

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA**

SÉRGIO CANDIDO DE GOUVEIA NETO

**Concentrações e balanços de Carbono Orgânico Dissolvido em duas
bacias do estado de Rondônia: uma comparação entre floresta e
pastagem**

PIRACICABA-SP

2006

Concentrações e balanços de Carbono Orgânico Dissolvido em duas bacias do estado de Rondônia: uma comparação entre floresta e pastagem

SÉRGIO CANDIDO DE GOUVEIA NETO

Licenciado em Matemática

Orientador: **Prof. Dr. REYNALDO LUIZ VICTORIA**

Dissertação apresentada ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Energia Nuclear na Agricultura

PIRACICABA

Estado de São Paulo - Brasil

Julho - 2006

GOUVEIA NETO, S.C. **Concentrações e balanços de Carbono Orgânico Dissolvido em duas bacias do estado de Rondônia: uma comparação entre floresta e pastagem.** 2006.55f. Dissertação (Mestrado em Ciências)-Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo.

ERRATA

Folha/p.	Linha	Onde se lê:	Leia-se:
3	2	...que ecoam no canal do igarapé serão maiores...	...que escoam no canal do igarapé da pastagem serão maiores...
4	17	...fonte de energia para os sistemas terrestres e aquáticos...	...fonte de energia para os sistemas aquáticos...
8	Tabela 1	Norte da Amazônia	Leste da Amazônia
9	Tabela 2	Norte da Amazônia	Leste da Amazônia
14	Tabela 4	Norte da Amazônia	Leste da Amazônia
15	Tabela 6	Norte da Amazônia	Leste da Amazônia
18	Tabela 7	Perímetro	Perímetro (m)
22	4	...Bogs (1978)	...Boss (1978)...
29	7 e 8	...nos vapores de água...	...no vapor de água...
33	17	...muito superiores àquelas da pastagem.	...muito superiores àquelas da pastagem (ZIMMERMAN et al., 2006).
41	Figura 11	24 fev-05	23 fev-05
47	2	...mudanças drásticas...	...mudanças significativas...
47	3	...Estado de...	...estado de...
50	21	...BOGS, M.G....	BOSS, M.G....

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Seção Técnica de Biblioteca - CENA/USP

Gouveia Neto, Sérgio Candido de

Concentrações e balanços de Carbono Orgânico Dissolvido em duas bacias do estado de Rondônia: uma comparação entre floresta e pastagem / Sérgio Candido de Gouveia Neto; orientador Reynaldo Luiz Victoria. - - Piracicaba, 2006.

55 f. : fig.

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Energia Nuclear na Agricultura) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.

1. Balanço hídrico 2. Biogeoquímica 3. Ciclo do carbono
4. Desmatamento 5. Precipitação atmosférica 6. Vias hidrológicas
I. Título

CDU 550.47

*Aos meus familiares e em especial
aos meus pais **Geraldo e Matildes**
pela dedicação, educação e
incentivos*

Dedico

*A minha querida **Lisa Werther**,
pelo carinho, companheirismo e apoio*

Ofereço

AGRADECIMENTOS

- Ao Profº Drº Alex Vladimir Krusche pela oportunidade inicial e ao Profº Drº Reynaldo Luiz Victoria pela orientação neste trabalho;
- Ao Profº Drº Christopher Neill do Marine Biological Laboratory (MBL – EUA) pelas valiosas conversas sobre o trabalho;
- Ao Programa de Pós-Graduação do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) da Universidade de São Paulo (USP) pela formação científica e educacional;
- Ao Povo Brasileiro que pagam os seus impostos com muitas dificuldades para manter o ensino público;
- À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudo;
- Ao Projeto LBA, pelo apoio logístico, financeiro e oportunidade de aprendizagem desde a iniciação científica;
- À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e ao National Science Foundation (NSF) dos EUA pelo apoio financeiro;
- À Universidade Federal de Rondônia, e em especial aos Professores do Campus de Ji-Paraná (Beatriz, Fernando, Aparecida, Marlos, Theobald e tantos outros) pela formação, apoio e orientação;
- Aos mestres de vida, Eliane Feitosa de Sales Reis, Carlos Reis e José Braz pelas orientações, apoio e amizade;
- Aos meus irmãos Walter, Valdeci, Ivone e Eunice, que sempre trabalharam para que eu pudesse estudar, a vocês agradeço do fundo do meu coração;

- Ao pessoal da República Blue House: Boi, Camarão, Caroli, CPI, Denis, Dôgão, Faroli, Fininho, Nei, Macatuba, Mini-mi, Morruga, Mura, Sandal, Pelé, Pepe, Presidente, Veio, Xis, Y e as portuguesas (Sara, Ana Bela, Dilce e Daniela) e demais agregados pelo companheirismo;
- À Sonja Germer, Joaquin Chaves, Tobias, Shelby Hannoe, Matt, Sonya Remington e aos alunos de científica da Universidade Federal de Rondônia – Campus de Ji-Paraná pelas contribuições nas atividades de campo;
- À família Schmitz da Fazenda Rancho Grande pela hospitalidade e pela oportunidade de trabalho nas suas terras;
- À Alexandra Ayres Montebelo, Gustavo Gobet Baldi e Robson Luiz Zillio, pelas longas horas na frente do TOC e a Simoni Cristiane Grilo pela paciência e ajuda com o COP;
- Aos meus amigos Renata Gonçalves Aguiar, Emerson Ribeiro da Silva, Gleison Guardia; Marcos Alexandre Bolson, Nei Kavaguichi Leite, Adriane Liberale e Nilton Bonelle pelo carinho e amizade;
- À Andréa, Adriana Bonilla, André Mineiro, Bethe, Carlão, Carolina, Cátia, Daiana, Daniel, Eduardo, Edmar, Fabiana, Fátima, Gabi, Geraldo, Gustavo, Jadson, Janaína, Jean Ometto, Jorginho, Laís, Leonardo, Joba, José Mauro, Luciana, Luis Ricardo, Marcelinho, Maíra, Michela, Michele Cogo, Neusa, Robson, Rodrigão, Santiago, Simoni, Toninha, Uwe, Vânia, Vicky, Xanda, Yoko e demais, pela companhia;
- Às pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para que eu atingisse este objetivo, e que por esquecimento do dia a dia, não coloquei aqui, a todos a minha gratidão.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	x
RESUMO	xii
SUMMARY	xiv
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 O COD, o ciclo do carbono e as relações com os desmatamentos na Amazônia.	4
2.2 Concentrações e fluxos de COD nas vias hidrológicas de bacias de drenagem da Amazônia.....	6
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	17
3.1 Área de estudo	17
3.2 Métodos de amostragem e medidas de campo	18
3.3 Hidrologia.....	21
3.4 Métodos Analíticos.....	22
3.4.1 Determinação de Carbono Orgânico Dissolvido.....	22
3.4.2 Cálculo da Média Ponderada pelo Volume, Deposição Úmida e Balanços.	23
3.5 Análise estatística	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1 Comportamento hidrológico das bacias	26

