HIDROLÓGICOS

Os dados sobre a hidrologia da bacia foram utilizados para melhor caracterização sazonal do período de estudo. Para isso, foram obtidos dados de precipitação acumulada junto à Estação Meteorológica da Universidade Federal do Acre (latitude 09° 57' S e longitude 67° 52' W) e os dados de cota do rio foram obtidos com a Coordenadoria Estadual de Defesa Civil (CEDEC/AC). Ainda foram obtidos dados históricos de vazão junto ao Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM) de Belém, estado do Pará.

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para auxiliar na interpretação e discussão dos resultados foram realizados primeiramente testes de normalidade dos dados.

Para os dados que apresentaram uma distribuição considerada normal, a Análise de Variância (ANOVA) foi utilizada para verificar se havia diferenças entre os pontos de coleta e entre os períodos sazonais. Para aqueles que não tiveram uma distribuição normal, o teste de Kruskal-Wallis foi utilizado. Estes testes fazem parte do software STATISTICA 6.0 e as diferenças foram consideradas significativas para $p < 0,05$.

Para as análises de correlação entre variáveis foi utilizado o teste de Correlação de Pearson, com o auxílio do programa BioStat 4.0 e as análises de regressão, médias e desvio padrão foram feitas no Excel 2003. As correlações e as equações de regressão foram consideradas significativas para $p < 0,05$.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 HIDROLOGIA

A Figura 11 mostra os dados de cota do rio Acre (A) e precipitação (B) registrados durante o período de estudo em estações de medidas localizadas na cidade de Rio Branco entre o período de outubro de 2006 e setembro de 2007. As maiores cotas foram registradas de dezembro a maio, com máxima em março (10,94 m). O período em que o rio Acre apresentou seu nível da água mais baixo ocorreu entre junho e setembro, com a cota mínima de 1,92 m registrada em setembro.

A precipitação total para o período de outubro de 2006 a setembro de 2007 foi de 2057,8 mm, com as maiores precipitações ocorrendo entre novembro e abril (410 mm em dezembro) e as menores entre junho e setembro (20,3 mm em julho). Vale ressaltar que a precipitação observada em setembro (15 mm) refere-se até o dia 10, quando feita a última amostragem e que a precipitação total para este mês foi de 150 mm.

Como não foi possível obter dados reais de vazão para o período de amostragem foi feita uma análise de regressão entre vazão e cota com dados registrados entre 1998 e 2003 e estabelecido um modelo (equação da curva-chave cota-vazão) para a estimativa das vazões no período de amostragem (Figura 12). Os valores calculados são mostrados na Figura 13, onde a maior vazão foi observada nos meses de fevereiro e março ($905,32 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ em março), coincidindo com dados registrados para outros anos e a menor vazão foi registrada nos meses de agosto e setembro, com a mínima registrada em setembro ($24,67 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$).

Tomando como base os dados hidrológicos não só do período de amostragem, que foi de dezembro de 2006 a setembro de 2007, mas também os dados registrados para anos anteriores, o período de estudo pôde ser dividido em períodos sazonais distintos: **Período de cheia**, compreendendo os meses de dezembro a maio, e **Período de seca**, compreendendo os meses de junho a setembro. Ainda não existem dados de cota e vazão para os tributários amostrados.

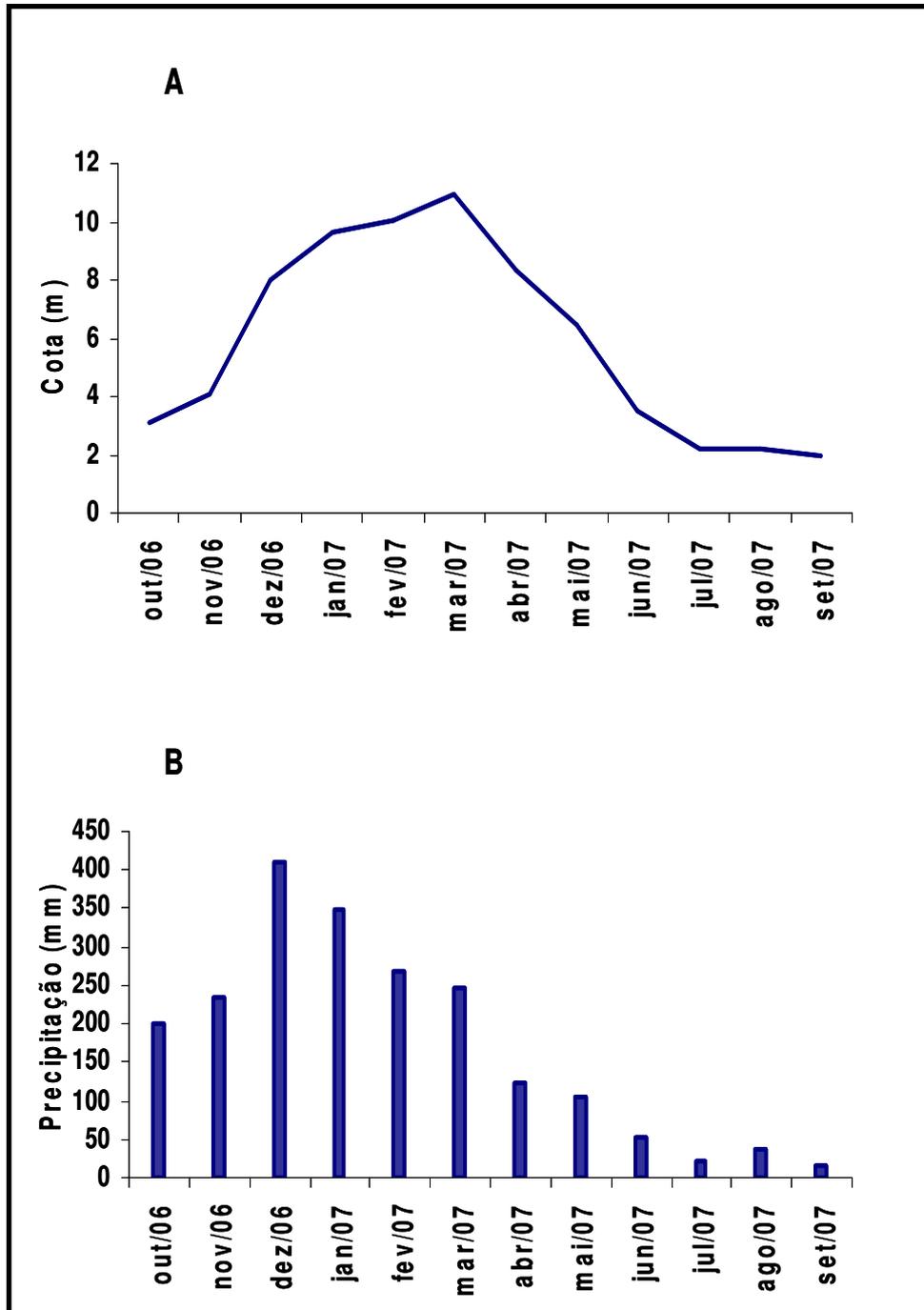


Figura 11. Valores médios mensais de cota do rio Acre (A) e precipitações mensais acumuladas (B) para o período de outubro de 2006 a setembro de 2007.

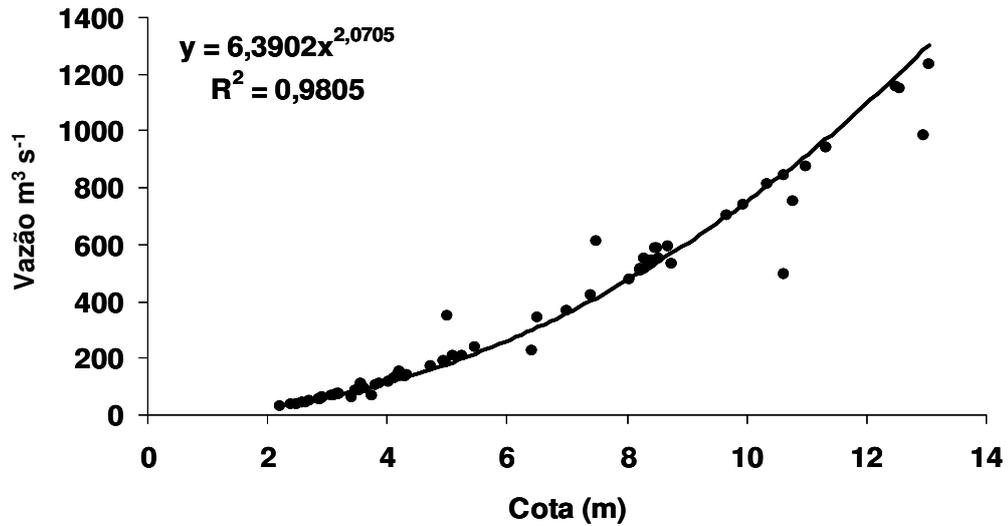


Figura 12. Correlação entre vazão e cota fluviométrica do rio Acre incluindo a equação da curva-chave.

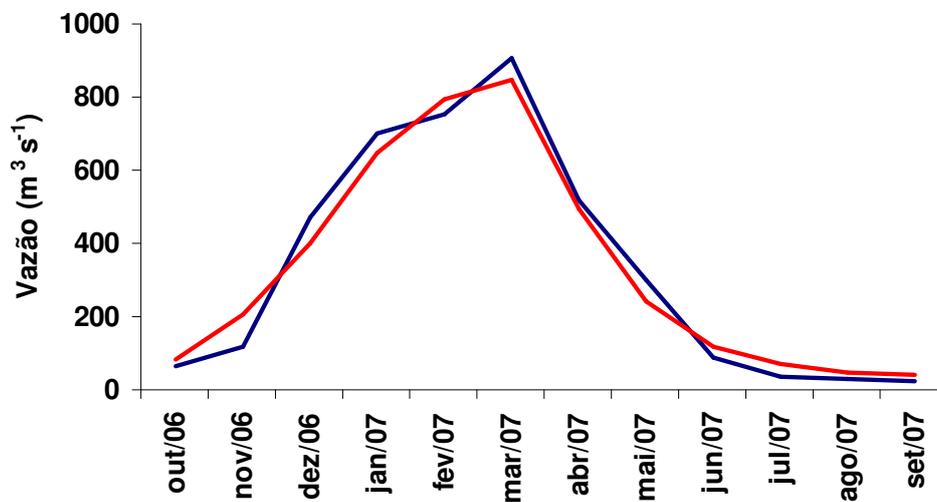


Figura 13. Vazão calculada do rio Acre para o período de outubro de 2006 a setembro de 2007. A linha em vermelho representa as médias históricas registradas entre os anos de 1998 e 2003.

4.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA ÁGUA

4.2.1 pH

A Figura 14 mostra os valores médios anuais de pH no rio Acre e nos seus tributários. No rio Acre os valores médios variaram de 6,46 (RA2) a 6,52 (RA1) e não houve diferenças significativas entre os pontos de coleta. Os valores máximos e mínimos de pH estão na Tabela 1. Mascarenhas et al. (2004) encontrou um valor médio de pH no Alto Acre (cidades de Brasiléia e Assis Brasil) igual a 6,73 com valores que variaram entre 6,40 e 6,95. Portanto, os valores médios de pH encontrados no trecho do presente estudo não diferem dos valores observados em estudos em trechos mais a montante.

O pH apresentou um caráter mais ácido no período de cheia (Tabela 2) e os valores médios encontrados para os pontos do rio Acre variaram de 6,28 (RA2) a 6,33 (RA1, RA4). Quando o rio apresentou um nível de água mais baixo, os valores de pH tenderam a ser neutros. O maior valor foi observado no ponto RA1 (7,27) e o menor valor para o período seco foi de 7,13 tanto em RA2 com em RA3. Todos os pontos de coleta do rio Acre apresentaram diferenças significativas entre os períodos sazonais ($p < 0,05$). Furtado (2005) encontrou valores médios de pH iguais a 6,34 na cheia e 7,57 na seca para o mesmo trecho de estudo.

O Riozinho do Rola e o igarapé Judia apresentaram valores médias anuais de pH menores em comparação ao rio Acre, com médias iguais a 6,17 e 6,10, respectivamente, enquanto que o igarapé São Francisco teve um pH médio anual igual a 6,51.

Com relação aos períodos sazonais, os tributários apresentaram o mesmo padrão observado no rio Acre. O Riozinho do Rola apresentou um pH médio igual a 6,03 na cheia e 6,54 no período de cheia. O igarapé Judia apresentou valores médios iguais a 5,96 e 6,49 para cheia e seca, respectivamente. O igarapé São Francisco apresentou pH menos ácido comparado aos demais tributários, e chegando a ser observado águas de caráter básico na seca (com pH igual a 6,32 na cheia e 7,20 no período de seca). Os tributários também apresentaram diferenças significativas nos valores de pH entre os períodos sazonais ($p < 0,05$).

O pH é de extrema importância nos estudos de dinâmica do carbono em sistemas aquáticos. Este parâmetro é o reflexo da geologia e solos da bacia de

drenagem sobre a química da água e é o principal responsável pela distribuição das frações de carbono inorgânico dissolvido nos sistemas aquáticos (ESTEVES, 1998).

Tabela 1. Valores médios, mínimos e máximos de pH nos pontos no rio Acre e nos seus tributários para o período de dezembro de 2006 a setembro de 2007.

Pontos	Média	Mínimo	Máximo
RA1	6,52	6,2	7,53
RA2	6,46	6,06	7,46
RA3	6,47	6,18	7,39
RA4	6,51	6,23	7,43
RA5	6,51	6,14	7,62
RR	6,17	5,95	6,85
IJ	6,1	5,78	6,82
ISF	6,51	6,13	7,76

Tabela 2. Valores médios, mínimos e máximos de pH nos pontos do rio Acre e nos seus tributários para os períodos de cheia e seca.

Pontos	Cheia			Seca		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
RA1	6,33	6,20	6,66	7,27	7,01	7,53
RA2	6,28	6,06	6,67	7,13	6,78	7,46
RA3	6,29	6,18	6,48	7,13	6,89	7,39
RA4	6,33	6,23	6,68	7,16	6,93	7,43
RA5	6,32	6,14	6,67	7,20	6,87	7,62
RR	6,03	5,95	6,18	6,54	6,31	6,85
IJ	5,96	5,78	6,41	6,49	6,29	6,82
ISF	6,32	6,13	6,55	7,23	6,79	7,76

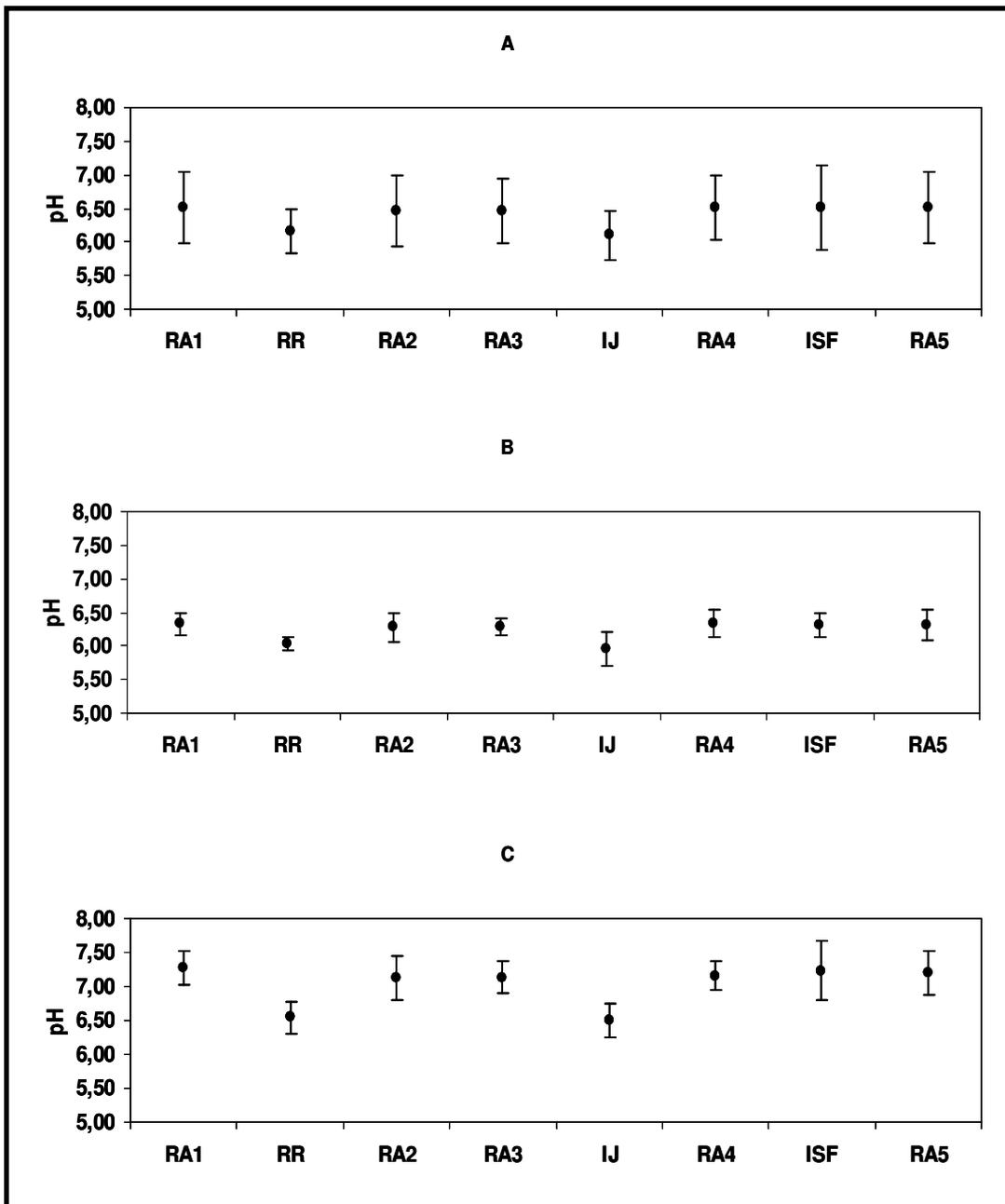


Figura 14. Valores médios e desvio padrão de pH nos pontos do rio Acre e nos tributários para o todo o período de amostragem (A), período de cheia (B) e período de seca (C).