4.2 Variações sazonais das concentrações de COD em vias hidrológicas na bacia da floresta e da pastagem	28
4.2.1 Bacia da pastagem	28
4.2.2 Bacia da floresta	31
4.3 Concentrações de COD nas vias hidrológicas: floresta <i>versus</i> pastagem	34
4.5 Balanços e fluxos de COD na floresta e pastagem	38
4.5.1 Balanços por eventos	38
4.5.2 Balanços Anuais	41
5 CONCLUSÕES	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Localização da Fazenda Rancho Grande, no estado de Rondônia	18
Figura 2 - Coletores instalados na floresta e na pastagem. A = Coletor de precipitação interna, B = Coletor de precipitação; C = Coletor de escoamento superficial; D = Vertedouro do igarapé (saída da bacia); E = Coletor de solução do solo a 20 (à esquerda) e 100 cm de profundidade (à direita); F = Coletor de água subterrânea.....	20
Figura 3 - Precipitação média para o período estudado (barras) e a média histórica de 1984-2003 (círculos e barras). (Extraído de Germer et al., 2006)	26
Figura 4 - Profundidade do lençol freático na floresta e na pastagem em relação ao nível do solo. Os pontos e as barras representam, respectivamente, a média e os desvios-padrão dos três poços em cada área.....	28
Figura 5 - Concentrações de COD nas vias hidrológicas da pastagem nos períodos chuvoso e de transição da seca para o chuvoso. Para a mesma via hidrológica entre os dois períodos, letras distintas identificam valores estatisticamente diferentes (a e b , $p < 0,01$ e a e c , $p < 0,05$); n = número de amostras.....	30
Figura 6 - Concentrações de COD nas vias hidrológicas da floresta nos período chuvoso e de transição da seca para o chuvoso. Para a mesma via hidrológica entre os	

dois períodos, letras diferentes significam valores estatisticamente diferentes (<i>a</i> e <i>b</i> , $p < 0,01$ e <i>a</i> e <i>c</i> , $p < 0,05$); <i>n</i> = número de amostras.....	32
Figura 7 - Concentração de COD nas vias hidrológicas da floresta e da pastagem na transição do período seco para o chuvoso. Para a mesma via hidrológica entre floresta e pastagem, letras diferentes significam valores estatisticamente diferentes (<i>a</i> e <i>b</i> , $p < 0,01$ e <i>a</i> e <i>c</i> , $p < 0,05$)	35
Figura 8 - Concentração de COD nas vias hidrológicas da floresta e da pastagem no período chuvoso. Para a mesma via hidrológica entre floresta e pastagem, letras diferentes significam valores estatisticamente diferentes (<i>a</i> e <i>b</i> , $p < 0,01$ e <i>a</i> e <i>c</i> , $p < 0,05$).....	35
Figura 9 - Comparações entre as entradas, saídas e balanços de COD para eventos de precipitação na bacia de drenagem da floresta	39
Figura 10 - Comparações entre as entradas, saídas e balanços de COD para eventos de precipitação na bacia de drenagem da pastagem	39
Figura 11 - Comparação entre as exportações de COD na floresta e na pastagem para eventos simultâneos	41
Figura 12 - Número de focos de incêndios no estado de Rondônia entre Agosto de 2004 e Julho de 2005. Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPA, 2006..	42

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 - Concentrações médias anuais (μM) e fluxos de COD ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$) via precipitação na região Amazônica.....	8
Tabela 2 - Concentrações médias anuais (μM) e fluxos de COD ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$) na precipitação interna na região Amazônica.....	9
Tabela 3 - Concentrações médias de COD (μM) no escoamento superficial na região Amazônica.....	10
Tabela 4 - Concentração média de COD (μM) na solução do solo na região Amazônica.....	14
Tabela 5 - Concentrações médias de COD na água subterrânea na região Amazônica.....	15
Tabela 6 - Concentrações médias de COD (μM) na solução lixiviada do solo na região Amazônica.....	15
Tabela 7 - Parâmetros físicos das microbacias.....	18
Tabela 8 - Média ponderada pelo volume (MPV) das concentrações e deposições de COD na precipitação para os períodos estudados.....	42
Tabela 9 - Média ponderada pelo volume (MPV) das concentrações e deposições de COD na precipitação interna para os períodos estudados.....	43
Tabela 10 - Médias ponderadas pelos volumes (MPV) das concentrações e exportações de COD e fluxos de água na bacia da pastagem.....	44

Tabela 11- Médias ponderadas pelos volumes (MPV) das concentrações e exportações de COD e fluxos de água na bacia da floresta.....	44
Tabela 12 - Balanços na floresta e pastagem.....	45

**CONCENTRAÇÕES E BALANÇOS DE CARBONO ORGÂNICO DISSOLVIDO EM
DUAS BACIAS DO ESTADO DE RONDÔNIA: UMA COMPARAÇÃO ENTRE
FLORESTA E PASTAGEM**

Autor: SÉRGIO CANDIDO DE GOUVEIA NETO

Orientador: Dr. REYNALDO LUIZ VICTORIA

RESUMO

O Carbono Orgânico Dissolvido (COD) constitui em uma das principais formas de carbono orgânico exportado em rios e em outras vias hidrológicas preferenciais nas bacias de drenagem. Na Amazônia, os estudos sobre o COD nas suas águas abrangem principalmente as grandes bacias da região central, com poucas análises sobre alterações na sua dinâmica após a substituição de florestas por pastagens, uma das mudanças no uso da terra mais comum na região. Este estudo objetivou fornecer informações que auxiliem na compreensão destes processos, através da comparação entre as dinâmicas das concentrações nas vias hidrológicas preferenciais, as exportações, e os balanços de COD durante eventos de precipitação em duas bacias de primeira ordem, sendo uma com floresta e outra com pastagem. O estudo foi conduzido numa fazenda próxima à cidade de Cacaulândia, no estado de Rondônia. As amostras foram coletadas na transição do período seco para o chuvoso (Agosto a Novembro de 2004) e período chuvoso (Janeiro a Abril de 2005). Os resultados mostraram que na

transição do período seco para o chuvoso, apenas as concentrações de COD nas vias de entrada para o solo, precipitação na pastagem e precipitação interna na floresta, e de saída, pelos igarapés e água subterrânea apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre floresta e pastagem. No período chuvoso, além destas, outras vias hidrológicas, como a solução do solo a 20 e 100 cm de profundidade e o escoamento superficial, mostraram-se distintas entre estes dois sistemas. Comparando-se os períodos do ano, em ambas as bacias as concentrações de COD nas vias hidrológicas foram superiores na época de transição do período seco para o chuvoso. A única exceção a este padrão foi observada na água subterrânea da floresta, que apresentou maiores concentrações de COD no período chuvoso. Na pastagem, o aumento do escoamento superficial resultou em maiores exportações de COD do que aquelas observadas na floresta. Como consequência, os balanços de COD a cada evento e anualmente, tendeu a ser mais positivos (maior retenção de COD) na última. Embora neste estudo não tenha sido possível, entre outros, quantificarem os fluxos de COD na água subterrânea e, portanto, obter um balanço mais preciso para esta forma de carbono nestes sistemas, os resultados demonstraram que a conversão de florestas em pastagens acarreta em um aumento significativo das exportações de COD, via igarapé, no último local, tanto em eventos individuais de precipitação, quanto anualmente.

**DISSOLVED ORGANIC CARBON CONCENTRATIONS AND BALANCES IN TWO
WATERSHEDS OF RONDÔNIA: COMPARASION BETWEEN FOREST AND
PASTURE**

Author: SÉRGIO CANDIDO DE GOUVEIA NETO

Advisor: Dr. REYNALDO LUIZ VICTORIA

SUMMARY

Dissolved Organic Carbon (DOC) is one of the main fractions of organic carbon exported in rivers and other flow paths in watersheds. In the Amazon, studies of DOC in waters focus mainly on the large basins of the central region, with few analyses of changes in its dynamics after the replacement of forests by pastures, one of the most important land use changes in the region. This objective of this study was to obtain more information about these processes, by comparing dynamics in several flowpaths, exports and budgets of DOC during rain events in two first-order watersheds, one with forest and another with pasture. The study was conducted near city of Cacaulândia in the State of Rondônia. Samples were collected in the transition from dry to wet (August to November of 2004) and in the wet seasons (January to April of 2005). The results demonstrate that during the transition from dry to wet seasons, statistically significant differences in DOC concentrations between forest and pasture occur only in the inputs from precipitation in pasture and throughfall in forest and in the outputs in

streams and groundwater. During the wet season the remaining flowpaths analyzed, soil solution at 20 and 100cm depth and overland flow, also showed statistically significant differences in DOC concentrations between forest and pasture. In terms of the periods of the year, in both watersheds DOC concentrations were higher during the transition from dry to wet seasons. The only exception to this pattern was observed in forest groundwater, with higher concentrations during the wet season. In the pasture, increases in discharge resulted in higher DOC export than in forest. As a consequence of this, DOC budgets, both in individual events and annually, showed a larger retention in the latest. Although in this study it was not possible, among others, to quantify the fluxes of DOC in groundwater, the results demonstrate that the conversion of forest into pasture causes a significant increase of DOC export in streams, both in individual rain events and on an annual basis.

I INTRODUÇÃO

O estado de Rondônia apresentou nos últimos anos, uma das maiores taxas de desmatamento entre os estados da Amazônia (INPE, 2003). As conseqüências destas ações já têm reflexos na estrutura física e química do solo, como a compactação das camadas superiores, aumento do escoamento superficial (ELSENBEER et al., 1999; de MORAES et al., 1996), aumentos nos estoques de carbono nas pastagens mais antigas (NEILL et al., 1997) e mudanças nas concentrações e formas de nitrogênio exportado em bacias durante eventos de precipitação úmida (CASTELLANOS, 2005). As mudanças no uso do solo são responsáveis também pela emissão de grandes quantidades de partículas e aerossóis através das queimadas (ARTAXO et al., 2005) e mudanças no ciclo global do carbono (SCHIMMEL, 1995).

Apesar destas constatações sobre alterações decorrentes dos desmatamentos, ainda sabe-se pouco sobre a dinâmica do carbono orgânico dissolvido (COD) em bacias, principalmente em áreas preservadas e alteradas. Cálculos de fluxos, balanços e estimativas das concentrações de COD, comparando áreas preservadas e perturbadas são mais comuns para regiões de clima temperado. Como exemplos, destacam-se os trabalhos de Hubbard Brook (HOBBIE; LIKENS, 1973; McDOWELL; LIKENS, 1988) e Cowetta (MEYER; TATE, 1982; TATE; MEYER, 1983), nos Estados Unidos, e Maimai (MOORE, 1989), na Nova Zelândia. Embora nestes trabalhos sejam analisados dados hidrológicos de bacias de primeira e segunda ordem, os resultados dos mesmos não são discutidos com base em eventos individuais de precipitação e, de acordo com Dahm (1980), *apud* Tate & Meyer (1983), tais

eventos podem contribuir para um aumento de até 60% na exportação de COD, quando incluídos nos cálculos de fluxos em áreas de florestas.

Estudos sobre a dinâmica do COD em vias hidrológicas de bacias de drenagem (precipitação, precipitação interna, escoamento superficial, água subterrânea e solução do solo) também são mais comuns em regiões de clima temperado (HINTON et al., 1998). Nos trópicos e, na Amazônia em particular, poucos trabalhos apresentam dados sobre concentrações e fluxos de COD nestas vias (WILLIAMS et al., 1997; FILOSO et al., 1999; WILLIAMS et al., 2004; TOBÓN et al., 2004; MARKEWITZ et al., 2004; NEU, 2005; JOHNSON et al., 2006; JOHNSON et al. (No Prelo); WATERLOO et al. (No Prelo)) e nenhum compara as diferenças nas concentrações e fluxos entre pastagem e floresta. Desta forma, este trabalho tem como objetivo geral o levantamento de informações sobre a dinâmica do COD em uma bacia de primeira ordem localizada em área de pastagem e outra similar, localizada sob floresta, ambas no estado de Rondônia. Para tal, foram amostradas diversas vias hidrológicas entre agosto de 2004 e abril de 2005. Portanto, os objetivos específicos deste trabalho foram:

- 1) Estimar as concentrações e os fluxos de COD nas vias hidrológicas de duas bacias de primeira ordem, sendo uma com floresta e outra com pastagem;
- 2) Calcular o balanço anual de COD nas áreas de pastagem e floresta.
- 3) Avaliar a influência da sazonalidade sobre as concentrações, fluxos e balanços de COD para os eventos de precipitação úmida nas áreas de floresta e de pastagem;

Tais objetivos visaram testar as seguintes hipóteses:

- *Mudanças na cobertura vegetal (de floresta para pastagem) alteram as concentrações e os fluxos de COD nas vias hidrológicas de bacias de primeira ordem;*

- *Devido à compactação do solo na pastagem, o fluxo de água, a exportação e a concentração de COD nas águas que escoam no canal do igarapé serão maiores do que na floresta.*

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O COD, o ciclo do carbono e as relações com os desmatamentos na Amazônia.

O COD pode ser definido como a fração de carbono orgânico que passa por um filtro de 0,1 a 0,7 μm de diâmetro (TRUMBORE et al., 1992; HOPE et al., 1994), sendo constituído por uma variedade de compostos, tais como aminoácidos, carboidratos, hidrocarbonetos, ácidos orgânicos de baixo peso molecular, ácidos húmicos e fúvicos (THURMAN, 1985).

A precipitação, a precipitação interna, o escoamento pelo tronco e a decomposição da serrapilheira constituem as principais fontes de COD para os solos em áreas de florestas (MULHOLLAND et al., 1990; HINTON et al., 1998). Além destas fontes, os horizontes orgânicos do solo (O/A, B e C), a água subterrânea, as zonas ribeirinhas (THURMAN, 1985; MULHOLLAND et al., 1990; KAPLAN et al., 1993; HINTON et al., 1998) e a decomposição do material originado dentro do sistema (WETZEL; MANY, 1972; MEYER et al., 1988) determinam as concentrações e os fluxos de COD nos ecossistemas aquáticos. Por outro lado, perdas de COD podem ocorrer pela mineralização e imobilização (QUALLS; HAYNES, 1992; YANO et al., 2000), adsorção às partículas do solo (KAISER; ZECH, 1998; QUALLS, 2000; KAISER et al., 2001) e pela respiração (COGO, 2005).

O COD é uma importante fonte de energia para os sistemas terrestres e aquáticos (FISHER; LIKENS, 1973), contribui para a acidez da água (THURMAN, 1985) e afeta a complexação, solubilidade e mobilidade de metais (PERDUE et al., 1976; DRISCOLL et al., 1988; MARTEL et al., 1988).

No ciclo global do carbono os maiores fluxos de COD ocorrem entre a atmosfera e os sistemas terrestres e aquáticos, através da precipitação, com fluxos da ordem de $0,4 \text{ Gt.ano}^{-1}$ de carbono (WILLEY et al., 2000) e entre os continentes e os oceanos, através da exportação pelos rios, com fluxos variando entre $0,4$ a $0,9 \text{ Gt.ano}^{-1}$ de carbono (HOPE et al., 1994; MOORE, 1997; AITKENHEAD; McDOWELL, 2000). O maior estoque de COD do planeta encontra-se nos oceanos, com aproximadamente 700 Gt (SCHIMMEL, 1995). Por outro lado, os menores estoques de COD são encontrados nas soluções dos solos, com 1,1Gt, na água subterrânea, com 8,0 Gt, e em rios e lagos, com 1,1 Gt (MOORE, 1997).