4.2.2 Oxigênio dissolvido

O oxigênio dissolvido (OD) se constitui numa das principais variáveis limnológicas, pois além de afetar diretamente toda a biota aquática, regula também os processos químicos que ocorrem nesses ambientes. (ESTEVEZ, 1998). No rio Acre, as concentrações médias anuais de OD (Figura 15) variaram de 5,62 (RA4) a 5,90 mg l⁻¹ (RA1). As concentrações mínimas e máximas estão na Tabela 3. No período de cheia as médias variaram de 5,30 (RA4) a 5,53 mg l⁻¹ (RA1). No período de seca, as médias variaram entre 5,94 (RA3) e 6,45 l⁻¹ (RA1). As concentrações mínimas e máximas nos dois períodos sazonais estão na Tabela 4. Os pontos RA1, RA3 e RA5 apresentaram diferenças significativas entre si e apenas os pontos RA1 e RA3 apresentaram diferenças significativas entre os períodos sazonais (p<0,05).

Tabela 3. Concentrações médias, mínimas e máximas anuais de oxigênio dissolvido (mg l⁻¹) nos pontos do rio Acre e nos seus tributários para o período de dezembro de 2006 a setembro de 2007.

Pontos	Média	Mínima	Máxima
RA1	5,90	4,71	6,63
RA2	5,65	4,89	6,34
RA3	5,60	4,97	6,29
RA4	5,62	4,84	6,49
RA5	5,68	4,54	6,22
RR	5,60	4,70	6,34
IJ	4,79	1,20	6,34
ISF	5,33	4,86	7,57

Tabela 4. Concentrações médias, mínimas e máximas de oxigênio dissolvido (mg l^{-1}) nos pontos do rio Acre e nos seus tributários para os períodos de cheia e seca.

Pontos	Cheia			Seca		
	Média	Mínima	Máxima	Média	Mínima	Máxima
RA1	5,53	4,71	6,44	6,45	6,46	6,63
RA2	5,33	4,89	6,34	6,14	6,00	6,34
RA3	5,37	4,97	6,28	5,94	6,03	6,29
RA4	5,30	4,84	6,15	6,10	5,72	6,49
RA5	5,41	4,54	6,22	6,10	5,77	6,22
RR	5,35	4,70	6,31	5,97	5,45	6,34
IJ	4,00	1,20	5,81	5,96	4,71	6,34
ISF	5,14	4,86	5,54	5,61	3,44	7,57

No geral, todos os pontos de coleta tiveram concentrações médias anuais de OD acima de 5 mg l^{-1} . A única exceção foi o igarapé Judia que apresentou uma média igual a $4,79 \text{ mg l}^{-1}$. Em uma das coletas realizadas neste igarapé, a concentração de oxigênio dissolvido foi de $1,2 \text{ mg l}^{-1}$. Apesar de também ter suas águas degradadas, o igarapé São Francisco apresentou uma média igual a $5,68 \text{ mg l}^{-1}$. Apenas o Riozinho do Rola apresentou diferenças significativas entre os períodos sazonais ($p < 0,05$), com uma concentração média igual a $5,35$ na cheia e $5,97$ na seca.

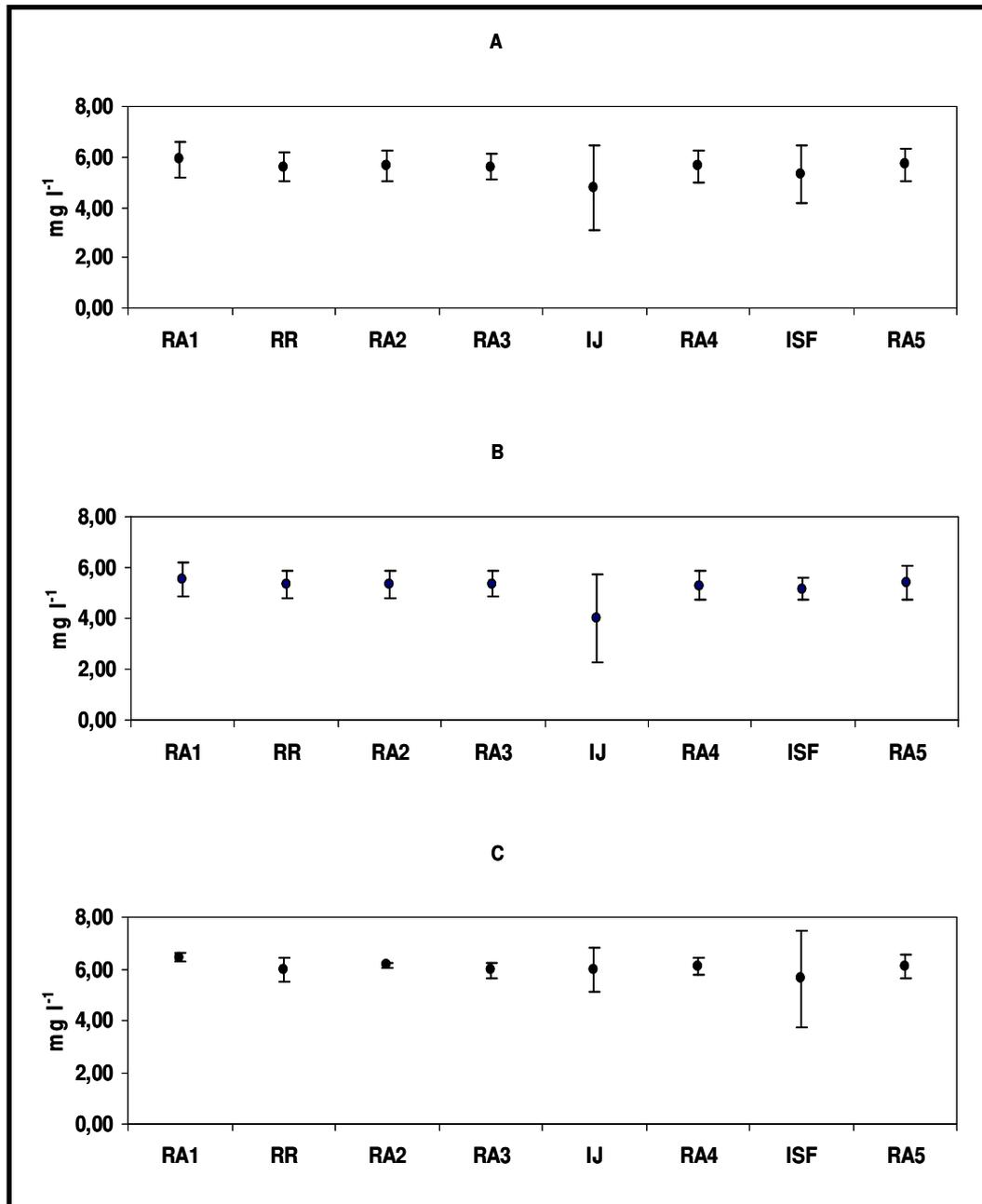


Figura 15. Concentrações médias e desvio padrão de oxigênio dissolvido (mg l^{-1}) nos pontos do rio Acre e nos seus tributários para todo o período de amostragem (A), período de cheia (B) e período de seca (C).

4.2.3 Condutividade elétrica

A Figura 16 mostra os valores de condutividade elétrica (CE) encontrados no rio Acre e nos tributários. A CE média anual do rio Acre variou de 69,93 (RA2) a 77,84 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (RA1). O ponto RA5 apresentou um maior valor de CE em relação aos demais pontos, com uma média igual a 85,74 $\mu\text{S cm}^{-1}$, mas não houve diferenças significativas entre os pontos. A CE observada por Mascarenhas et al. (2004) nos trechos superiores do rio Acre foi igual a 412,40 $\mu\text{S cm}^{-1}$, ou seja, cerca de 6 vezes superior aos valores encontrados neste estudo. Na Tabela 5 estão as médias de cada ponto e os valores mínimos e máximos registrados.

Tabela 5. Valores médios, mínimos e máximos de condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) nos pontos do rio Acre e nos seus tributários para o período de dezembro de 2006 a setembro de 2007.

Pontos	Média	Mínima	Máxima
RA1	77,84	48,40	134,20
RA2	69,93	37,00	125,90
RA3	72,73	41,80	150,40
RA4	73,29	42,40	142,40
RA5	85,74	42,10	188,30
RR	54,08	31,10	110,50
IJ	56,12	20,20	108,00
ISF	153,03	40,90	396,00

A CE também foi bastante influenciada pelas variações hidrológicas sazonais (Tabela 6). No período de cheia, suas médias para os pontos do rio Acre variaram de 47,05 (RA2) a 54,17 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (RA1). No período de seca, os valores médios observados apresentaram uma variação entre 104,25 (RA2) e 140,40 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (RA5), refletindo assim águas mais concentradas em solutos. As diferenças sazonais entre os pontos do rio Acre foram estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Os tributários apresentaram valores médios anuais mais baixos de CE em comparação aos valores encontrados para o rio Acre, com exceção do igarapé São Francisco que teve uma CE média de 153,03 $\mu\text{S cm}^{-1}$. O Riozinho do Rola

apresentou uma média equivalente a $54,08 \mu\text{S cm}^{-1}$ e o igarapé Judia um média igual a $56,12 \mu\text{S cm}^{-1}$. Este igarapé apresentou valores de CE que variaram entre 20,2 e $108,0 \mu\text{S cm}^{-1}$, variação que pode ter sido provocada pelo lançamento de esgoto em suas águas.

Tabela 6. Valores médios, mínimos e máximos de condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) nos pontos do rio Acre e nos seus tributários para os períodos de e seca.

cheia	Cheia			Seca			
	Pontos	Média	Mínima	Máxima	Média	Mínima	Máxima
RA1		54,17	48,40	74,60	113,35	90,10	134,20
RA2		47,05	37,00	66,50	104,25	74,30	125,90
RA3		47,32	41,80	63,50	110,85	64,50	150,40
RA4		48,07	42,20	62,10	111,13	79,90	142,40
RA5		49,30	42,10	63,10	140,40	110,20	188,30
RR		37,95	31,10	44,20	78,28	61,30	110,50
IJ		52,97	20,20	108,00	60,85	41,30	108,00
ISF		65,90	40,90	59,40	283,73	110,20	396,00

Os valores médios de CE encontrados nos tributários no período de cheia e seca também apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$), com exceção do igarapé Judia onde não foram observadas diferenças entre os períodos ($p = 0,72$). No período de cheia este igarapé apresentou uma CE média igual a $52,97 \mu\text{S cm}^{-1}$ e na seca uma média igual a $60,85 \mu\text{S cm}^{-1}$. O Riozinho do Rola apresentou valores médios iguais a $37,95$ e $78,28 \mu\text{S cm}^{-1}$ para cheia e seca, respectivamente. A média para o período de cheia no igarapé São Francisco foi de $49,30 \mu\text{S cm}^{-1}$ e na seca $283,73 \mu\text{S cm}^{-1}$.

Em resumo, a condutividade elétrica é a capacidade que a água possui de conduzir corrente elétrica. Este parâmetro está diretamente relacionado com a presença de íons dissolvidos na água e, assim como o pH, está relacionado com a geologia e solos da bacia de drenagem. Aufdenkampe et al. (2007) mostram que os rios que drenam áreas mais próximas aos Andes, que possuem altas concentrações de íons dissolvidos, possuem altos valores de condutividade elétrica. O Rio Ucayali, em seu alto curso, apresenta um valor de CE igual a $3320 \mu\text{S cm}^{-1}$ enquanto que o

Rio Negro que drena uma região de solos mais antigos e lixiviados tem uma CE que varia de 8,8 a 28,6 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (KUCHLER, MIEKELEY e FORSBERG, 2000).

Além do cálcio, do magnésio, do potássio, do sódio, do sulfato, e do cloreto, os carbonatos são os principais íons responsáveis pela condutividade elétrica da água. Portanto, este parâmetro é fundamental em estudos sobre a dinâmica do carbono dissolvido, principalmente da fração inorgânica.

4.2.4 Íons dissolvidos

Para uma melhor compreensão da dinâmica do carbono na bacia estudada, foi realizada a caracterização da hidroquímica fluvial de seus cursos d'água. A Figura 17 mostra a correlação entre o somatório de cátions (TZ^+) e o somatório de ânions (TZ^-). Como pode ser visto, há um predomínio de ânions sobre os cátions.

Na Tabela 7 estão as concentrações dos cátions encontrados no rio Acre e nos seus tributários. O sódio (Na^+) foi predominante no rio Acre, com uma concentração média anual variando de 187,17 (RA2) a 246,59 μM (RA5). O cálcio (Ca^{2+}) foi o segundo cátion predominante variando de 145,75 (RA1) a 152,20 μM (RA5). As concentrações destes cátions apresentaram diferenças entre os períodos sazonais ($p < 0,05$). Na cheia, as concentrações médias de Na^+ no rio Acre variaram de 135,79 (RA3) a 181,07 μM (RA5) e na seca, as concentrações médias tiveram uma variação de 259,26 (RA1) a 422,50 μM (RA5). O Ca^{2+} teve concentrações médias variando de 76,44 (RA3) a 95,83 μM (RA1) na cheia e na seca, as concentrações variaram de 220,66 (RA1) a 244,37 μM (RA5). Ao contrário do presente estudo, que teve o Na^+ como cátion predominante, Santos e Ribeiro (1988) observaram que o Ca^{2+} é o cátion predominante no Rio Solimões e na maioria dos rios de água branca de sua bacia. Estes autores também consideraram o rio Acre como um dos três rios mais ricos em sais minerais de toda a Amazônia.

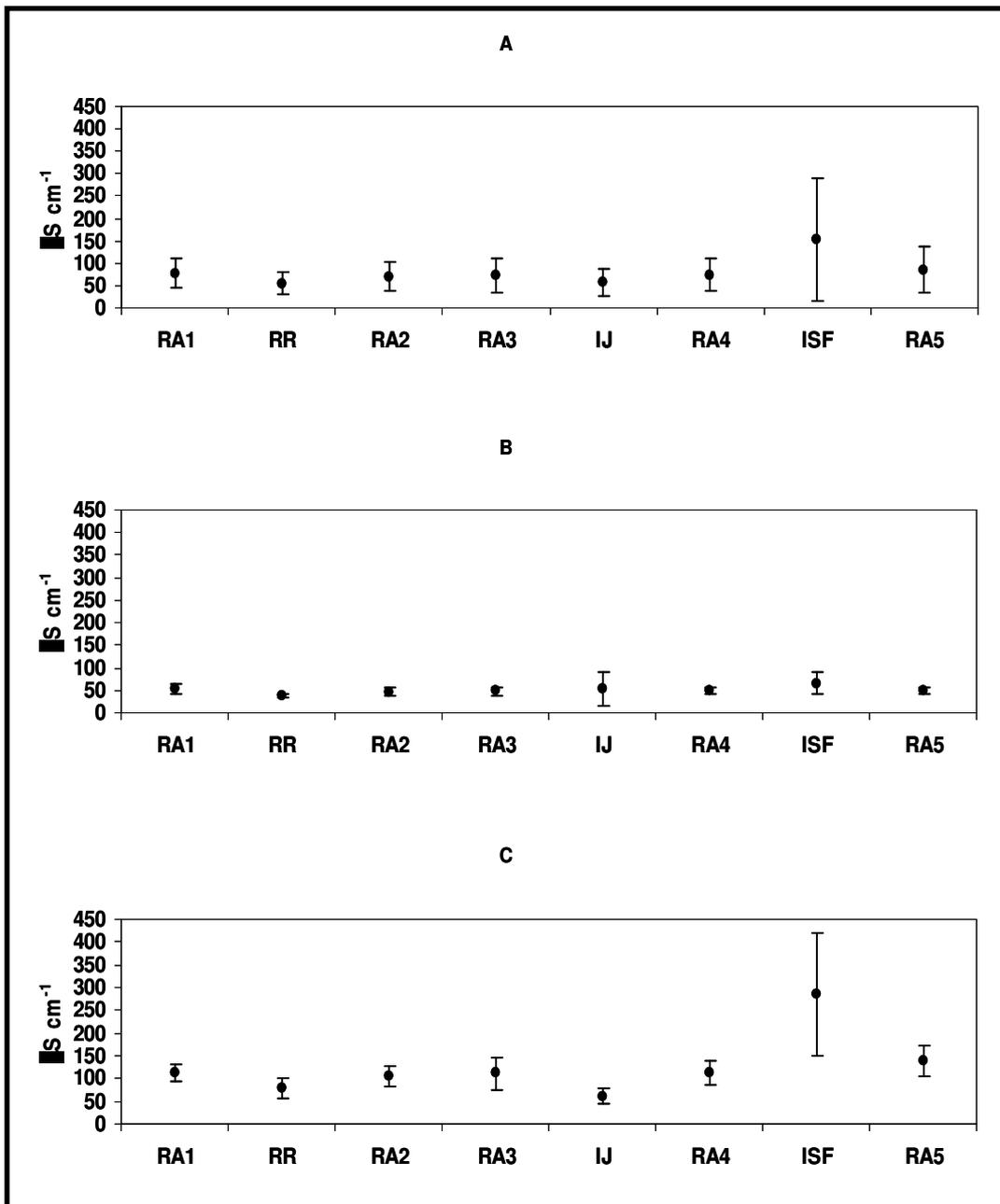


Figura 16. Valores médios e desvio padrão de condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) nos pontos do rio Acre e nos seus tributários para todo o período de amostragem (A), período de cheia (B) e período de seca (C).

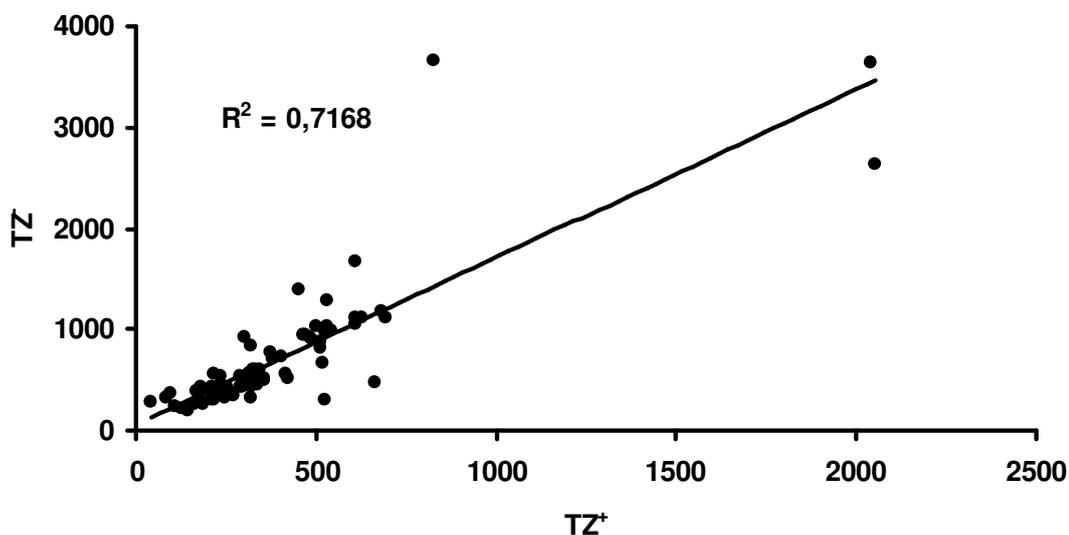


Figura 17. Relação entre o somatório de cátions (TZ+) e o somatório de ânions (TZ-) para o rio Acre e para os seus tributários. Os valores estão expressos em $\mu\text{Eq l}^{-1}$.

No igarapé São Francisco o Na^+ teve uma concentração média anual igual a $559,74 \mu\text{M}$, com medias iguais a $198,16$ e $1192,50 \mu\text{M}$ para os períodos de cheia e seca, respectivamente. A concentração média anual do Ca^{2+} neste igarapé foi igual a $161,66 \mu\text{M}$, com a maior concentração observada na seca ($291,92 \mu\text{M}$). O igarapé Judia teve uma concentração media anual de Na^+ igual a $165,39 \mu\text{M}$, com a maior concentração observada na seca ($228,39 \mu\text{M}$). O Ca^{2+} teve uma concentração média anual igual a $71,50 \mu\text{M}$, sem diferenças significativas entre os períodos sazonais ($p=0,85$). No Riozinho do Rola, o Na^+ e o Ca^{2+} tiveram concentrações médias anuais iguais a $194,19$ e $114,09 \mu\text{M}$, respectivamente. As maiores concentrações de Ca^{2+} ocorrem no período de seca, e não houve diferenças significativas nas concentrações de Na^+ entre os dois períodos ($p=0,69$).

Excetuando-se o bicarbonato (HCO_3^-), o sulfato (SO_4^{2-}) e o cloreto (Cl^-) foram os ânions predominantes nos pontos do rio Acre bem como nos tributários (Tabela 8). As concentrações médias anuais de SO_4^{2-} no rio Acre estiveram entre $56,05$ (RA1) e $53,55 \mu\text{M}$ (RA5). Nos tributários, as concentrações médias anuais foram iguais a $35,31 \mu\text{M}$ (igarapé Judia), $80,74 \mu\text{M}$ (Riozinho do Rola) e $89,60 \mu\text{M}$ (igarapé São Francisco). O Cl^- teve concentrações médias anuais no rio Acre

variando de 36,68 (RA1) a 96,73 μM (RA5). No Riozinho do Rola a concentração média anual de Cl^- foi igual a 67,44 μM , no igarapé Judia 84,40 μM e no igarapé São Francisco foi igual a 382,25 μM . No Rio Solimões, o Cl^- é o ânion predominante, enquanto que nos seus tributários a predominância é do SO_4^{2-} (SANTOS ; RIBEIRO, 1988).

Apenas o ponto RA5 apresentou diferenças significativas entre os períodos de seca e cheia nas concentrações de Cl^- , com as maiores ocorrendo no período de seca. O Riozinho do Rola não apresentou diferenças entre os períodos ($p=0,26$), enquanto que os igarapés Judia e São Francisco apresentaram as maiores concentrações no período de águas baixas. Horbe et al. (2005) observaram um padrão inverso em igarapés próximos a Manaus. Estes autores concluíram que a ocorrência das maiores concentrações de cloreto no período de cheia se devem ao aporte de cloro contido nas águas pluviais, uma vez que umas das principais fontes de cloro em águas não contaminadas são os aerossóis marinhos dissolvidos na água da chuva. Desta forma, é possível dizer que as chuvas não se constituem em fonte de cloro para os sistemas estudados no presente trabalho e que as maiores concentrações observadas na seca podem ser de origem antrópica. Pois, devido a grande distância da bacia do rio Acre para o oceano Atlântico (milhares de quilômetros), e para o Pacífico, o qual é ainda separado da área de estudo pela barreira física da Cordilheira dos Andes, a influência de chuvas de fontes marinhas é muito pequena.

O SO_4^{2-} apresentou suas maiores concentrações no rio Acre no período de seca, quando variou de 88,20 (RA1) a 106,97 μM (RA5). Nos tributários, também foram observadas as maiores concentrações de SO_4^{2-} no período de águas baixas. O igarapé Judia apresentou uma concentração média equivalente a 44,01 μM , o Riozinho do Rola 141,82 μM e o igarapé São Francisco uma concentração média igual a 166,60 μM .

As maiores concentrações de íons dissolvidos no período de seca devem-se principalmente ao aporte de água subterrânea rica em solutos. Analisando rios que drenam diferentes tipologias de solo na bacia do Ji-Paraná, Leite (2004) observou que aqueles que drenam regiões com solos eutróficos apresentam as maiores concentrações de íons no período de menores vazões. Já os rios que drenam regiões de solos distróficos apresentam as maiores concentrações de íons dissolvidos no período de maiores descargas. Horbe et al. (2005) observaram este

mesmo padrão para igarapés próximos a Manaus e Markewitz et al. (2001) obteve os mesmos resultados em um igarapé em Paragominas, no leste do Pará. A conclusão que estes autores tiveram é que a água da chuva que percola os solos superficiais e chega até os rios seria a principal fonte de íons para os sistemas estudados, tendo em vista o baixo conteúdo iônico fornecido via água subterrânea. Como a maior parte da bacia do rio Acre está composta por argissolos, que normalmente apresentam uma capacidade de troca catiônica relativamente alta, os resultados encontrados estão dentro do padrão esperado.

Viana (2005) estudou os aspectos químicos de sedimentos de praia no rio Acre e sua relação com a fertilidade e os resultados mostraram que os sedimentos apresentam altas concentrações de macronutrientes como P, Mg, Ca e K e que são praticamente desprovidos de matéria orgânica. A autora também concluiu que os sedimentos apresentam elevada capacidade de troca catiônica com porcentagem de saturação de bases acima de 90% e que estas características indicam que os sedimentos podem ser comparados a cambissolos eutróficos, portanto férteis.

Através dos resultados das concentrações de íons, é possível observar melhor o efeito do lançamento de esgotos nos pontos de coleta, tanto nos igarapés São Francisco e Judia, como no ponto RA5, no rio Acre, que é o ponto final do trecho de estudo, e assim é influenciado pelas alterações hidrogeoquímicas ocorridas a montante de sua localização. Estes pontos apresentaram sempre as maiores concentrações de íons, principalmente no igarapé São Francisco e no período em que as águas estão no nível mais baixo. As concentrações mais altas de amônio, nitrito, fosfato e sódio indicam esse grande impacto antrópico. Martinelli et al. (1999), consideraram os esgotos como uma terceira fonte de íons para os alguns rios da bacia do Rio Piracicaba e, que além de causar mudanças na distribuição destes íons, os esgotos também alteram os processos que mediam tais distribuições. Figueiredo e Ovalle (1998) também observaram um aumento na concentração iônica relacionado ao alto grau de urbanização em riachos no Rio de Janeiro, onde foram observaram altas concentrações de NH_4^+ e PO_4^{3-} , principalmente.

Tabela 7. Concentrações médias (μM) dos cátions encontrados no rio Acre e nos tributários para todo o período de amostragem (dezembro de 2006 a setembro de 2007) e para os períodos de seca (junho a setembro) e cheia (dezembro a maio), bem como a variação observada nas concentrações ao longo de todo o estudo.

Pontos		Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	NH_4^+
RA1	Média	206,43	55,78	73,14	145,76	0,88
	Cheia	167,64	56,67	43,46	95,83	0,91
	Seca	264,62	54,45	117,66	220,66	0,83
	Variação	85,81-331,81	43,86-77,40	42,19-122,43	84,51-205,33	0-4,81
RA2	Média	187,17	49,22	70,30	151,07	0,03
	Cheia	139,12	46,27	43,48	94,41	0,04
	Seca	259,26	53,64	110,52	236,05	0,00
	Variação	65,62-327,15	34,71-66,24	24,91-136,71	61,64-292,68	0-0,15
RA3	Média	194,68	47,47	66,05	142,51	0,87
	Cheia	135,79	39,54	33,12	76,44	0,08
	Seca	283,01	59,36	115,45	241,62	2,05
	Variação	15,79-377,92	16,63-72,38	7,66-144,34	16,38-307,85	0-4,8
RA4	Média	194,45	52,34	69,35	151,59	0,41
	Cheia	142,71	48,39	39,03	90,16	0,19
	Seca	272,01	58,26	114,84	243,35	0,74
	Variação	57,23-343,05	38,64-66,53	32,57-138,78	52,40-302,71	0-1,37
RA5	Média	246,59	56,33	70,18	152,20	6,25
	Cheia	181,07	43,72	40,33	79,97	5,99
	Seca	422,50	70,95	111,52	244,37	16,84
	Variação	32,04-587,86	32,29-93,08	20,99-130,23	46,54-116,02	0-2,30
RR	Média	194,19	41,64	54,73	114,09	4,13
	Cheia	123,39	42,36	33,36	72,71	2,05
	Seca	213,87	38,52	76,33	165,26	1,32
	Variação	28,89-288,93	28,30-55,17	15,67-107,76	30,56-235,31	0-18,14
IJ	Média	165,39	40,35	32,90	71,50	5,12
	Cheia	146,00	47,98	46,56	99,53	0,20
	Seca	228,39	37,35	32,22	69,67	9,72
	Variação	71,73-293,45	31,19-51,26	15,98-37,94	30,47-116,02	0-14,51
ISF	Média	559,74	92,90	76,69	161,66	23,33
	Cheia	198,16	63,42	44,50	87,23	6,32
	Seca	1192,50	144,49	133,01	291,92	53,09
	Variação	108,99-1586,21	19,21-170,75	27,18-146,89	25,20-340,80	0-69,56

Tabela 8. Concentrações médias (μM) dos ânions encontrados no rio Acre e nos tributários para todo o período de amostragem (dezembro de 2006 a setembro de 2007) e para os períodos de seca (junho a setembro) e cheia (dezembro a maio), bem como a variação observada nas concentrações ao longo de todo o estudo.

Pontos		HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	NO_2^-	PO_4^{3-}
RA1	Média	419,99	36,68	56,05	11,88	7,65	0,79
	Cheia	150,48	44,77	34,63	18,54	6,23	0,99
	Seca	785,83	24,55	88,2	1,91	9,79	0,48
	Varição	74,84-964,06	19,75-73,29	28,28-115,07	1,01-23,94	0-20,68	0-3,78
RA2	Média	392,4	37,79	55,92	11,34	7,44	0,37
	Cheia	140,45	46,22	30,29	16,23	6,2	0,25
	Seca	723,42	25,15	94,36	3,99	9,29	0,54
	Varição	82,93-891,91	10,48-67,57	20,80-133,34	0,90-18,80	0-22,89	0-0,77
RA3	Média	404,27	43,25	57,78	11,01	7,18	0,79
	Cheia	149,65	44,16	30,44	15,99	5,43	0,84
	Seca	745,76	41,9	98,8	3,54	9,65	0,71
	Varição	101,12-975,76	10,41-79,65	23,24-132,51	0,98-17,66	0-21,97	0-1,55
RA4	Média	407,08	39,46	58,18	11,12	6,96	0,43
	Cheia	151,27	42,21	32,35	16,08	5,55	0,45
	Seca	742,82	35,35	96,95	3,69	9,07	0,41
	Varição	110,49-966,04	12,02-65,27,51	23,56-128,64	2,33-22,74	0-19,77	0-1,55
RA5	Média	462,64	96,73	63,55	12,36	1,31	7,47
	Cheia	148,54	44,52	34,6	16,29	6,01	0,68
	Seca	894,36	175,04	106,97	6,47	9,68	2,24
	Varição	110,24-1236,03	12,68-291,51	32,21-127,60	2,77-23,32	0-20,88	0-3,66
RR	Média	170,49	67,44	80,74	14,4	5,22	0,34
	Cheia	116,55	88,06	40,02	10,87	5,34	0,48
	Seca	250,56	36,52	141,82	9,69	5,04	0,13
	Varição	33,94-399,50	8,61-204,43	9,25-228,01	0,99-28,62	0-10,97	0-1,74
IJ	Média	111,12	84,4	35,31	15,8	4,12	0,36
	Cheia	73,62	57,62	29,5	12,22	4,46	0,28
	Seca	172,56	124,57	44,01	21,17	3,6	0,49
	Varição	31,51-228,46	30,39-163,64	12,83-76,21	4,69-28,03	0-7,45	0-1,31
ISF	Média	821,25	382,25	89,6	16,46	10,66	6,44
	Cheia	168,85	100,3	38,26	20,12	8,17	0,73
	Seca	1764,28	805,17	166,6	10,97	14,39	5,00
	Varição	102,93-2371,61	39,15-1049,76	23,55-196,24	4,37-25,38	0-24,39	0-26,38

4.3 CARBONO ORGÂNICO DISSOLVIDO

4.3.1 Variações espaciais

As distribuições das concentrações médias de carbono orgânico dissolvido (COD) no rio Acre e nos seus tributários são mostradas na Figura 18 e na Tabela 9 estão os valores máximos e mínimos destas concentrações.