A exportação continental de COD é aproximadamente $2 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ (MOORE 1997), ao passo que estudos em bacias mostram uma exportação entre 3 e $10 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ (HOPE et al., 1994). Isto indica que importantes processos ocorrem entre as escalas menores e destas até as maiores. Alterações nestes fluxos causadas pelo homem, tanto temporalmente quanto espacialmente, são mais facilmente perceptíveis em escalas menores, pois nas maiores um maior número de processos, às vezes antagônicos, pode ocorrer. Portanto, estudos em microbacias oferecem uma oportunidade para entender os processos naturais e/ou àqueles causados pelas ações antropogênicas (BORMANN; LIKENS, 1967).

Estudos em microbacias de regiões temperadas, envolvendo áreas preservadas e perturbadas, não geraram um modelo consensual em relação aos efeitos nas concentrações e exportação de COD, resultantes da perturbação (HOPE et al., 1994). Por exemplo, Meyer & Tate (1983) registraram uma redução na exportação de COD em uma microbacia perturbada em relação a uma microbacia florestada, ao passo que, na Nova Zelândia, Moore (1989) notou um aumento na exportação na microbacia perturbada. Estas variações podem estar relacionadas a diferentes mecanismos de exportação destas bacias ou à influência de diversas fontes de COD e das diferentes vias hidrológicas percorridas pela água durante os eventos de precipitação (HINTON et al., 1998).

A transformação de áreas de florestas em pastagens influencia diretamente o ciclo do carbono, como por exemplo, através da liberação para a atmosfera do carbono estocado na biomassa durante as queimadas (SCHIMMEL, 1995). Outras alterações já foram observadas no ciclo do carbono, principalmente no solo. Dependendo do sistema de manejo utilizado para a formação da pastagem após a derrubada, os estoques de carbono no solo, podem ser alterados ou não (TRUMBORE et al., 1995; de MORAES et al., 1996; NEILL et al., 1997). Em Rondônia, o manejo mais empregado é o estabelecimento de pastagens após as derrubadas das florestas e para os solos desta região, Neill et al. (1997) observaram que os maiores estoques de carbono no solo ocorreram em pastagens mais antigas, ao passo que os menores foram observados sobre solos de florestas e nas pastagens mais recentes. Através da composição isotópica do carbono ($\delta^{13}\text{C}$) estes autores demonstraram também, uma diminuição nos estoques de que carbono originário da floresta e ainda remanescente nas pastagens.

2.2 Concentrações e fluxos de COD nas vias hidrológicas de bacias de drenagem da Amazônia.

Vias hidrológicas podem ser definidas como o caminho da água em um ecossistema. A precipitação, a precipitação interna, o escoamento superficial, a água subterrânea em diversas profundidades, ou em vários horizontes do solo e, finalmente, o canal principal do rio constituem as vias hidrológicas preferenciais numa bacia de drenagem. Algumas destas vias são ativadas somente durante eventos de precipitação, como por exemplo, o escoamento superficial (ELSENBEER; VERTESSY, 2000; GODSEY et al., 2004).

Estudos realizados na Amazônia sobre concentrações e fluxos de elementos ou compostos nas vias hidrológicas em bacias, não compararam as concentrações e os fluxos entre floresta e pastagem e nem objetivaram o balanço de COD (CORNU et al., 1997;

WILLIAMS et al., 1997; FILOSO et al., 1999; WILLIAMS et al., 2004, MARKEWITZ et al., 2004; TOBÓN et al., 2004; NEU, 2005). Nestes estudos, o COD foi utilizado apenas para auxiliar na interpretação dos outros resultados relativos à composição das águas, sendo que alguns resultados são apresentados apenas para algumas vias hidrológicas (McCLAIN et al., 1997; CASSIOLATO, 2002; WILLIAMS et al., 2004; NEU, 2005; JOHNSON et al., 2006). Entretanto, tais estudos permitem obter-se uma visão geral de como funcionam estes sistemas em relação ao COD, principalmente para regiões cobertas por florestas (CASSIOLATO, 2002; MARKEWITZ et al., 2004; NEU, 2005).

A precipitação constitui uma das principais formas de entrada de carbono na forma dissolvida para os ecossistemas terrestres e aquáticos (WILLEY et al., 2000). O COD presente na precipitação pode ser de origem antropogênica, como a emissão industrial, queima de combustíveis fósseis, queima de biomassa (VELISNKY et al., 1986) e pastagens, ou de fontes naturais, como a emissão de compostos orgânicos pelas florestas (LIKENS, et al., 1983; DE SOUZA; CARVALHO, 2001).

Na região central da Amazônia, os estudos (Tabela 1) mostram que grande parte do COD presente na precipitação tem origem na emissão de compostos orgânicos pela floresta (ANDREAE et al., 1990; WILLIAMS et al., 1997), uma vez que a queima de biomassa nesta parte da bacia ainda não é significativa (WILLIAMS et al., 1997). O oposto pode estar acontecendo em Rondônia, onde a queima de florestas e pastagens durante a estação seca contribui para emissões de grandes quantidades de carbono para a atmosfera, principalmente na forma de fuligem e ácidos orgânicos de baixo peso molecular (ARTAXO et al., 2002). Assim, as mudanças no uso do solo observadas nesta região podem estar afetando as concentrações e as deposições de COD na precipitação (ARTAXO et al., 2005).

Tabela 1 - Concentrações médias anuais (μM) e fluxos de COD ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$) via precipitação na região Amazônica.

Localização	Concentração (μM)*			Fluxo ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$)	<i>n</i>	Referência
	Anual	Seco	Chuvoso			
Norte da Amazônia	800	--	--	123,4	88	Markewitz** et al. (2004)
Noroeste da Amazônia	328	--	--	133,9	35	Tobón** et al. (2004)
Amazônia Central	110	110	120	27,5	23	Filoso et al. (1999)
Amazônia Central	159	238	138	48,0	48	Williams et al. (1997)
Amazônia Central	--	--	68	--	13	Andreae et al. (1990)

* Média ponderada pelo volume; ** = 2 anos de coleta; *n* = número de amostras.

Alguns estudos sobre precipitação interna em áreas de florestas na Amazônia têm mostrado um aumento significativo na concentração de COD quando a água da precipitação passa pelo dossel da floresta (Tabela 2). Este aumento, que pode ser de até duas ordens de magnitude, é atribuído ao lixiviamento dos ácidos orgânicos do sistema foliar, do material orgânico em decomposição, e das partículas e aerossóis depositados sobre os troncos e folhas durante o período seco (FILOSO et al., 1999; TOBÓN et al., 2004). Já Markewitz et al. (2004) observaram uma redução na concentração do COD na precipitação após a passagem pelo dossel, mas estes resultados não são discutidos detalhadamente pelos autores. Segundo Filoso et al. (1999) e Johnson et al. (2006) existe uma variabilidade sazonal nas concentrações e fluxos de COD na precipitação interna em algumas regiões da Amazônia, sendo que os maiores valores ocorrem após um longo período de seca e os menores durante o período chuvoso.

Tabela 2 - Concentrações médias anuais (μM) e fluxos de COD ($\text{kg}\cdot\text{ha}\cdot^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$) na precipitação interna na região Amazônica.

Localização	Concentração (μM)*			Fluxo ($\text{kg}\cdot\text{ha}\cdot^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$)	<i>n</i>	Referência
	Anual	Seco	Chuvoso			
Sul da Amazônia	516	8008	200	149	--	Johnson et al. (2006)
Norte da Amazônia	675	--	--	83,1	--	Markewitz** et al. (2004)
Noroeste da Amazônia	559	--	--	190	35	Tobón** et al. (2004)
Amazônia Central	810	940	720	159	300	Filoso et al. (1999)
Amazônia Central	--	--	650	120,9	--	Cornu et al. (1997)

* Média ponderada pelo volume; ** = 2 anos de coleta; *n* = número de amostras.