Nos pontos do rio Acre as concentrações médias variaram entre 4,62 (RA1) e 5,17 mg l⁻¹ (RA5) e não houve diferenças significativas entre os pontos ao longo do ano. A Tabela 10 mostra as concentrações de COD encontradas para outros rios da Bacia Amazônica que apresentam a mesma tipologia de água (rios de água branca). Como pode ser observado, o rio Acre apresenta uma concentração média (4,93 mg l⁻¹) um pouco abaixo das concentrações medias medidas nos rios Juruá (6,36 mg l⁻¹) e Purus (5,87 mg l⁻¹), os quais também drenam o estado do Acre, e assemelha-se bastante à concentração média de COD estimada para o Rio Amazonas (4,82 mg l⁻¹).

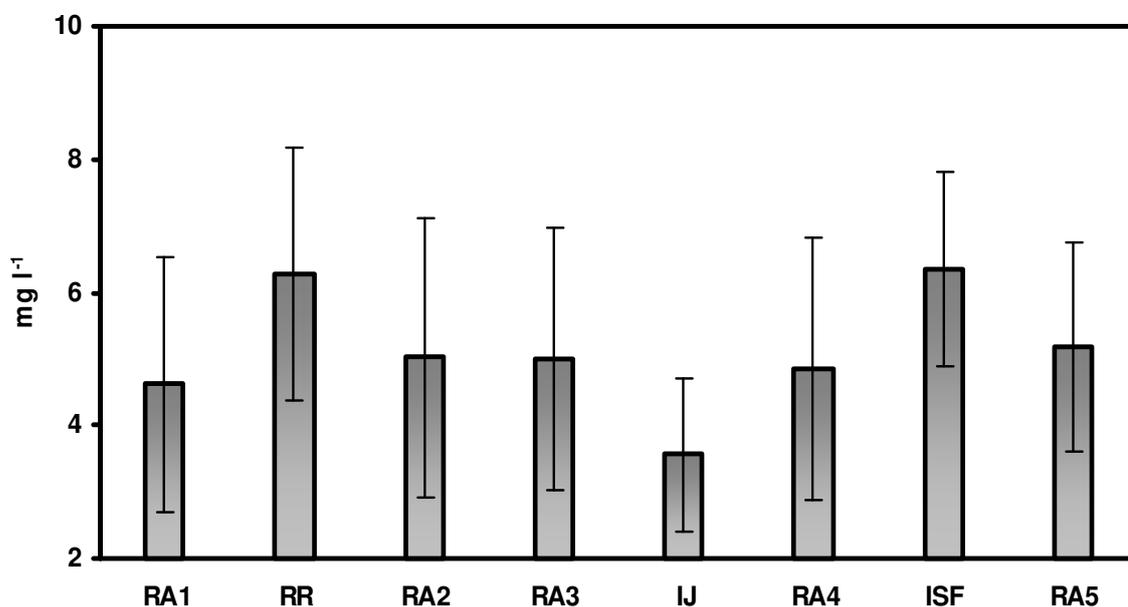


Figura 18. Concentrações médias de COD nos pontos do rio Acre e nos seus tributários para todo o período de dezembro de 2006 a setembro de 2007.

Tabela 9. Concentrações médias, mínimas e máximas de COD (mg l^{-1}) nos pontos do rio Acre e nos seus tributários para o período de dezembro de 2006 a setembro de 2007.

Pontos	Média	Mínima	Máxima
RA1	4,62	2,48	7,52
RA2	5,02	2,65	7,78
RA3	4,99	2,62	7,41
RA4	4,84	2,63	7,38
RA5	5,17	3,21	7,53
RR	6,27	3,72	9,66
IJ	3,55	2,18	5,31
ISF	6,35	3,99	8,54

Tabela 10. Concentrações de COD em rios de água branca da Bacia Amazônica.

Rio	País	COD mg l^{-1}	Referência
Acre**	Brasil	4,93	Presente estudo
Amazonas***	Brasil	4,82	Ertel <i>et al.</i> , 1986
Churumazu	Peru	4,20	Townsend-Small <i>et al.</i> , 2005
Chontabamba	Peru	3,80	Townsend-Small <i>et al.</i> , 2005
Beni	Bolívia	5,70	Guyot e Wasson, 1994
Içá*	Brasil	3,58	Ertel <i>et al.</i> , 1986
Japurá*	Brasil	3,78	Ertel <i>et al.</i> , 1986
Juruá*	Brasil	6,36	Ertel <i>et al.</i> , 1986
Madeira*	Brasil	3,96	Ertel <i>et al.</i> , 1986
Mamoré	Bolívia	3,80	Guyot e Wasson, 1994
Marañon	Peru	4,66	Aufdenkampe <i>et al.</i> , 2007
Napo	Peru	2,44	Aufdenkampe <i>et al.</i> , 2007
Purus*	Brasil	5,87	Ertel <i>et al.</i> , 1986
San Alberto	Peru	2,20	Townsend-Small <i>et al.</i> , 2005
Santa Cruz	Peru	3,80	Townsend-Small <i>et al.</i> , 2005
Solimões	Brasil	3,83	Ertel <i>et al.</i> , 1986
Tambo	Peru	2,35	Aufdenkampe <i>et al.</i> , 2007
Ucayali	Peru	2,65	Aufdenkampe <i>et al.</i> , 2007

* amostragem feita na foz dos rios

** concentração média entre os diferentes pontos do rio Acre encontradas neste estudo

*** rio Amazonas abaixo do rio Negro

No geral, rios de água branca apresentam concentrações de DOC mais baixas do que os rios de água clara e preta. Ertel et al. (1986), constataram que rios, como Jutai e Negro, classificados como rios de água preta, tiveram concentrações de DOC mais altas (7,37 e 10,8 mg l⁻¹, respectivamente) do que os rios de água branca, como Solimões (3,83 mg l⁻¹) e Madeira (3,83 mg l⁻¹). Essas diferenças estão associadas principalmente com a carga de sedimentos transportada por estes rios de água branca e, conseqüentemente, com a mineralogia da bacia de drenagem, como também com a presença de solos mais ricos em matéria orgânica nas bacias de água preta, que contribuem com maiores cargas de carbono orgânico dissolvido para suas águas fluviais.

Os argilominerais possuem elevada capacidade de adsorção de íons orgânicos e inorgânicos devido às cargas negativas em suas áreas superficiais. McClain et al. (1997), mostraram que sistemas que drenam a Amazônia central com solos arenosos apresentaram concentrações de COD entre 7 e 40 mg l⁻¹ e aqueles que drenam solos ricos em argila têm concentrações menores, entre 2 e 7 mg l⁻¹. Este processo de adsorção às partículas de argila, além de subestimar as concentrações de COD, ainda oferece uma “proteção” à matéria orgânica no particulado fino contra o ataque dos microorganismos (SPITZY ; LEENHEER, 1991; MAYORGA ; AUFDENKAMPE, 2001). Portanto, rios que estão mais próximos aos Andes, que transportam uma carga grande de sedimentos, tendem a ter concentrações mais baixas de COD (HEDGES et al., 2000; AUFDENKAMPE et al., 2007).

As mudanças no uso da terra se constituem em um dos principais fatores responsáveis pelas alterações na dinâmica do COD em sistemas fluviais. Aumentos nas concentrações de carbono orgânico dissolvido e particulado em rios da Amazônia decorrentes da conversão de florestas em pastagens são documentados em diversos trabalhos (FARELLA et al., 2001; BERNARDES et al., 2004; LEITE, 2004; THOMAS et al., 2004; BOLSON, 2006). O processo de erosão, que se intensifica em áreas de pasto, somado ao maior escoamento superficial, ocasionou um aumento no transporte de carbono para os sistemas estudados.

Pela ausência de dados sobre a porcentagem de área coberta por floresta e por pastagem na bacia do rio Acre, assim como da razão isotópica do ¹³C e ¹²C em DOC, que podem servir como traçadores da diferente origem do carbono das gramíneas (pasto) e das plantas dicotiledôneas (floresta), não foi possível relacionar

este tipo de mudança no uso da terra com as concentrações de DOC observadas. Desta forma, para analisar as variações nas concentrações de DOC ao longo do trecho de estudo, foram consideradas apenas as alterações que possam ter sido provocadas pelo lançamento de esgoto urbano e pela descarga dos tributários.

Daniel et al. (2002), salientam que quanto mais DOC entra nos sistema via esgoto, mais íons são carregados associados a ele e mais OD é consumido no processo de decomposição da matéria orgânica presente nessa fonte pontual de poluição urbana. Estes autores observaram uma correlação negativa entre OD e COD para rios da bacia do Piracicaba, um sistema bastante antropizado pela urbanização e agricultura, onde as menores concentrações de oxigênio dissolvido foram observadas nos sistemas com concentrações altas de carbono orgânico dissolvido. Fato semelhante foi observado por outros autores (BALLESTER et al., 1999; MARTINELLI et al., 1999; KRUSCHE et al., 2002) no rio Piracicaba.

Observando-se a Tabela 11, nota-se que os pontos localizados dentro dos limites da cidade de Rio Branco (RA3, RA4 e RA5), não apresentaram valores de COD, pH e OD muito díspares dos valores encontrados nos pontos localizados mais a montante. No entanto, com exceção do igarapé São Francisco, houve uma correlação negativa entre estas variáveis, a qual pode estar mais associada com as variações hidrológicas do que com o consumo de oxigênio causado pela poluição.

Tabela 11. Concentrações médias de COD (mg l^{-1}), pH e OD (mg l^{-1}) nos pontos do rio Acre e nos seus tributários e Correlação de Pearson entre as variáveis ($n=10$, $p<0,05$).

Pontos	COD	pH	OD	COD/pH	COD/OD
RA1	4,62	6,52	5,90	-0,88	-0,86
RA2	5,02	6,46	5,65	-0,89	-0,88
RA3	4,99	6,47	5,60	-0,87	-0,78
RA4	4,84	6,51	5,62	-0,89	-0,80
RA5	5,17	6,51	5,68	-0,71	-0,62
RR	6,27	6,17	5,60	-0,63	-0,63
IJ	3,55	6,10	4,79	-0,45	-0,37
ISF	6,35	6,51	5,33	0,72	0,46

Na Amazônia ainda existem poucos estudos relacionados a alterações das concentrações de COD em sistemas aquáticos provocadas pelo lançamento de esgotos. Leite (2004) observou que as maiores concentrações de COD são encontradas nos rios da região central da bacia do Ji-Paraná, onde o grau de urbanização é mais alto. Nos pontos de coleta distribuídos ao longo do rio Ji-Paraná, também houve diferenças nas concentrações de COD provocadas pelas mudanças no uso da terra e pela entrada adicional de COD a partir dos tributários.

Apesar de não haver diferenças significativas entre os pontos de coleta no rio Acre, pode-se supor que as maiores concentrações encontradas nos pontos RA2 e RA5 podem ser decorrentes das descargas do Riozinho do Rola e do igarapé São Francisco, uma vez que estes sistemas apresentaram concentrações um pouco mais altas de DOC. O Riozinho do Rola apresentou uma concentração média de COD igual a $6,27 \text{ mg l}^{-1}$ e o igarapé São Francisco uma concentração média equivalente a $6,35 \text{ mg l}^{-1}$. O igarapé Judia apresentou as concentrações mais baixas de COD com uma média igual a $3,55 \text{ mg l}^{-1}$. As altas concentrações observadas no igarapé São Francisco podem ser mesmo resultado do lançamento de esgoto, pois como visto anteriormente este possui concentrações maiores de amônio e fosfato, claros indicadores de poluição urbana.

4.3.2 Variações sazonais

As concentrações de carbono orgânico dissolvido encontradas nos pontos do rio Acre apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os dois períodos sazonais ($p < 0,05$). As maiores concentrações foram encontradas no período de cheia (Figura 19), quando o COD variou entre $6,26 \text{ mg l}^{-1}$ (RA1) e $6,93 \text{ mg l}^{-1}$ (RA2). Quando o nível da água do rio diminuiu houve também um decréscimo nas concentrações de COD e estas variaram de $2,70$ a $3,85 \text{ mg l}^{-1}$ nos pontos RA1 e RA5, respectivamente. Este padrão também foi observado por Rosa (2007) em igarapés no Pará e por Cogo (2005) em rios da bacia do Ji-Paraná. No entanto, Richey et al. (1990) não encontraram diferenças sazonais significativas nas concentrações de COD no Rio Amazonas. Na Tabela 12 são mostradas as concentrações médias de COD encontradas no rio Acre e nos tributários nos períodos de seca e cheia, bem como as concentrações mínimas e máximas observadas em ambos os períodos.

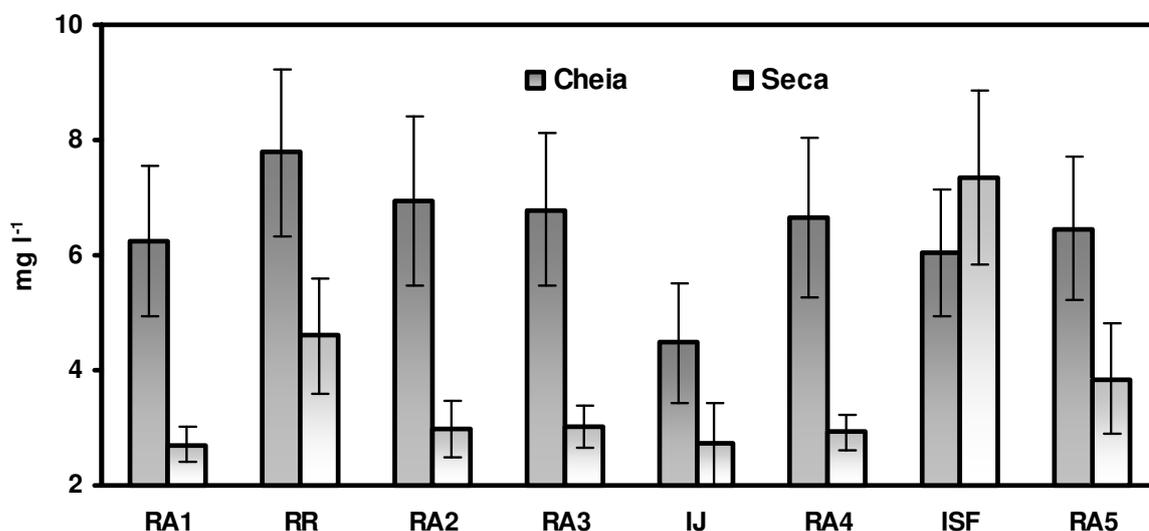


Figura 19. Concentrações médias de COD nos pontos do rio Acre e nos seus tributários nos períodos de seca e cheia.

Tabela 12. Concentrações médias, mínimas e máximas de COD (mg l^{-1}) nos pontos do rio Acre e nos seus tributários para os períodos de cheia e seca.

Pontos	Cheia			Seca		
	Média	Mínima	Máxima	Média	Mínima	Máxima
RA1	6,26	4,07	7,52	2,70	2,48	3,15
RA2	6,93	3,75	7,79	2,96	2,48	3,54
RA3	6,80	3,92	7,41	3,01	2,62	3,51
RA4	6,66	3,46	7,38	2,92	2,63	3,3
RA5	6,46	3,91	7,53	3,85	3,21	5,29
RR	7,79	5,41	9,66	4,59	3,72	5,72
IJ	4,47	2,32	5,31	2,72	2,18	3,74
ISF	6,03	3,99	7,21	7,35	5,16	8,54

A dinâmica do carbono orgânico dissolvido em sistemas fluviais está intimamente ligada aos processos que ocorrem no ambiente terrestre e ao transporte de material se dá principalmente via escoamento superficial. As

concentrações de COD do rio Acre apresentaram uma correlação mais forte com a precipitação do que com cota do rio (Tabela 13), apontando para a importância dos eventos de chuvas e taxas de escoamento superficial associados nos solos da bacia na dinâmica destas concentrações. Estudando os rios Paraná e Orinoco, Depetris e Paolini (1991) apontaram as primeiras chuvas como as responsáveis pela maior parte do transporte de carbono via escoamento superficial para estes rios. De fato, comparando as médias mensais das concentrações de COD no rio Acre, é possível perceber que as maiores concentrações ocorrem no mês de dezembro, quando também foram registradas as maiores precipitações. Selva *et al.* (2007) também observaram uma correlação positiva entre o transporte de carbono e os eventos de chuvas em igarapés no sul da Amazônia, estado do Mato Grosso.

Tabela 13. Correlação de Pearson entre COD (mg l^{-1}), cota do rio (m) e precipitação (mm) nos pontos do rio Acre e nos seus tributários ($n=10$, $p<0,05$)

Pontos	COD/cota	COD/precipitação
RA1	0,86	0,88
RA2	0,91	0,93
RA3	0,90	0,93
RA4	0,89	0,92
RA5	0,75	0,86
RR	-	0,93
IJ	-	0,86
ISF	-	-0,33

No período das chuvas, se observa um aumento na carga de sedimentos dos rios, e maior parte do carbono que entra no sistema neste período está adsorvida a este material (McCLAIN ; ELSENBEEER, 2001; AUFDENKAMPE, HEDGES e RICHEY, 2002). Ao analisar o papel dos sedimentos em suspensão no metabolismo de rios da bacia do Rio Ji-Paraná, Cogo (2005) observou que os sedimentos finos (silte e argila) contêm maior quantidade de COD associados do

que a areia. Esta autora também observou um aumento na taxa respiratória relacionada ao aumento nas concentrações de sedimentos.

No rio Acre, as concentrações de sólidos totais em suspensão observadas por Furtado (2005) foram iguais a 333 mg l⁻¹ na cheia e 201 mg l⁻¹ na seca. Isto pode explicar as menores concentrações de OD observadas no período de cheia em comparação ao período seco. No período de escassez chuvas, além da pouca disponibilidade de substrato orgânico para a atividade dos microorganismos, a baixa concentração de sólidos em suspensão proporciona uma melhor zona de penetração de luz elevando a taxa de produção primária e assim disponibilizando mais oxigênio no sistema.

Nos tributários, as maiores concentrações de COD também foram observadas no período de cheia, excluindo o igarapé São Francisco que apresentou uma concentração média no período de seca igual a 7,35 mg l⁻¹ e esta alta concentração pode ter sido responsável pelo aumento de COD no ponto RA5 observado neste período. Este igarapé também não apresentou diferenças significativas nas concentrações de COD entre os períodos sazonais ($p=0,08$). O Riozinho do Rola apresentou uma concentração média de 7,79 mg l⁻¹ na cheia e 4,59 mg l⁻¹ na seca, e o igarapé Judia apresentou concentrações médias iguais a 4,47 mg l⁻¹ (cheia) e 2,72 mg l⁻¹ (seca).

Como já foi salientado, o igarapé São Francisco atravessa parte da cidade de Rio Branco e recebe grande quantidade de esgoto. Portanto, este igarapé apresentou uma dinâmica sazonal nas concentrações de COD diferenciada dos demais pontos de coleta, com as menores concentrações sendo encontradas no período de cheia e as maiores no período de seca. As águas das chuvas, neste caso em particular, exercem uma função de diluidoras das altas concentrações provocadas pelo acúmulo de material oriundo dos esgotos. Sendo assim, se realizados estudos com traçadores isotópicos, por exemplo, é muito provável que se constate que o COD no igarapé São Francisco provém principalmente do esgoto e não da matéria orgânica presente nos solos de sua bacia.

4.4 CARBONO INORGÂNICO DISSOLVIDO

4.4.1 Variações espaciais

A exemplo do carbono orgânico dissolvido (COD), o carbono inorgânico dissolvido total (CID) não apresentou diferenças significativas nas suas concentrações médias entre os pontos do rio Acre. As concentrações variam de 527,91 (RA2) a 598,18 μM (RA5) como mostra a Figura 20. As concentrações máximas e mínimas encontradas durante o período de estudo estão na Tabela 14.

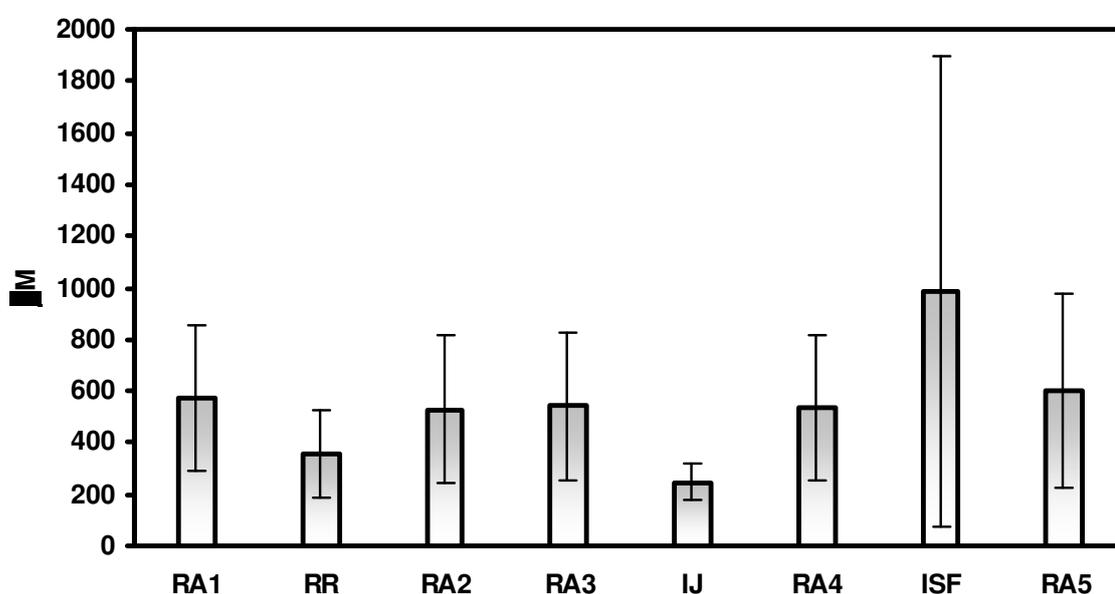


Figura 20. Concentrações médias e desvio padrão do carbono inorgânico dissolvido total (CID) em μM nos pontos do rio Acre e nos seus tributários para o período de dezembro de 2006 a setembro de 2007.

Assim como o pH e as concentrações de íons dissolvidos, a dinâmica do CID é, em grande parte, controlada pela geologia da bacia de drenagem. As maiores concentrações de CID são encontradas em rios que drenam áreas mais próximas aos Andes, e este padrão é determinado principalmente pela erosão química que ocorre nesta região (MORTATTI ; PROBST, 2003, MAYORGA, 2004). Richey et al. (1990) encontraram concentrações iguais a 780 μM no rio Amazonas e Rasera (2005), estudando os rios da bacia do Ji-Paraná, mostrou que as maiores

concentrações de CID total foram encontradas nos rios que drenam regiões de solos eutróficos (Rio Rolim de Moura – 609,8 μM , Rio Urupá – 524,2 μM e Rio Jaru – 493 μM) e as menores concentrações foram encontradas nos rios que drenam terrenos com predominância de solos distróficos (Rio Comemoração – 37,3 μM e Rio Pimenta Bueno – 37,4 μM).

Tabela 14. Concentrações médias, mínimas e máximas de carbono inorgânico dissolvido (CID) em μM nos pontos do rio Acre e nos seus tributários no período de dezembro de 2006 a setembro de 2007.

Pontos	Média	Mínima	Máxima
RA1	573,30	252,95	1027,50
RA2	527,91	242,27	960,91
RA3	541,09	232,95	1054,09
RA4	536,18	254,55	1017,50
RA5	598,18	250,68	1301,59
RR	365,25	117,25	615,00
IJ	248,54	156,98	343,64
ISF	978,58	222,18	2490,91

Alterações na dinâmica do CID em rios também podem ser provocadas por atividades antrópicas. A entrada de efluentes domésticos pode aumentar as concentrações de CID à medida que o aumento da oxidação da matéria orgânica proveniente do esgoto libera mais CO_2 para o sistema provocando também uma diminuição do pH do meio (MARTINELLI et al., 2001; DANIEL et al., 2002). Isto pode explicar o leve aumento observado nas concentrações de CID nos pontos na área urbana do rio Acre, principalmente no ponto RA5, localizado a jusante do igarapé São Francisco.

O igarapé São Francisco apresentou as maiores concentrações de CID total, tanto em relação aos demais igarapés como também em relação ao rio Acre. Sua concentração média foi igual a 986,50 μM . Tal fato corrobora a interpretação do grande impacto do lançamento de esgoto urbano na hidrobiogeoquímica desse

curso d'água. Rasesa (2005) também atribuiu ao lançamento de esgotos a elevada concentração de CID total observada no igarapé Bamburro. A concentração média deste igarapé foi maior que 1200 μM .

O Riozinho do Rola apresentou uma concentração igual a 365,25 μM e o igarapé Judia teve a concentração mais baixa (média igual a 248,54 μM), apesar de também ser receptor de efluentes domésticos. Isto pode ser explicado pelo tipo de solo da bacia deste igarapé. Sousa *et al.* (em preparação), também observaram que igarapés que drenam áreas de latossolos apresentam concentrações de CID mais baixas comparados com igarapés que drenam argissolos no leste do estado do Acre, os quais são menos intemperizados e assim contribuindo com maiores taxas de lixiviação de cátions associados a carbonatos e bicarbonatos até os corpos hídricos.

As concentrações das frações de CID são mostradas na Tabela 15 e na Figura 21 a contribuição em porcentagem de cada fração para o CID total. Como pode ser observado, o HCO_3^- é a fração dominante no rio Acre, com concentrações que variam entre 392,40 (RA2) e 462,64 μM (RA5), contribuindo assim com aproximadamente 75% para o CID total, enquanto que a contribuição do CO_2 livre esteve próximo a 25%. Como a contribuição de CO_3^{2-} foi muito baixa, esta não foi considerada.

Tabela 15. Concentrações médias das frações do carbono inorgânico dissolvido total (μM), pH e condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) nos pontos do rio Acre e nos seus tributários para o período de dezembro de 2006 a setembro de 2007.

Pontos	CO_2	HCO_3^-	CO_3^{2-}	pH	CE
RA1	152,97	419,99	0,33	7,27	77,84
RA2	135,18	392,40	0,34	7,13	69,93
RA3	136,52	404,27	0,30	7,13	72,73
RA4	128,70	407,08	0,40	7,16	73,29
RA5	135,05	462,64	0,49	7,20	85,74
RR	186,81	170,49	0,03	6,54	54,08
IJ	137,40	111,12	0,02	6,49	56,12
ISF	163,82	821,25	1,43	7,23	153,03

Como já mencionado, a distribuição das frações do CID é em grande parte determinada pelos valores de pH uma vez que as reações de equilíbrio do sistema carbonato são dependentes da concentração de H^+ . Este comportamento também foi constatado por Rasera (2005) para os rios da bacia do Ji-Paraná, onde o CO_2 é a fração dominante (contribuindo com mais 90% para o CID total) nos sistemas onde o pH é mais ácido. A autora também concluiu que rios com pH mais ácido também apresentaram concentrações mais baixas de CID total.

Para o Rio Amazonas, a contribuição percentual do bicarbonato está entre 60 e 90%, com pH variando de 5 a 7 (RICHEY et al., 1990) e, segundo Devol e Hedges (2001), esta contribuição é menor nos tributários, devido à diminuição dos valores de pH. De fato, a contribuição do HCO_3^- nos tributários do rio Acre foi menor em comparação ao sistema principal, excetuando-se o igarapé São Francisco, fato que pode ser explicado pelo excesso de íons provocado pela poluição urbana.

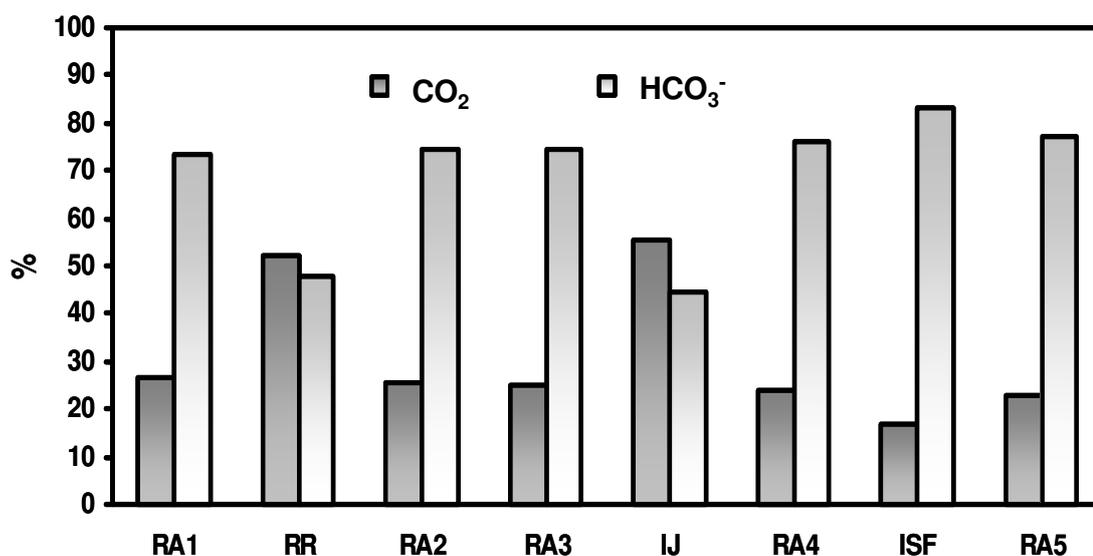


Figura 21 Contribuição percentual das frações do carbono inorgânico dissolvido nos pontos do rio Acre e nos seus tributários para o período de dezembro de 2006 a setembro de 2007.

4.4.2 Variações sazonais

Os pontos do rio Acre apresentaram diferenças significativas nas concentrações de CID total entre os períodos sazonais ($p < 0,05$). Como pode ser visto na Figura 22, as menores concentrações foram observadas na cheia, quando o CID variou de 331,29 (RA5) a 367,29 μM (RA1). No período de seca as médias variaram de 816,31 (RA2) a 998,52 μM (RA5). A Tabela 16 mostra as concentrações máximas e mínimas de CID total observadas na cheia e na seca.

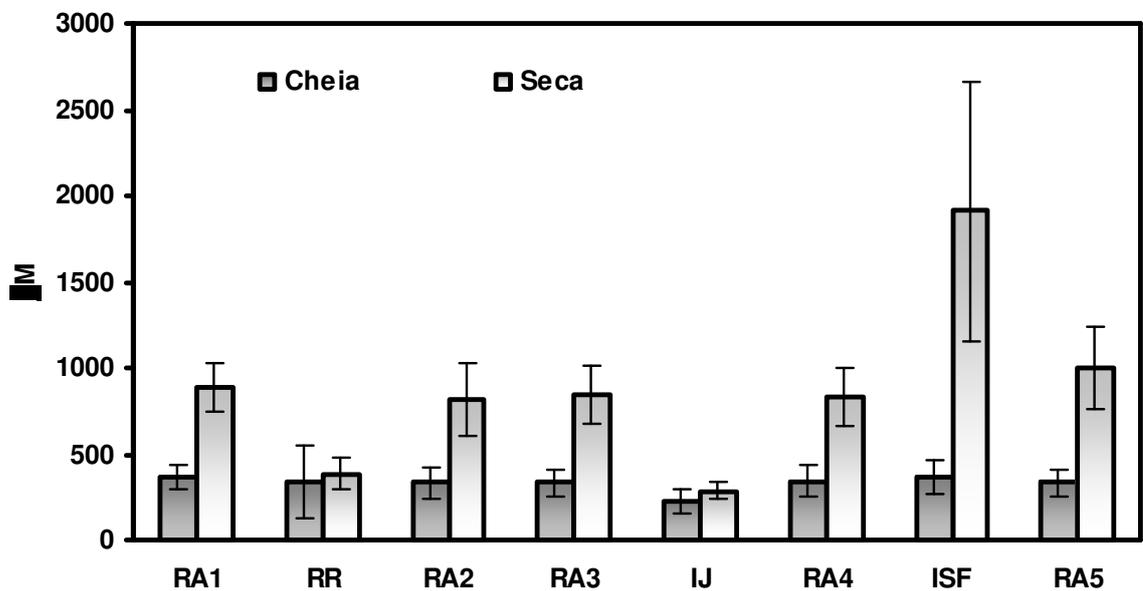


Figura 22. Concentrações médias e desvio padrão de carbono inorgânico dissolvido total (μM) nos pontos do rio Acre e nos seus tributários para os períodos de cheia e seca.

Tabela 16. Concentrações médias, mínimas e máximas de carbono inorgânico dissolvido total (μM) nos pontos do rio Acre e nos seus tributários para os períodos de cheia e seca.

Pontos	Cheia			Seca		
	Média	Mínima	Máxima	Média	Mínima	Máxima
RA1	367,39	252,95	456,59	882,16	697,27	1027,50
RA2	335,64	242,27	488,64	816,31	503,64	960,91
RA3	337,27	232,95	460,00	846,82	638,14	1054,09
RA4	340,27	254,55	510,45	830,06	615,00	1017,00
RA5	331,29	250,68	455,45	998,52	712,50	1301,59
RR	352,08	117,25	615,00	286,92	324,55	522,27
IJ	222,95	156,98	247,73	385,00	217,91	334,77
ISF	357,41	222,18	523,18	1910,34	898,18	2490,91

No intuito de verificar se a dinâmica do CID está mais relacionada com a cota do rio ou com a precipitação, foi feita uma correlação entre estas variáveis (Tabela 17). Ao contrário do COD, o CID apresentou uma correlação mais forte com a cota do rio do que com a precipitação. Além disso, o CID apresenta uma dinâmica sazonal inversa daquela observada para o DOC, como mostra a Figura 23.