As condições de umidade, a estrutura física do solo, a intensidade da precipitação ou a precipitação interna podem levar a formação do escoamento superficial. Em regiões temperadas, esta é uma importante via de transferência de COD do sistema terrestre para o aquático (HINTON et al., 1998). Na Amazônia, poucos estudos trabalharam com a dinâmica do COD nesta via. (Tabela 3). Recentemente, Johnson et al. (No Prelo)¹ demonstraram que existe uma diferença nas concentrações de COD no escoamento superficial entre duas áreas de florestas, com diferentes tipos de solos (Tabela 3). De acordo com estes autores, estas diferenças podem ser explicadas pelas distintas respostas do escoamento superficial durante eventos de precipitação em função dos tipos de solo. Nos Latossolos, a formação do escoamento superficial é mais rápida, com um menor tempo de contato com a matriz orgânica do solo e um deslocamento horizontal devido à existência de camadas de impedimento no perfil destes solos. Por outro lado, nos Argissolos, devido à inexistência de camadas de impedimento, uma fração significativa do escoamento superficial infiltra-se mais facilmente, e enquanto o solo não atinge a sua capacidade máxima de saturação para a formação do escoamento superficial, a água enriquece em COD, pois fica mais tempo em contato com a matriz orgânica do solo.

¹ JOHNSON, M.S.; LEHMANN J.; COUTO, E.G.; NOVAES FILHO, J.P.; RIHA, S. DOC and DIC in flowpaths of Amazonian headwater catchments with hydrologically contrasting soils. **Biogeochemistry**, Dordrecht, 2006. No Prelo

Cassiolato (2002) mostrou também que existem diferenças nas concentrações de COD no escoamento superficial quando se avalia os distintos usos e cobertura do solo no estado de Rondônia. As maiores concentrações de COD obtidas no seu estudo na floresta foram atribuídas à quantidade e a qualidade da serrapilheira sobre o solo. Ao escoar sobre o solo da floresta, a água do escoamento superficial lixiviaria, possivelmente, uma quantidade maior de ácidos orgânicos da serrapilheira, o que poderia explicar as altas concentrações neste ambiente. Portanto, o que se observa em geral nestes estudos na Amazônia são influências do tipo de solo sobre as concentrações de COD no escoamento superficial.

Tabela 3 - Concentrações médias de COD (μM) no escoamento superficial na região Amazônica.

Localização	Vegetação	Solos*	Conc. (μM)	Referência
Sul da Amazônia	Floresta	Latossolos	925	Johnson et al. (No Prelo) ²
Sul da Amazônia	Floresta	Argissolos	2183,4	Johnson et al. (No Prelo)
Sudoeste da Amazônia	Floresta	Argissolos	1094,2	Cassiolato (2002)
Sudoeste da Amazônia	Pastagem	Argissolos	902,5	Cassiolato (2002)
Sudoeste da Amazônia	Pastagem Manejada	Argissolos	925,9	Cassiolato (2002)
Amazônia Central	Cultura (mandioca)	Latossolos	869	Williams et al. (1997)

n = número de amostras coletadas; Conc. = Concentração de COD; * = Os tipos de solos foram adaptados ao Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999).

Parte da água que não forma o escoamento superficial pode percolar no solo, tanto verticalmente quanto horizontalmente, formando as águas subsuperficial, subterrânea e a solução do solo. Estas classificações dependem das características físicas dos solos (potenciais matriciais, osmóticos e gravitacionais) (AITKENHEAD et al., 2003) e dos parâmetros que se deseja avaliar no estudo.

Assim, neste estudo classificamos como solução do solo a água coletada por extratores de solução de solo, água subterrânea as águas coletadas em poços e, solução lixiviada do solo, águas coletadas com extratores de tensão zero (CASSIOLATO, 2002). Embora no escopo deste trabalho não se tenha coletado amostras com extratores de tensão zero, foi incluído na

² JOHNSON, M.S.; LEHMANN J.; COUTO, E.G.; NOVAES FILHO, J.P.; RIHA, S. DOC and DIC in flowpaths of Amazonian headwater catchments with hydrologically contrasting soils. **Biogeochemistry**, Dordrecht, 2006. No Prelo.

revisão para mostrar as variações existentes nas concentrações entre os perfis e os diversos tipos de solos na região Amazônica.

Na água subterrânea, subsuperficial e solução do solo, os principais mecanismos que regulam as concentrações e os fluxos de COD nestas vias são: a) adsorção/dessorção; b) imobilização/mineralização e; c) mudança nas vias hidrológicas.

De acordo com a revisão de Aitkenhead et al. (2003) em termos globais, os principais atributos potencialmente responsáveis pela adsorção do COD ao solo são: teores de argila, porcentagem de carbono no horizonte B do solo, teores de ferro e alumínio, área superficial das partículas do solo, ferro e alumínio (extraíveis por ácido clorídrico), óxidos de manganês, temperatura, pH, altas concentrações de nitrato e sulfato, e influência das fontes de COD.

Tanto a imobilização quanto a mineralização pode ocorrer nas frações mais lábeis do COD (carboidratos, aminoácidos, ácidos carboxílicos) (THURMAN, 1985; QUALLS; HAYNES, 1992; YANO et al., 1998) e contribuem para a regulagem das concentrações de COD na água do solo. Após estes processos, apenas as frações mais refratárias do carbono conseguem atingir as camadas inferiores das águas no solo, o que podem explicar a diminuição das concentrações em profundidade.

As vias hidrológicas no solo constituem outro mecanismo responsável pelo controle da concentração de COD na água do solo (solução do solo, água subterrânea). No solo, geralmente, os fluxos de água e de COD para as camadas mais profundas acontecem no sentido vertical, porém, a formação de camadas de impedimento causadas por mecanismos naturais ou antropogênicos (ELSENBEER et al., 1999) pode mudar o fluxo do sentido vertical para horizontal. Desta forma, as concentrações de COD nas águas subterrâneas podem sofrer uma diminuição em relação ao que se observava antes da formação da camada de impedimento.

Estudos realizados na região Central da Amazônia (Tabela 4) mostram que o tipo de solo influencia a concentração de COD na solução do solo. Independentemente da profundidade, em áreas com florestas, as maiores concentrações de COD são observadas nos Espodosolos (McCLAIN et al., 1997; NEU, 2005), ao passo que nos Latossolos e nos Argissolos as concentrações são menores. Os Latossolos possuem maior teor de argila, silte, óxidos de ferro e alumínio e uma área superficial muito maior que os Espodosolos, atributos que favorecem a retenção do carbono à matriz do solo, liberando pouco para a solução do solo (McCLAIN et al., 1997). Relação semelhante foi encontrada por Neu (2005), quando comparou Latossolos e Argissolos com Espodosolos em região próxima a Manaus.

Quanto à influência da cobertura vegetal sobre as concentrações de COD na solução do solo, Neu (2005) observou para o mesmo tipo de solo (Latosolos), maiores concentrações em áreas perturbadas (regeneração de floresta secundária), em relação à floresta primária. Resultados semelhantes foram encontrados por Cassiolato (2002) no estado de Rondônia e por Markevitz et al. (2004) no Pará em pastagens manejadas. Na área de reflorestamento do trabalho de Neu (2005) foram feitas adições de adubos químicos a base de nitrogênio, fósforo e potássio, da mesma forma que nas áreas de pastagens manejadas estudadas por Cassiolato (2002) e Markevitz et al. (2004). Estudos em florestas temperadas mostram que adições de adubos fosfatados provocam um aumento nos níveis de COD (SCHINDLER et al., 1992), o mesmo pode estar acontecendo nestas áreas na Amazônia.

Em geral, os estudos sobre COD na região amazônica (Tabelas 4, 5 e 6) mostram um decréscimo das concentrações em profundidade na água do solo, à exceção do trabalho de Neu (2005). Segundo esta autora, o aumento da concentração com a profundidade pode estar relacionado com a textura do solo, teores de ferro e alumínio, associado ainda à posição do solo no relevo.

Williams et al. (1997) (Tabela 5) observaram que as concentrações de COD na água subterrânea tiveram aumento quando áreas de florestas foram cortadas. Fato este atribuído à decomposição do material proveniente da floresta, depositado sobre o solo, que é carregado para a água subterrânea pela precipitação.

Tabela 4 - Concentração média de COD (μM) na solução do solo na região Amazônica.

Localização	Vegetação	Solo*	<i>n</i>	Prof. (cm)	Conc. (μM) Seco	Conc. (μM) Chuvoso	Referência
Norte da Amazônia	Floresta Primária	Latossolos	20	25	150**		Markewitz et al. (2004)
Norte da Amazônia	Floresta Secundária	Latossolos	21	25	150**		Markewitz et al. (2004)
Norte da Amazônia	Pastagem Degradada	Latossolos	11	25	225**		Markewitz et al. (2004)
Norte da Amazônia	Pastagem Manejada	Latossolos	34	25	184**		Markewitz et al. (2004)
Norte da Amazônia	Pastagem Manejada	Latossolos	6	20	1042**		Markewitz et al. (2004)
Norte da Amazônia	Floresta Primária	Latossolos	2	300	100**		Markewitz et al. (2004)
			11	300	142**		
Norte da Amazônia	Pastagem Degradada	Latossolos	1	750	1009**		Markewitz et al. (2004)
			2	300	384**		
Norte da Amazônia	Pastagem Manejada	Latossolos	11	700	184**		Markewitz et al. (2004)
Amazônia Central	Floresta Primária	Latossolos	11	20	153	283	Neu (2005)
			12	100	199	407	
Amazônia Central	Floresta Primária	Argissolo	12	20	148	229	Neu (2005)
			10	100	275	455	
Amazônia Central	Floresta Primária	Esposodosos	17	20	535	754	Neu (2005)
			16	100	681	974	
Amazônia Central	Floresta Primária	Latossolos	13	20	131	247	Neu (2005)
			13	100	177	327	
Amazônia Central	Área Degradada	Latossolos	8	20	209	288	Neu (2005)
			8	100	186	276	
Amazônia Central	Reflorestamento	Latossolos	10	20	280	462	Neu (2005)
			8	100	226	524	
Amazônia Central	Floresta Secundária	Latossolos	8	20	553	922	Neu (2005)
			8	100	214	487	
Amazônia Central	Floresta	Esposodosos	163	150	--	2990	McClain et al. (1997)
Amazônia Central	Floresta	Latossolos	72	150	--	291	McClain et al. (1997)
Amazônia Central	Floresta	Latossolos	54	100	--	127	McClain et al. (1997)
Sudoeste da Amazônia	Floresta	Argisolos	--	100	--	340,0	Cassiolato (2002)
Sudoeste da Amazônia	Pastagem	Argisolos	--	100	--	302,5	Cassiolato (2002)
Sudoeste da Amazônia	Pastagem Manejada	Argisolos	--	100	--	405,2	Cassiolato (2002)

n = número de amostras coletadas; Prof. = Profundidade; Conc.= Concentração de COD; * = Os tipos de solos foram adaptados ao Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999); ** = Corresponde ao período seco e chuvoso.

Tabela 5 - Concentrações médias de COD na água subterrânea na região Amazônica.

Localização	Vegetação	Solo*	n	Prof. (cm)	Conc. (μM)	Referência
Amazônia Central	Floresta	Latossolos	--	**	54	Williams et al. (1997)
Amazônia Central	Área desmatada	Latossolos	--	**	138	Williams et al. (1997)

n = número de amostras coletadas; Prof. = Profundidade; * = Os tipos de solos foram adaptados ao Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999); **= Profundidades variando de 1 a 16 metros; Conc.= Concentração de COD.

Tabela 6 - Concentrações médias de COD (μM) na solução lixiviada do solo na região Amazônica.

Localização	Vegetação	Solo*	n	Prof. (cm)	Conc. (μM)	Referência
Sul da Amazônia	Floresta Primária	Latossolos	--	10	616,7	Johnson et al. (No Prelo) ³
Sul da Amazônia	Floresta Primária	Argisolos	--	10	850	Johnson et al. (No Prelo)
Norte da Amazônia	Floresta Primária	Latossolos	2	300	67	Markewitz et al. (2004)
Norte da Amazônia	Floresta Secundária	Latossolos	2	300	1275	Markewitz et al. (2004)
Norte da Amazônia	Pastagem Degradada	Latossolos	10 7	300 700	467 400	Markewitz et al. (2004)
Sudoeste da Amazônia	Floresta	Argisolos	6	100	140,8	Cassiolato (2002)
Sudoeste da Amazônia	Pastagem	Argisolos	6	100	207,5	Cassiolato (2002)
Sudoeste da Amazônia	Pastagem Manejada	Argisolos	6	100	530,8	Cassiolato (2002)
Amazônia Central	Floresta	Latossolos	--	50	121	Williams et al. (1997)
Amazônia Central	Área desmatada	Latossolos	--	50	194	Williams et al. (1997)
Amazônia Central	Floresta	Latossolos	--	10	510	Cornu et al. (1997)
Amazônia Central	Floresta	Latossolos	--	20	720	Cornu et al. (1997)
Amazônia Central	Floresta	Latossolos	--	40	370	Cornu et al. (1997)

n = número de amostras coletadas; Prof. = Profundidade; Conc.= Concentração de COD; * = Os tipos de solos foram adaptados ao Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999).

Todas as vias hidrológicas acima citadas podem fornecer ou não COD para um rio. O rio constitui uma das principais vias hidrológicas responsáveis pelo transporte de COD em

³ JOHNSON, M.S.; LEHMANN J.; COUTO, E.G.; NOVAES FILHO, J.P.; RIHA, S. DOC and DIC in flowpaths of Amazonian headwater catchments with hydrologically contrasting soils. **Biogeochemistry**, Dordrecht, 2006. No Prelo

uma bacia de drenagem. Para a região Amazônica, grande parte dos estudos calcula as exportações de COD apenas para os grandes rios (RICHEY et al., 1990; MOREIRA-TURCQ et al., 2003), enquanto que poucos estudos mostram a exportação em rios pequenos, principalmente para bacias de primeira ordem (JOHNSON et al., 2006; WATERLOO et al. (No Prelo⁴)).

Johnson et al. (2006) estimaram uma exportação de 31,5 kg.ha.⁻¹ ano⁻¹ de COD em uma microbacia de floresta no Sul da Amazônia para o ano de 2003 (precipitação média de 2379 mm). Entretanto, Waterloo et al. (No Prelo) observaram uma exportação de 10,8 kg.ha.⁻¹ ano⁻¹ para o ano de 2002 e 24,7 kg.ha.⁻¹.ano⁻¹ para o ano de 2003 em uma microbacia de floresta na Amazônia Central. As diferenças no estudo de Waterloo et al. (No Prelo), foram atribuídas aos diferentes regimes pluviométricos nos anos de 2002 (2976 mm) e 2003 (2054 mm). Os diferentes resultados obtidos nestes estudos de Waterloo et al. (No Prelo) e Johnson et al. (2006), quanto às exportações podem estar relacionadas a diferentes regimes pluviométricos entre as regiões e entre os anos, e aos distintos tipos de solos nas duas regiões: Latossolos e Argissolos para o primeiro e Latossolos para o segundo estudo. McClain et al. (1997) observaram para a Amazônia Central valores diferentes na exportação de carbono para dois rios que drenam solos distintos. Portanto, devido às estas variações regionais, fazem-se necessários mais estudos na região amazônica para uma melhor compreensão dos processos que regulam as exportações de COD em bacias, principalmente, comparando áreas preservadas e perturbadas.