Tabela 17. Correlação de Pearson entre CID (μM), cota do rio (m) e precipitação (mm) para os pontos do rio Acre e nos seus tributários ($n=10$, $p<0,05$).

Pontos	CID/cota	CID/precipitação
RA1	-0,93	-0,86
RA2	-0,91	-0,84
RA3	-0,91	-0,84
RA4	-0,93	-0,85
RA5	-0,92	-0,81
RR	-	-0,20
IJ	-	-0,39
ISF	-	-0,74

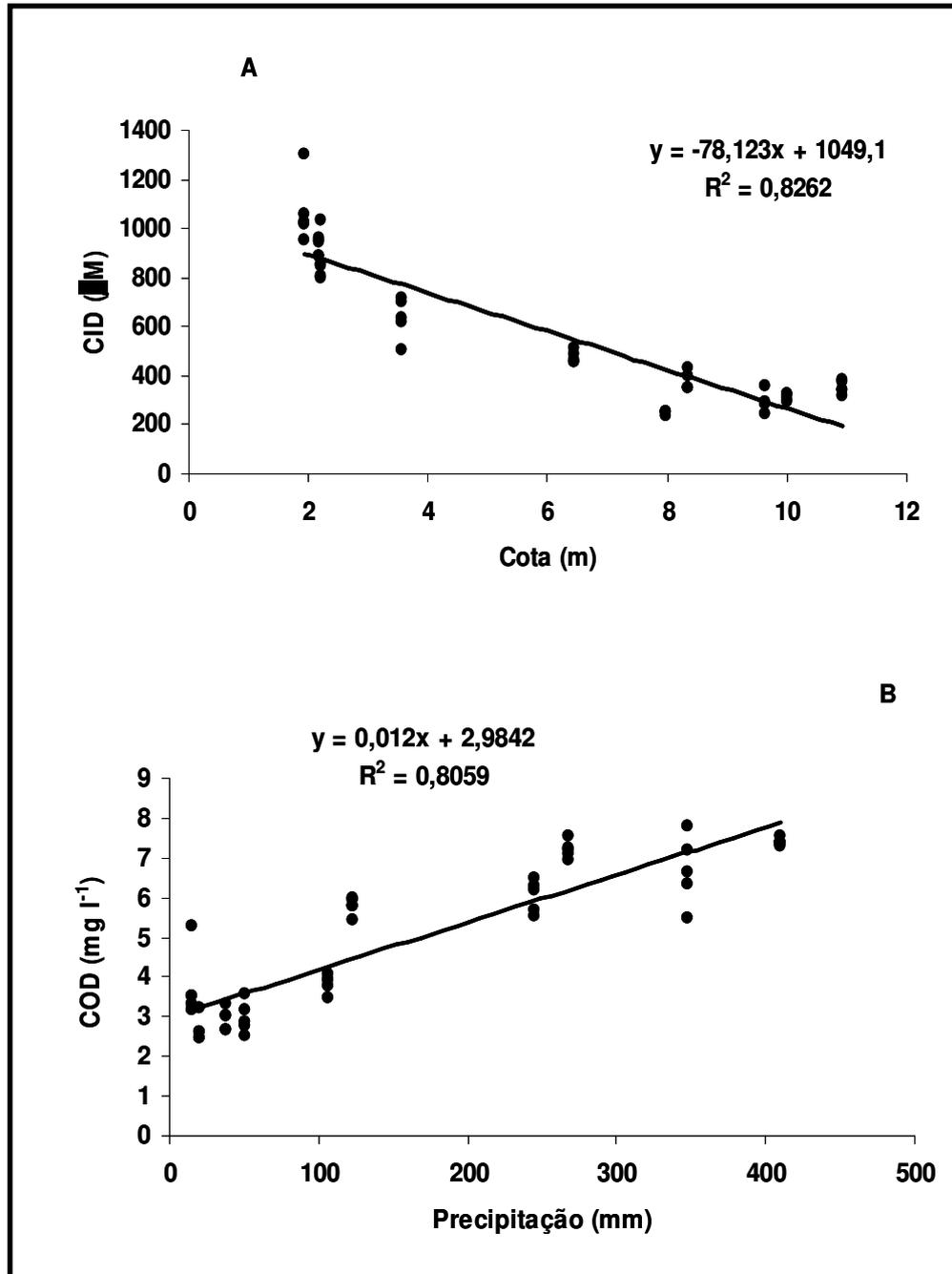


Figura 23. Correlação entre carbono inorgânico dissolvido (CID) e cota do rio e carbono orgânico dissolvido (COD) e precipitação para o rio Acre.

As menores concentrações de CID encontradas no período de cheia devem-se principalmente ao efeito de diluição provocado pela água da chuva que possui um caráter mais ácido que a água do rio. De acordo com Guedes (2007), a água da chuva que cai em Rio Branco tem um pH médio igual a 4,8. Ao contrário do COD, cujas concentrações são influenciadas pelas transferências via escoamento

superficial, os aumentos de CID não guardam relações com tais processos superficiais, mas sim com a dinâmica de aporte da água subterrânea nas águas fluviais. No período de seca, quando a água do rio é suprida principalmente por água subterrânea rica em sais, as concentrações de CID tendem a aumentar (LEITE, 2004; RASERA, 2005; SALIMON, 2005) devido ao aumento das concentrações do íon bicarbonato. Isto foi corroborado pelos valores de CE, pH e íons dissolvidos que também foram mais altos no período de seca.

Embora haja controvérsia quanto ao tamanho e quanto ao período (HOVIKISKI *et al.*³, 2005; VONHOF *et al.*⁴, 2003 *apud* SALIMON, 2005), supõe-se que esta região ocidental da Amazônia sofreu algumas transgressões oceânicas entre o Mioceno e Pleistoceno inferior, formando mares rasos e calmos. Posteriormente durante o período de sua regressão, que supostamente coincidiram com períodos mais secos, onde a evapotranspiração era maior do que precipitação nas bacias, estes mares foram se retraindo e evaporando e, portanto, houve muita precipitação de carbonatos e sais minerais nos pacotes sedimentares que se formaram. Os pacotes sedimentares, associados a esta hipótese sobre o histórico geológico, são os prováveis responsáveis por esta dinâmica biogeoquímica dos rios que nascem e percorrem toda esta região que foi palco de transgressões e regressões oceânicas no entre o Terciário (principalmente no Mioceno) e Quaternário (essencialmente no Pleistoceno).

Portanto, a alta concentração de CID observada no rio Acre no período de seca se deve a maior contribuição do íon bicarbonato oriundo dos solos e geologia da bacia, pois este íon contribuiu com aproximadamente 90% para o CID total neste período. No período de cheia do rio Acre, no entanto, a distribuição das frações se mostrou bastante equilibrada, e houve um pequeno predomínio de CO₂ livre (Figura 24). A tabela 18 mostra as concentrações de cada uma das frações do carbono inorgânico dissolvido nos períodos de cheia e seca no rio Acre e nos tributários.

3 HOVIKOSKI J. *et al.* Miocene semidiurnal tidal rhythmites in Madre de dios, Peru. **Geology**, v.33, p.177-180. 2005.

4 VONHOF H. B. *et al.* Paleogeography of Miocene Western Amazonia: Isotopic composition of molluscan shells constrains the influence of marine incursions. **Geological Society of America Bulletin**, v.115, p.983- 993, 2003.

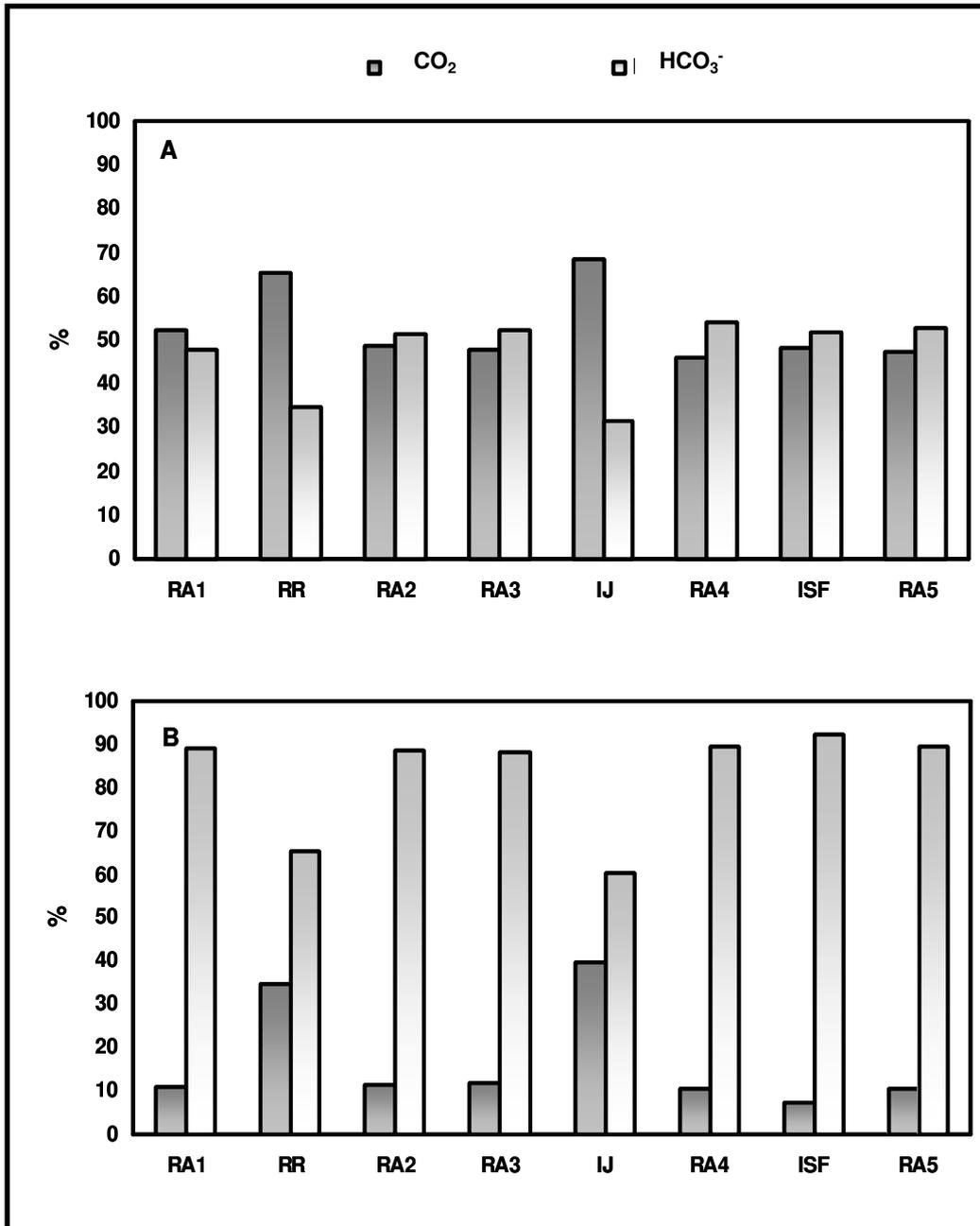


Figura 24. Contribuição percentual das frações do carbono inorgânico dissolvido nos pontos do rio Acre e nos seus tributários para os períodos de cheia (A) e seca (B).

Tabela 18. Concentrações médias das frações do carbono inorgânico dissolvido (μM), pH e condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) nos pontos do rio Acre e nos seus tributários nos períodos de cheia e seca.

	RA1	RA2	RA3	RA4	RA5	RR	IJ	ISF
Cheia								
CO ₂	191,26	163,91	160,64	156,99	156,43	221,84	152,78	178,01
HCO ₃ ⁻	176,10	171,71	176,61	183,25	174,83	117,03	70,16	192,57
CO ₃ ²⁻	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,01	0,00	0,02
pH	6,33	6,28	6,29	6,33	6,32	6,03	5,96	6,32
CE	54,17	47,05	47,32	48,07	49,30	37,95	52,97	65,90
Seca								
CO ₂	95,54	92,08	100,35	86,28	102,99	134,26	114,32	142,53
HCO ₃ ⁻	785,83	723,42	745,76	742,82	894,36	250,68	172,56	1764,28
CO ₃ ²⁻	0,79	0,80	0,71	0,96	1,18	0,06	0,04	3,53
pH	7,27	7,13	7,13	7,16	7,20	6,54	6,49	7,23
CE	113,35	104,25	110,85	111,13	140,40	78,28	60,85	283,73

Finlay (2003) considera a precipitação do CaCO₃ com um dos principais fatores que controlam a dinâmica do CID em águas ricas em sais. Este autor encontrou uma forte correlação entre as concentrações de Ca²⁺ e de HCO₃⁻ em rios no norte da Califórnia (EUA) e ambas as variáveis tiveram uma correlação inversa com a descarga. Markewitz et al. (2001) também encontraram em uma forte correlação entre as concentrações HCO₃⁻ e as concentrações de Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺ em uma microbacia de Paragominas (Pará) No entanto, as maiores concentrações desses íons foram observadas no período de chuvas. Como nesta área há predominância de solos mais antigos e com baixa capacidade de troca efetiva de cátions, estes autores consideram que a principal fonte de íons seria a água que percola e escoar sobre os solos superficiais, chegando até os rios.

A Tabela 19 mostra a correlação entre as concentrações de HCO₃⁻, Na⁺, Ca²⁺, K⁺ e Mg²⁺ para o rio Acre e para os seus tributários. Nota-se que no rio Acre, o bicarbonato apresenta uma correlação muito forte com o cálcio e com o magnésio,

enquanto que nos tributários o bicarbonato apresenta uma correlação mais forte com o sódio.

Tabela 19. Correlação de Pearson entre HCO_3^- , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} e K^+ para os pontos no rio Acre e nos seus tributários (n=10, $p<0,05$).

Pontos	$\text{HCO}_3^-/\text{Na}^+$	$\text{HCO}_3^-/\text{Mg}^{2+}$	$\text{HCO}_3^-/\text{Ca}^{2+}$	$\text{HCO}_3^-/\text{K}^+$
RA1	0,86	0,90	0,87	-0,15
RA2	0,94	0,96	0,97	0,50
RA3	0,90	0,95	0,98	0,77
RA4	0,90	0,95	0,98	0,63
RA5	0,98	0,98	0,98	0,95
RR	0,97	0,61	0,55	0,63
IJ	0,94	0,77	0,69	0,71
ISF	1,00	0,91	0,95	0,95

Apenas o igarapé São Francisco apresentou diferenças significativas nas concentrações de CID entre os períodos sazonais ($p<0,05$) com uma média igual a 1910,34 μM na seca e uma concentração média igual a 370,71 μM . O Riozinho do Rola apresentou uma concentração média na seca igual a 338,89 μM e na cheia apresentou uma concentração média de 385,00 μM . O igarapé Judia teve uma concentração média no período de seca igual a 286,92 μM e no período de cheia a média foi igual a 222,95 μM . A correlação entre o CID e a precipitação nestes igarapés também foi baixa em comparação ao igarapé São Francisco.

A contribuição porcentual das frações do CID também foi diferente entre os tributários. No igarapé São Francisco a contribuição do CO_2 livre e do HCO_3^- mostrou-se bem equilibrada no período de cheia, enquanto que na seca a contribuição do HCO_3^- foi bem superior (92,35%). No Riozinho do Rola, a contribuição do HCO_3^- foi maior na seca (65%) e no igarapé Judia o CO_2 contribuiu com mais de 68% no período de cheia. A baixa predominância do bicarbonato no período de seca no Riozinho do Rola e no igarapé Judia pode ser um indício de que a química das águas destes sistemas pode ser também controlada por outros fatores e não somente pelo intemperismo químico, como ocorre no rio Acre.

4.5 PRESSÃO PARCIAL DO CO₂

Os valores médios anuais e sazonais da pressão parcial do CO₂ ($p\text{CO}_2$) estão expressos na Figura 25. Nos pontos do rio Acre, os valores médios variaram de 3559 (RA1) a 4059 ppm (RA3). O igarapé Judia teve um valor médio igual a 3807 ppm e o igarapé São Francisco um valor médio igual a 5098 ppm. O Riozinho do Rola apresentou o valor médio mais alto, tanto em relação aos demais tributários quanto aos pontos do rio Acre, com uma $p\text{CO}_2$ média de 5932 ppm.

Com relação aos períodos sazonais, os maiores valores foram observados na cheia ($p < 0,05$), variando entre 4410 ppm (RA1) e 4858 ppm (RA2). No período de seca, os valores da $p\text{CO}_2$ variaram entre 2494 ppm (RA1) e 3253 ppm (RA5). Os tributários apresentaram o mesmo comportamento. Na cheia, o Riozinho do Rola apresentou um valor médio igual a 7301 ppm, o igarapé São Francisco um valor médio igual a 5522 ppm e o igarapé Judia apresentou o valor mais baixo neste período, 4626 ppm. No período de seca, as médias nos tributários foram iguais a 4568 ppm (igarapé São Francisco), 4222 ppm (Riozinho do Rola) e 2783 ppm (igarapé Judia).

Na região central da Amazônia, Richey et al. (2002) também observaram uma sazonalidade na dinâmica da $p\text{CO}_2$. Durante o período de cheia, o Rio Jutai, por exemplo, teve uma $p\text{CO}_2$ de aproximadamente 12000 ppm. No sistema principal do Rio Amazonas, os valores médios anuais da $p\text{CO}_2$ foram iguais a 4350 ppm e nos tributários a média anual foi equivalente a 5000 ppm. Rosa (2007) encontrou valores de $p\text{CO}_2$ que variaram de 3281 a 23805 ppm em igarapés de pequenas bacias no nordeste paraense. Segundo a autora, o elevado aporte de matéria orgânica, resultando em águas muito ácidas observado nas nascentes dos igarapés daquela região, pode ser o principal responsável pelo aumento da $p\text{CO}_2$.

Segundo Barth e Veizer (1999), a $p\text{CO}_2$ em ecossistemas aquáticos de regiões temperadas é influenciada pelos seguintes processos: (a) entrada de água subterrânea supersaturada em CO₂, (b) respiração, (c) fotossíntese e (d) trocas com a atmosfera. Os dois primeiros processos aumentam a $p\text{CO}_2$, enquanto que a fotossíntese tem um efeito inverso. A troca com a atmosfera, porém, estabelece um equilíbrio entre a coluna d'água e a atmosfera em termos de pressão parcial de

gases. Para ecossistemas aquáticos tropicais, em particular para a Amazônia, Rasera (2005) considera que a $p\text{CO}_2$ está diretamente relacionada à concentração de carbono inorgânico dissolvido, assim como com o pH que, por sua vez, são função de: (a) processos de intemperismo, que consomem H^+ e convertem ácido carbônico em bicarbonato, aumentando o pH e diminuindo a $p\text{CO}_2$ e, (b) processos respiratórios e de oxidação da matéria orgânica que ocorrem dentro do canal do rio, assim como nas águas do solo que chegam até o mesmo, aumentando a $p\text{CO}_2$ e diminuindo o pH.

Como já foi mostrado, a maior parte do CID total no rio Acre está na forma de bicarbonato, aproximadamente 70%. Mesmo assim, a água do rio ainda se encontra supersaturada de CO_2 em relação à atmosfera. Quando chega o período das chuvas, ocorre um aumento na disponibilidade de matéria orgânica dissolvida, os processos respiratórios são intensificados, há uma diminuição nas concentrações de OD e nos valores de pH, e assim as concentrações de CO_2 livre e HCO_3^- se equiparam, elevando ainda mais o potencial de evasão de CO_2 para a atmosfera. Este comportamento também foi observado por Rasera (2005) para os rios da bacia do Ji-Paraná onde, apesar da variabilidade sazonal da $p\text{CO}_2$, as concentrações de CO_2 dissolvido indicam que as trocas líquidas de CO_2 com a atmosfera são no sentido rio-atmosfera ao longo de todo o ano. A Figura 26 mostra os valores mensais da $p\text{CO}_2$ para os pontos no rio Acre e nos tributários. Nota-se que a água dos rios apresenta-se supersaturados e que os mesmos podem também estar atuando como fonte de carbono para a atmosfera o ano todo.

Em termos de evasão para a atmosfera, estima-se que a Bacia Amazônia seja responsável por lançar na atmosfera aproximadamente 479 Tg de carbono por ano, ou seja, cerca de 13 vezes mais carbono do que é exportado para os oceanos (RICHEY et al., 2002). Estes autores também avaliaram quais seriam as principais fontes de carbono que estariam suportando este fluxo para a atmosfera e, apesar de certas incertezas nas estimativas, concluíram que 80% do carbono que está disponível para ser evadido são de origem terrestre e deste total 75% é originado da matéria orgânica que é respirada dentro do canal. Utilizando evidências de ^{14}C e ^{13}C do CID, do COD e das frações de carbono orgânico fino em suspensão e particulado grosso em rios da bacia do Ji-Paraná, Mayorga et al. (2005) encontraram valores que indicam que o CO_2 evadido foi fotossinteticamente seqüestrados da atmosfera há 5 ou 6 anos. Este fato indica que uma fração de matéria orgânica mais recente

estaria atuando como substrato para a respiração e sustentando a supersaturação em CO₂ e o processo de evasão a partir destes rios.

Os fluxos médios calculados por Rasera (2005) para os rios Pimenta Bueno e Rolim de Moura foram de aproximadamente 2,4 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, com um aumento observado no período de cheia de aproximadamente 1 a 15 vezes. Já Rosa (2007) realizou medidas diretas com câmaras flutuantes em igarapés e observou em alguns dos sistemas maiores fluxos no período de seca, com fluxos médios que variaram de 8,3 a 65,9 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Salimon (2005) realizou medidas de fluxo em vários rios e lagos da Bacia Amazônica e observou que existe uma enorme variabilidade na bacia como um todo, onde foram observados desde fluxos próximos a zero ou até negativo (em alguns lagos e lagoas) até fluxos acima de 20 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 27). O autor salienta que esta variabilidade é devida a vários fatores, dentre os quais estão a concentração de CO₂ dissolvido nas águas dos rios, históricos geomorfológicos distintos, que acabam condicionando a dinâmica tanto de sedimentos quanto da química, além dos regimes hídricos, que são distintos também. Durante o estudo de Salimon, também foram realizadas medidas de fluxo no rio Acre onde foi observado um fluxo médio de aproximadamente 5 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Espera-se que com os resultados do presente estudo, assim como de outros estudos mais recentes, as estimativas de evasão de CO₂ pelos rios e igarapés amazônicos possam refinar as estimativas do balanço de carbono na Amazônia.

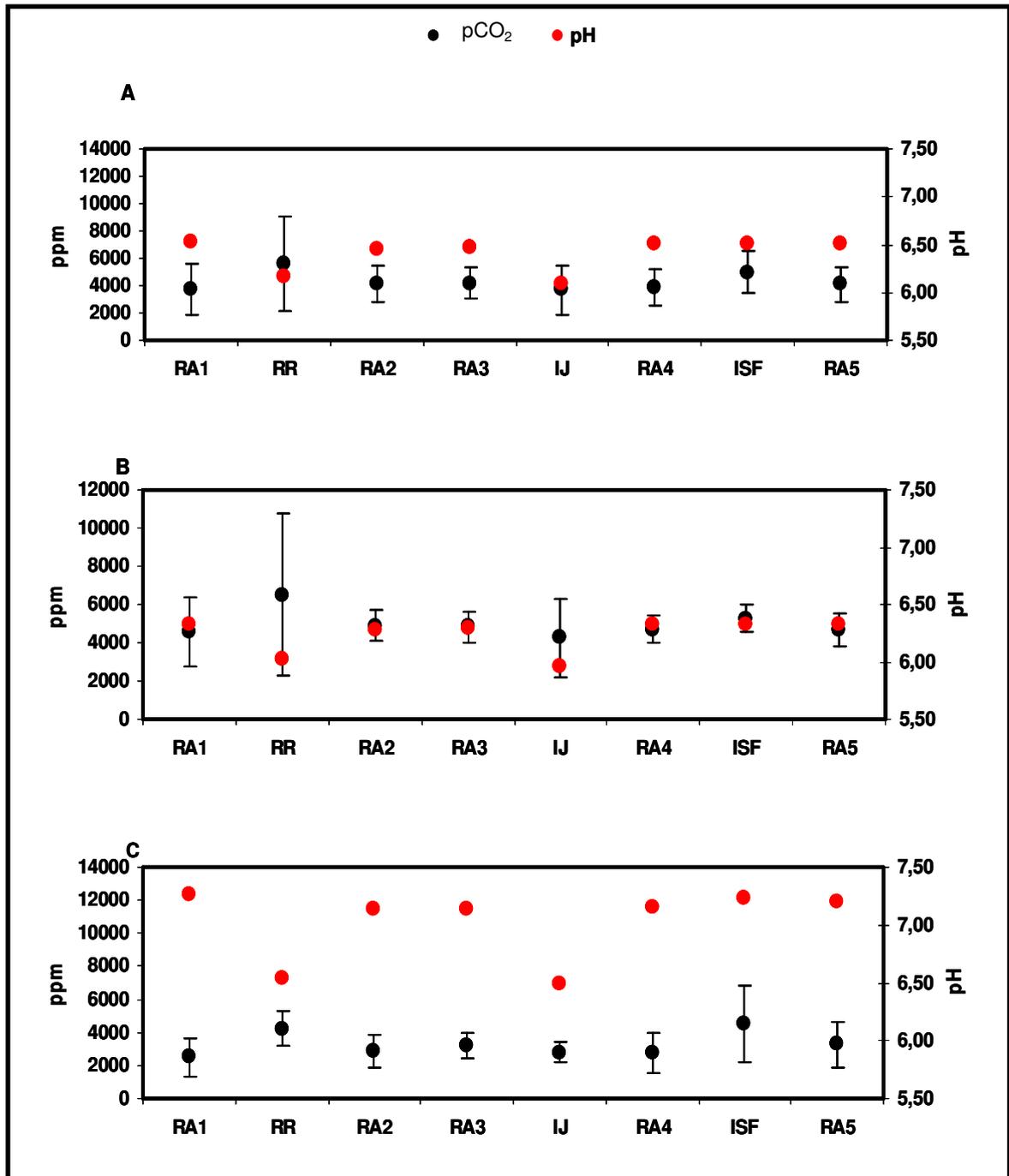


Figura 25. Valores médios e desvio padrão da $p\text{CO}_2$ e pH nos os pontos do rio Acre e nos seus tributários para todo o período de amostragem (A), período de cheia (B) e período de seca (C).

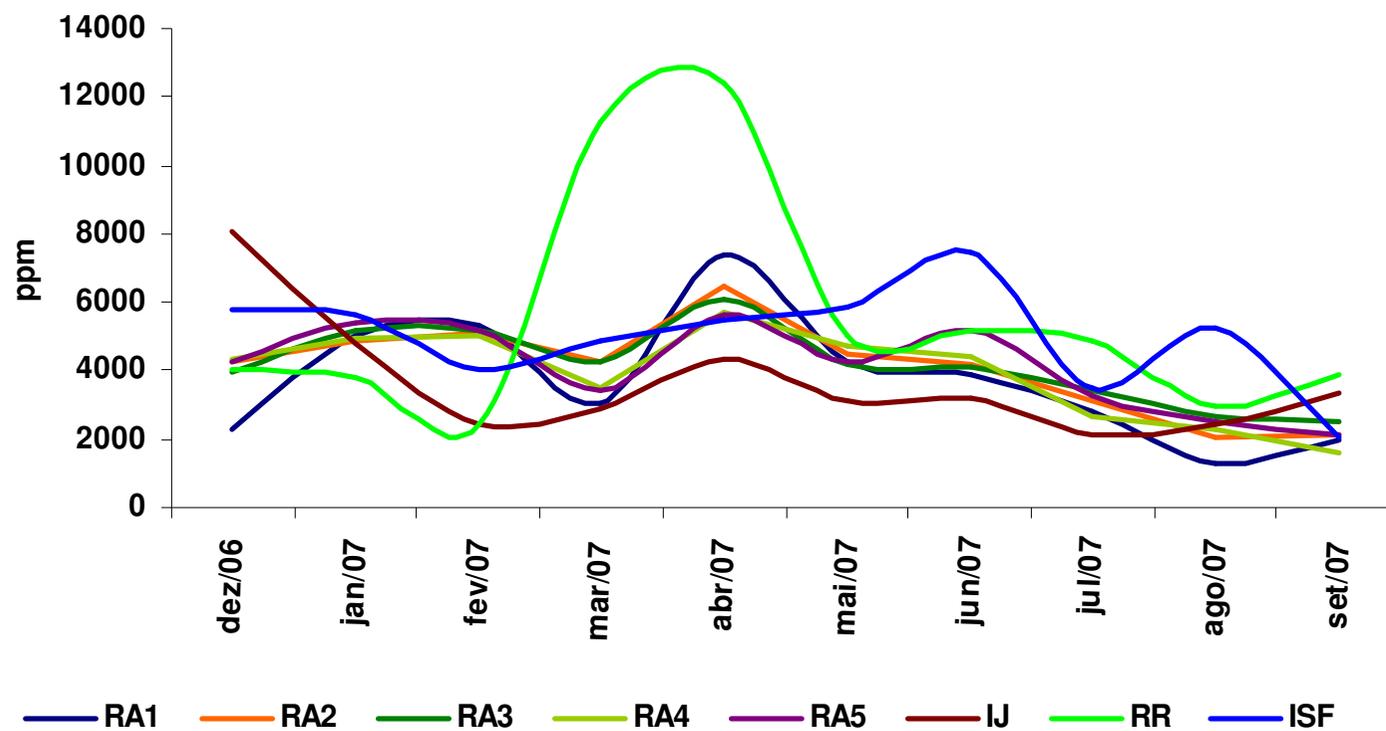


Figura 26. Valores mensais da $p\text{CO}_2$ nos pontos do rio Acre e nos tributários

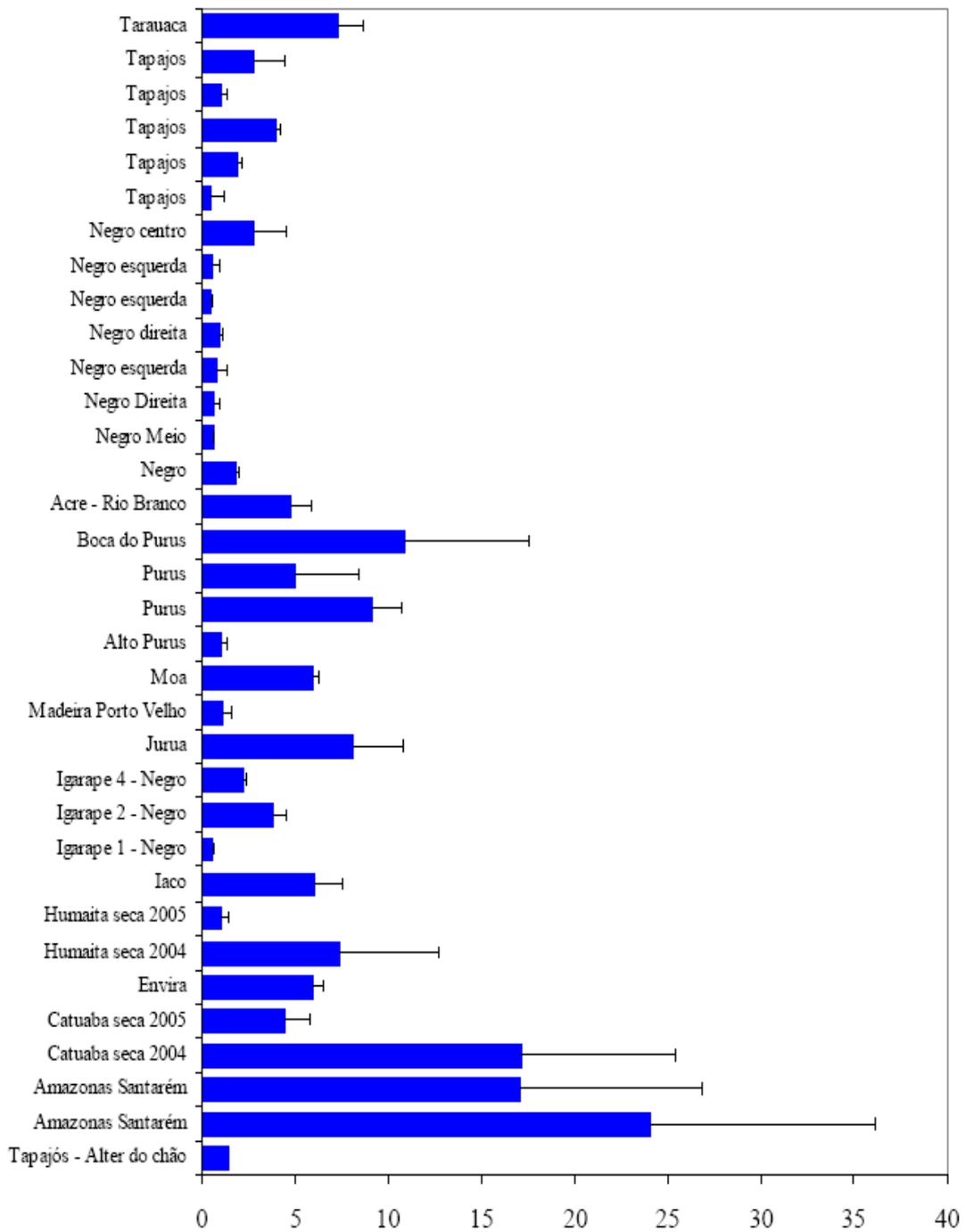


Figura 27. Locais de medidas de fluxos de CO₂ com câmaras flutuantes e seus respectivos fluxos. Valores em $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. (Fonte: SALIMON, 2005).