⁴ WATERLOO, M.J.; PINEDA, A.C.; OLIVEIRA, SM.; NOBRE, A.D.; DRUCKER, D.P.; HODNETT, M.G.; LANGEDIJK, I.; JANS, W.W.P.; TOMASELLA, J.; ARAÚJO, A.C.; PIMENTEL, T. Fluxes of dissolved organic carbon in rainfall and runoff from a small Amazonian rainforest catchment. **Hydrological Processes**, Chichester, 2006. No Prelo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O estudo foi realizado em duas bacias de primeira ordem, segundo a classificação de STRAHLER (1970), apresentando coberturas vegetais distintas, uma com floresta primária e a outra com pastagem, e canais efêmeros, com escoamento somente durante eventos de precipitação úmida. Ambas estão localizadas na Fazenda Rancho Grande, no município de Cacaulândia, a 50 km de Ariquemes, Estado de Rondônia, sudoeste da Amazônia, em uma altitude de 143m (acima do nível do mar) (Figura 1).

O clima da região é classificado como tropical úmido, segundo a classificação de Köppen, com temperatura média de 27,7 °C e precipitação média anual de 2246 mm. O período caracterizado como chuvoso estende-se de Novembro a Junho (GODSEY; ELSENBEER et al., 2004; CASTELLANOS, 2005).

Na área da atual pastagem, a vegetação foi removida e queimada duas vezes (1980 e 1981). Em 1981, foi instalada na área uma plantação de milho com capim. Desde 1984, aproximadamente 200 cabeças de gado têm pastoreado esporadicamente na área. Em 1993, partes da pastagem, incluindo a microbacia, foram manejadas, sendo plantada a gramínea *Brachiaria humidicola* (ZIMMERMANN et al., 2006).

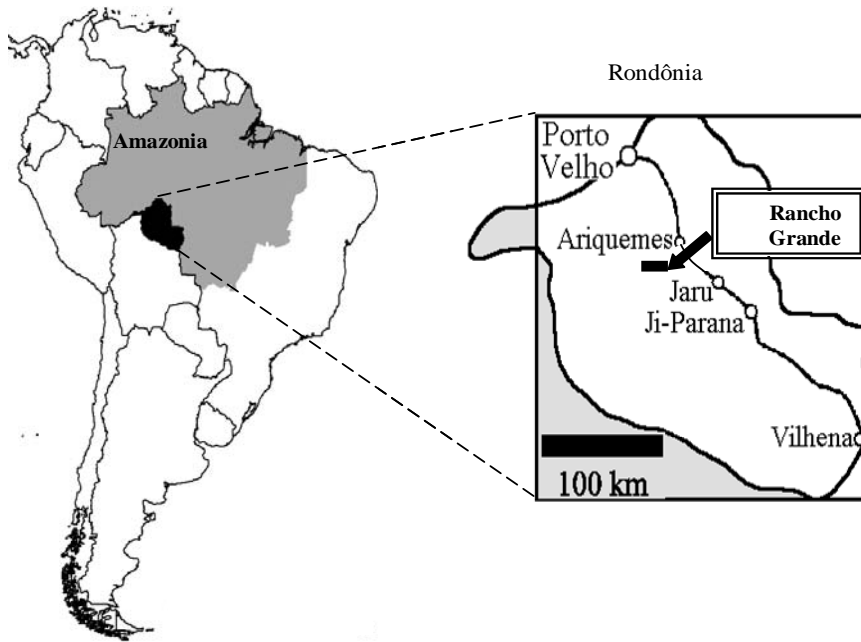


Figura 1. Localização da Fazenda Rancho Grande, no estado de Rondônia.

A floresta é do tipo ombrófila aberta, com um número expressivo de palmeiras (GERMER et al., 2006). Os solos da floresta e da pastagem são classificados como Latossolos (EMBRAPA, 1999).

Alguns parâmetros morfométricos das bacias são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Parâmetros físicos das bacias.

Parâmetros	Pastagem	Floresta
Área (m ²)	6822	8298
Perímetro	402,62	422,93
Comprimento do canal do igarapé (m)	180	198
Declividade (graus)	2,14-desvio 1,4	4,05-desvio 3,7

3.2 Métodos de amostragem e medidas de campo

Este trabalho consistiu no monitoramento hidrológico e biogeoquímico de duas bacias. Parte do monitoramento foi realizada durante eventos de precipitação e outra parte foi realizada em dias programados, como por exemplo, a amostragem da solução do solo e da água subterrânea.

Na floresta, a precipitação interna foi coletada em tubos de PVC de 150 mm de diâmetro por 150 cm de comprimento (Figura 2-A). Uma abertura lateral de 7 por 140 cm foi feita em cada coletor para permitir a entrada da água. Esta abertura forma uma área de 980 cm², valor que posteriormente é extrapolado para toda a bacia. Nestes amostradores, a água escorre da “calha” de PVC para dentro de um funil, contendo uma rede para reter galhos e folhas, e deste para dentro um galão de amostragem. Foram instalados 20 coletores, a uma altura de 1 m acima do solo, suspensos em uma estrutura de madeira, e dispostos aleatoriamente dentro da área de estudo. Na pastagem este mesmo sistema foi utilizado para a coleta da precipitação, com apenas um coletor (Figura 2-B).

O escoamento superficial foi coletado, em ambas as bacias, empregando-se três tubos de PVC de 40 mm de diâmetro, instalados aleatoriamente dentro das mesmas (Figura 2-C). Para permitir a entrada da água, os tubos foram perfurados lateralmente, e esta área perfurada colocada em contato com o solo. Ao entrar nos furos, a água escorre ao longo dos tubos para um depósito em um outro tubo de PVC de 150 mm de diâmetro, fechado nas duas extremidades.

Na saída dos canais dos igarapés de cada bacia foram instalados vertedouro do tipo H para o monitoramento hidrológico e químico (Figura 2-D). As amostras destinadas a análise química foram coletadas por um equipamento automatizado da marca ISCO modelo 6700. Este equipamento permite coletar amostras em função do nível de água no vertedouro ou de um intervalo de tempo pré-determinado. Em cada evento de chuva, as primeiras 16 amostras foram coletadas a cada 5 minutos e as últimas 8 amostras a cada 20 minutos.

A solução do solo foi monitorada através de 20 extratores de solução de solo, tanto na floresta quanto na pastagem. Os extratores foram instalados, em ambas as bacias, nas profundidades de 20 e 100 cm, sendo 10 coletores a cada profundidade (Figura 2-E). Os extratores consistem de tubos de PVC, com uma cápsula de cerâmica porosa na extremidade

que fica em contato com o solo. Estes extratores coletam a solução do solo por sucção para dentro da cápsula, decorrente de uma diferença de pressão de aproximadamente 150 milibares, aplicada com uma bomba de vácuo na superfície, conectada a elas por tubulação de polietileno. As amostras foram coletadas a cada 10 dias.

Em cada microbacia foram abertos 3 poços com profundidades variando entre 5 e 6 m, para o monitoramento da química da água subterrânea (Figura 2-F). Antes das coletas, a água dos poços era retirada e após 10 minutos, as coletas para análises de COD eram feitas. Destes poços foram coletadas amostras semanais.