5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, chegou-se às seguintes conclusões:

- Embora existam diferenças nas concentrações de carbono orgânico dissolvido e carbono inorgânico dissolvido ao longo do trecho estudado, as mesmas não foram significativas. Deste modo, pode-se concluir com base nessas avaliações que a descarga dos tributários e o lançamento de efluentes domésticos não estão alterando em grande medida a dinâmica do carbono dissolvido neste trecho do rio Acre.

- Por outro lado, é possível que as argilas que constituem o material particulado transportados nesse rio de águas brancas possam estar enriquecidas em carbono orgânico particulado, oriundo do esgoto urbano. Tal fato remete a necessidade de realizar-se estudos da dinâmica também do carbono orgânico particulado nessa bacia.

- As alterações observadas na hidrobiogeoquímica do igarapé São Francisco, no entanto, apontaram para a influência de esgoto urbano. Esse fato sugere que medidas preventivas a impactos nos recursos hídricos da bacia estudada precisam ser tomadas.

- As variações hidrológicas sazonais exercem uma forte influência na dinâmica do carbono dissolvido no rio Acre, com as maiores concentrações de carbono orgânico dissolvido ocorrendo no período de cheia, enquanto que o carbono inorgânico dissolvido apresenta concentrações mais altas no período de cheia. Tratam-se de considerações essenciais para o planejamento de outros estudos hidrobiogeoquímicos e monitoramento ambiental em rios amazônicos.

- Por fim, a água dos sistemas estudados apresentou-se supersaturada em CO_2 , de maneira que esses sistemas aquáticos podem estar atuando como fonte de carbono para a atmosfera. Os dados de pressão parcial do CO_2 (pCO_2) gerados no presente estudo, poderão assim colaborar no conhecimento das relações entre a dinâmica biogeoquímica dos sistemas aquáticos amazônicos e as taxas regionais de evasão de CO_2 para a atmosfera.

REFERÊNCIAS

- ACRE. Governo do Estado do Acre. Programa Estadual de Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre. **Zoneamento Ecológico-Econômico: recursos naturais e meio ambiente** - documento final. Rio Branco: SECTMA, 2006.
- AUFDENKAMPE, A. K.; HEDGES, J. I.; RICHEY, J. E. Sorptive fractionation of dissolved organic nitrogen and amino acids onto fine sediments within the Amazon basin. **Limnology and Oceanography**, v. 46, p. 1921-1935, 2002.
- AUFDENKAMPE, A. K. et al. Organic matter in the Peruvian headwaters of the Amazon: compositional evolution from the Andes to the lowland Amazon mainstem. **Organic Geochemistry**, v. 38, p. 337-364, 2007.
- AUCOUR, A. M. et al. The Amazon River: behaviour of metals (Fe, Al, Mn) and dissolved organic matter in the initial mixing at the Rio Negro/Solimões confluence. **Chemical Geology**, v. 197, p. 271-285, 2003.
- BALLESTER, M. V. et al. Effects of increasing organic matter loading on the dissolved O₂, free dissolved CO₂ and respiration rates in the Piracicaba river basin, Southeast Brazil. **Water Research**, v. 33, p. 2119-2129, 1999.
- BARTH, J. A. C.; VEIZER, J. Carbon cycle in St. Lawrence aquatic ecosystems at Cornwall (Ontario), Canada: seasonal and spatial variations. **Chemical Geology**, v. 159, p. 107-128, 1999.
- BERNARDES, M. C. et al. Riverine organic matter composition as a function of land use changes, Southwest Amazon. **Ecological Applications**, v. 14, p. 263-279, 2004.
- BOLSON, M. A. **A biogeoquímica do rio Urupá, Rondônia**. 2006. 60f. Dissertação (Mestrado). Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENAUSP, Piracicaba, 2006.
- BRASIL. Informações detalhadas sobre o rio Acre. Ministério dos Transportes. [<http://www.transporte.gov.br/bit/hidro/detrioacre.htm>]. Acesso em março de 2007.
- COGO, M. C. **O papel dos sedimentos em suspensão no metabolismo de rios de micro e meso-escala no estado de Rondônia**. 2005. 61f. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ, Piracicaba, 2005.

COSTA, A. S.; SOUZA JR., C. M. Comparação entre imagens Landsat ETM+ e MODIS/TERRA para detecção de incrementos de desmatamento na região do baixo Acre. **Revista Brasileira de Cartografia**, p. 1-10, 2005.

DANIEL, M. H. B. et al. Effects of urban sewage on dissolved oxygen, dissolved inorganic and organic carbon, and electrical conductivity of small streams along a gradient of urbanization in the piracicaba river basin. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 136, p. 189-206, 2002.

DEGENS, E.T.; KEMPE, S.; RICHEY, J.E. **Biogeochemistry of major world rivers**. Chichester: Willey and Sons, 1991. p. 323-397: Summary.

DEPETRIS, J. P.; PAOLINI, J. E. Biogeochemical aspects os South American Rivers: the Paraná and Orinoco. IN: DEGENS, E. T.; KEMPE, S.; RICHEY, J. E. (Eds.) **Biogeochemistry of major world rivers**. New York: John Willey and Sons, p. 105-125, 2001.

DEVOL, A.H.; HEDGES, J.I. Organic matter and nutrients in the mainstem Amazon river. In: MCCLAIN, M.E.; VICTORIA, R.L.; RICHEY, J.E. (Ed.) **The biogeochemistry of the Amazon basin**. New York: Oxford University Press, p.275-306, 2001. b

DEVOL, A.H. et al. The role of gas exchange in the inorganic carbon, oxygen and ^{222}Rn budges of the Amazon River. **Limnology Oceanographic**, v. 32, n. 1, p. 235-248, 1987.

DUARTE, A. F. et al. **O clima em Rio Branco – Acre Brasil entre os anos 1970 e 2000**. Rio Branco: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 2000. (Relatório Técnico).

ERTEL, J. R. et al. Dissolved humic substances of the Amazon River system. **Limnology and Oceanography**, v. 31, 739-754, 1986.

ESTEVEES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. Editora Interciência. 2^a ed., Rio de Janeiro. 602p. 1998.

FARELLA, N. et al. Deforestation modifying terrestrial organic transport in the Rio Tapajós, Brazilian Amazon. **Organic Geochemistry**, v. 32, p. 1443-1458, 2001.

FIGUEIREDO, R. O.; OVALLE, A. R. C. Fluvial hydrogeochemistry in a sub-tropical coastal watershed in Brazil. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 105, p. 399-407, 1998.

FINLAY, J. C. Controls of streamwater dissolved inorganic carbon dynamics in a forested watershed. **Biogeochemistry**, vol. 00, 1-22, 2002.

FURTADO, C. M. **Caracterização limnológica e avaliação da qualidade da água de um trecho urbano do rio Acre, Rio Branco – Acre, Brasil**. 2005. 58f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2005.

GRACE, J. *et al.* Carbon dioxide uptake by an undisturbed tropical rain forest in southwest Amazonian, 1992 to 1993. **Science**, v. 270, p. 778-780, 1995.

GUEDES, E. E. V. **Fundamentação metodológica e primeiros estudos sobre deposição úmida em Rio Branco, Acre, Brasil**. 2007. 67f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2007.

GUYOT, L. G.; WASSON, J. G. Regional pattern of riverine dissolved organic carbon in the Amazon drainage basin of Bolivia. **Limnology and Oceanography**, v. 39, p. 452-458, 1994.

HEDGES, J. I. *et al.* Compositions and fluxes of particulate organic material in the Amazon River. **Limnology and Oceanography**, v. 31, 717-738, 1986.

HEDGES, J. I. *et al.* Organic matter in Bolivian tributaries of the Amazon River: a comparison to the lower mainstem. **Limnology and Oceanography**, v. 45, p. 1449-1466, 2000.

HOPE, D. *et al.* D. Variations in dissolved CO₂ and CH₄ in a first-order stream and catchments: an investigation of soil-stream linkages. **Hidrological Processes**, v. 18, p. 3255-3275, 2004.b

HORBE, A. M. C. *et al.* Contribuição à hidroquímica de drenagens no município de Manaus – AM. **Acta Amazônica**, v. 35. p. 119-124, 2005.

HOUGHTON, R. A.; SKOLE, D.; NOBRE, C. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. **Nature**, vol. 403, p. 301-304, 2000.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE DO ACRE (IMAC). Queimadas no Acre: antecedentes e propostas, Acre, 2006.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Monitoramento da floresta Amazônica brasileira por satélite: 2004/2005. [<http://www.inpe.br/prodes>] Acesso em março de 2007.

JOHNSON, M. S. et al. DOC and DIC in flowpaths of Amazonian headwater catchments with hydrologically contrasting soils. **Biogeochemistry**, v. 81, p. 45-57, 2006.

KEELING, C.D.; WHORF, T.P. **Atmospheric CO₂ records from sites in the SIO air sampling network**. Oak Ridge: US Department of Energy, 2004. [<http://cdiac.ornl.gov/trends/co2/sio-mlo.htm>]. Acesso em junho de 2005.

KRUSCHE, A. V. et al. Composition of particulate and dissolved organic matter in a disturbed watershed of southeast Brazil (Piracicaba River basin). **Water Research**, v. 36, p. 2743-2752, 2002.

KUCHLER, I. L.; MIEKELEY, N.; FORSBERG, B. R. A Contribution to the Chemical Characterization of Rivers in the Rio Negro Basin, Brazil. **Journal Brazilian Chemistry Society**, v. 11, p. 286-292, 2000.

LEITE, N. K. A **biogeoquímica do rio Ji-Paraná, Rondônia**. Dissertação (Mestrado). 2004. 44f. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ, Piracicaba, 2004.

MALHI, Y.; NOBRE, A. D.; GRACE, J. Carbon dioxide transfer over a Central Amazonian rainforest. **Journal of Geophysical Research**, v. 103, p. 593-631, 1998.

MARENGO, J. A **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição de alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Brasília, MMA. 2006.

MARKEWITZ, D. et al. Control of cation concentrations in stream waters by surface soil processes in an Amazonian watershed. **Nature**, v. 410, p. 802-805, 2001.

MARTINELLI, L. A. et al. Effects of sewage on the chemical composition of Piracicaba river, Brazil. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 110, p. 67-79, 1999.

MASCARENHAS, A. S. F. et al. Avaliação da concentração de mercúrio em sedimentos e material particulado no rio Acre, estado do Acre, Brasil. **Acta Amazônica**, v. 34, p. 61-68, 2004.

MAYORGA, E. Isotopic constraints on sources and cycling of riverine dissolved inorganic carbon in the Amazon basin. 2004. 227f. Doctor Dissertation. University of Washington, 2004.

MAYORGA, E. *et al.* Young organic matter as a source of carbon dioxide outgassing from Amazonian rivers. **Nature**, v. 436, p. 538-541, 2005.

McCLAIN, M. E. et al. Dissolved organic matter and terrestrial-lotic interface of a small catchment in the central Amazon basin. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 11, p. 295-311, 1997.

McCLAIN, M. E.; ELSENBEEER, H. Terrestrial inputs to Amazon streams and internal biogeochemical process. IN: McCLAIN, M. E.; VICTORIA, R. L.; RICHEY, J. E. (Eds.) **The biogeochemistry of the Amanon basin**. Oxford University Press, p. 185-207, 2001.

MESQUITA, C. C. **Perfil ambiental da bacia hidrográfica do rio Acre**. Rio Branco: Ed. Paim, 2001.

MILLER, S. D. et al. Biometric and micrometeorological measurements of tropical forest carbon balance. **Ecological Applications Supplement** v. 14, p. 114-126, 2004.

MORTATTI, J.; PROBST, J. Silicate rock weathering and atmospheric/soil CO₂ uptake in the Amazon basin estimated from river water geochemistry: seasonal and spatial variations. **Chemical Geology**, v. 197, p. 177-196, 2003.

NEMANI, R.R. et al. Climate driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999. **Science**, v. 300, p. 1560-1563, 2003.

NOBRE, C. A.; NOBRE, A. D. O balanço de carbono da Amazônia brasileira. **Estudos Avançados**, v. 16, p. 81-90, 2002.

PROBST, J. L.; MORTATTI, J.; TARDY, Y. Carbon river fluxes and weathering CO₂ consumption in the Congo and Amazon river basins. **Applied Geochemistry**, v. 9, p. 1-13, 1994.

RASERA, M. F. F. L. **O papel das emissões de CO₂ para a atmosfera, em rios da bacia do Ji-Paraná (RO), no ciclo regional do carbono.** 2005. 69f. Dissertação (Mestrado). Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA/USP. 2005.

RICHEY, J.E.; WOFSEY, S.C.; VICTORIA, R.; RIBEIRO, M.N.G. Biogenic gases and the oxidation and reduction of carbon in Amazon River and floodplain waters. **Limnology and Oceanographic**, v. 33, p.551-561, 1988.

RICHEY, J. E. et al. Biogeochemistry of carbon in the Amazon River. **Limnology and Oceanography**, v. 35, p. 352-371, 1990.

RICHEY, J.E. et al. From water to the atmosphere: carbon dioxide evasion from the Amazon River system. **Nature**, v. 416, p. 617-620, 2002.

ROSA, M. B. S. **Dinâmica do carbono em pequenas bacias de drenagem sob uso de agricultura familiar na Amazônia Oriental.** 2007. 93f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.

SALESKA, S. R.; MILLER, S. D.; MATROSS, D. M. Carbon in Amazon forest: unexpected seasonal fluxes and disturbance-induced losses. **Science**, v. 302, p. 1554-1557, 2003. b

SALIMON, C. I. **Fluxos de carbono em ambientes fluviais e suas origens na Amazônia Ocidental.** 2005. 25f.. Relatório Científico Pós-Doutorado, Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA/USP, Piracicaba, 2005.

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

SANTOS, W. L. **O processo de urbanização e impactos ambientais em bacias hidrográficas: o caso do igarapé Judia, Acre, Brasil.** 2005. 00f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2005.

SELVA, E. C. et al. Litterfall production and fluvial export in headwater catchments of the southern Amazon. **Journal of Tropical Ecology**, v. 23, p. 329-335, 2007.

SILVA, S. A.; LATRUBESSE, E. M. **Características hidrologicas del rio Acre: un rio tipico de la Amazonia sudoccidental brasileña**. Universidade Federal do Acre – UFAC. Guia da conferência de campo, 1996.

SKIRROW, G. The dissolved gases – carbon dioxide. In: RILEY, J.P.; SKIRROW, G. (Ed.) **Chemical oceanography**. 2^a ed. London: Academic Press, p. 1-192, 1975

SPITZY, A.; LEENHEER, J. Dissolved organic carbon in rivers. IN: DEGENS, E. T.; KEMPES, S.; RICHEY, J. E. (Eds.) **Biogeochemistry of major world rivers**. New York: John Willey and Sons, p. 105-125, 2001.

SZARAN, J. Carbon isotope fractionation between dissolved and gaseous carbon dioxide. **Chemical Geology**, v.150, p. 331-337, 1998.

TELMER, K.; VEIZER, J. Carbon fluxes, $p\text{CO}_2$ and substrate weathering in a large northern river basin, Canada: carbon isotope perspectives. **Chemical Geology**, v.159, p. 61-86, 1999.

THOMAS, S. M. et al. Influences of land use and stream size on particulate and dissolved materials in a small Amazonian stream network. **Biogeochemistry**, v. 68, p. 135-151, 2004.

TOWNSEND-SMALL, A.; McCLAIN, M. E.; BRANDES, J. A. Contributions of carbon and nitrogen from the Andes Mountains to the Amazon River: Evidence from an elevational gradient of soils, plants, and river material. **Limnology and Oceanography**, v. 50, p. 672-685, 2005.

VIANA, E. C. A. Aspectos granulométricos, mineralógicos e químicos de sedimentos de praia (Barras em Pontal) do rio Acre e sua relação com a fertilidade. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará, Belém, 2005.

VIEIRA, L. J. S. et al. **Diagnóstico ambiental e socioeconômico da bacia hidrográfica do igarapé São Francisco**. Rio Branco: Prefeitura Municipal de Rio Branco, 2003. Relatório de consultoria.