Após cada coleta, as amostras de todos os tipos de coletores foram imediatamente levadas ao laboratório para filtração e armazenamento.

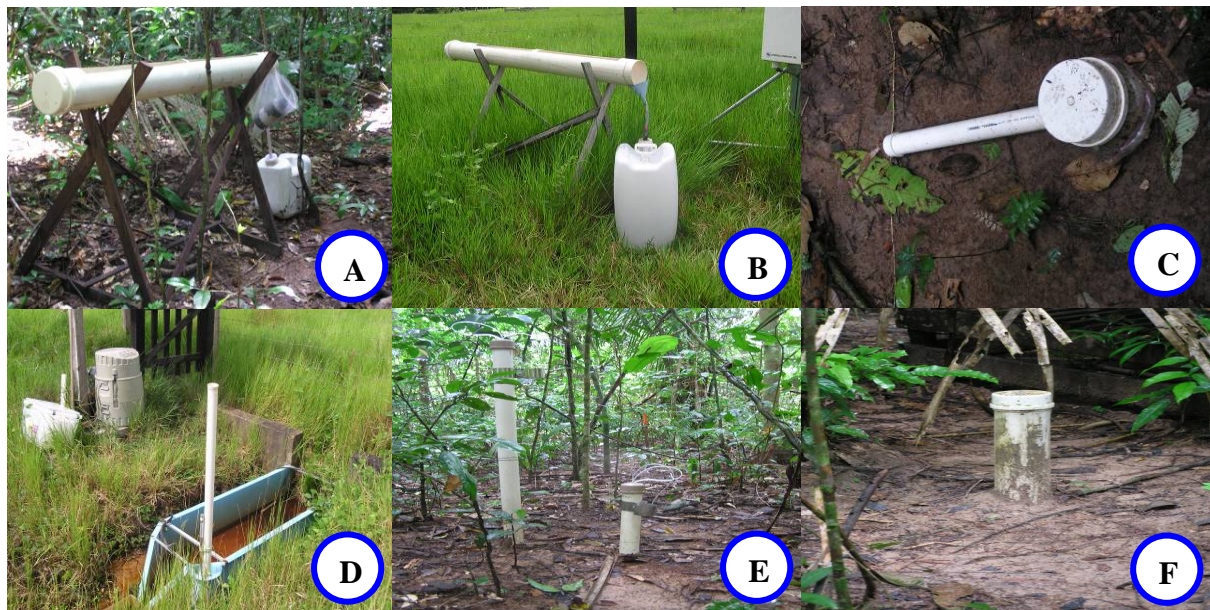


Figura 2. Coletores instalados na floresta e na pastagem. A = Coletor de precipitação interna; B = Coletor de precipitação; C = Coletor de escoamento superficial; D = Vertedouro do igarapé (saída da bacia); E = Coletor de solução do solo a 20 (à esquerda) e 100 cm de profundidade (à direita); F = Coletor de água subterrânea.

Uma alíquota de cada amostra foi filtrada em filtros de fibra de vidro (Whatman GF/F 47 mm de diâmetro, porosidade nominal de 0,7 μ m) e acondicionada em frascos de vidro, com tampas de teflon. Tanto os filtros quanto os frascos foram previamente calcinados à temperatura de 550 °C por 5 horas. As amostras foram preservadas com cloreto de mercúrio (HgCl₂) a uma concentração final de 300 μ M, de acordo com a metodologia proposta por Kaplan (1994). Em seguida as amostras foram mantidas refrigeradas até serem encaminhadas ao laboratório de ecologia isotópica, onde as concentrações de COD foram determinadas.

3.3 Hidrologia

Para calcular fluxos de um elemento ou composto dissolvido nas águas de uma bacia qualquer faz-se necessário o acompanhamento da hidrologia local. Para isto, foi instalada na bacia da pastagem uma estação meteorológica, para monitorar o volume da precipitação, a cada 5 minutos, durante os eventos de precipitação ocorridos entre 2002 e 2005. No mesmo período, foram monitoradas também, em intervalos de 30 minutos, a velocidade e direção do vento, radiação solar, umidade e temperatura do ar, pressão, temperatura e taxas de infiltração da água no solo. Na floresta, o volume de água que entrava na bacia foi monitorado através dos 20 coletores de precipitação interna. Maiores detalhes sobre este monitoramento pode ser encontrada no artigo de Germer et al. (2006).

Para o monitoramento da água subterrânea foram instalados 3 poços na floresta e 3 na pastagem, com profundidades variando entre 5 e 6 m. A profundidade da coluna d'água nos poços foi medida manualmente, empregando-se sensor que emitia um pequeno ruído ao entrar em contato com a superfície da água. Ao emitir o som, a profundidade da coluna d'água, marcada na corda suporte era anotada. As medidas foram realizadas semanalmente e antes das coletas para análises de COD.

As descargas nos canais dos igarapés foram monitoradas entre Agosto de 2004 e Julho de 2005, através dos vertedouros. Nestes, foram instalados sensores da marca Trutrack, modelo WT-VO500 para a medida da altura da coluna d'água. Através da equação proposta por Bogs (1978) para vertedouros do tipo H, a descarga dos canais dos igarapés foi calculada em função da altura da coluna d'água (Equação 1):

$$Q = 10^{(0,0206 + 2,5902 (\log h) + 0,2281 (\log h)^2)} \times 1000 \quad (\text{Eq.1})$$

Onde:

Q = Descarga, expressa em L.s⁻¹

h = Altura da coluna d'água, expressa em m.

3.4 Métodos Analíticos

3.4.1 Determinação de Carbono Orgânico Dissolvido

As concentrações de COD foram determinadas em um analisador de Carbono Orgânico Total da marca Shimadzu, modelo TOC 5000A. Neste equipamento, a detecção do COD é feita na forma de CO₂ em um analisador de gases com absorvância no infravermelho. Inicialmente, as amostras são acidificadas com ácido sulfúrico até pH 1,0 e borbulhadas com ar sintético para retirar todas as formas de carbono inorgânico dissolvido (transformadas em CO₂ pela acidificação). Posteriormente, uma alíquota da amostra é injetada no equipamento e queimada a uma temperatura de 680 °C, transformando todo o COD em CO₂. Este gás é carregado por um fluxo de ar sintético, passando por uma coluna de resfriamento, um desumificador eletrônico, um filtro de gases halogenados e uma membrana de filtro, chegando ao detector para quantificação. As concentrações foram determinadas por comparação com padrões externos. O coeficiente de variabilidade entre replicatas das determinações de uma

mesma amostra foi menor que 1,5% para amostras de alta concentração e menor que 5% para amostras de baixa concentração.

3.4.2 Cálculo da Média Ponderada pelo Volume, Deposição Úmida e Balanços.

Devido ao fator de diluição, os valores da concentração de um elemento ou composto na precipitação, na precipitação interna ou no igarapé, devem ser expressos em função da média ponderada pelo volume (MPV). A MPV foi calculada usando a seguinte expressão:

$$MPV = \frac{\sum_{i=1}^n C_i V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (\text{Eq. 2}).$$

Neste caso, a concentração é dada em μM e o volume em mm

Na precipitação interna, a MPV foi calculada duas vezes: (1) para cada evento, utilizando os 20 coletores (n), e baseada nas concentrações (C_i) e nos volumes de cada coletor (V_i) e; (2) para cada período, usando as MPVs (C_i) calculadas anteriormente para evento (i) e o seu respectivo volume (V_i), com o número de eventos variando de 1 a n .

Nos canais dos igarapés, a MPV também foi calculada duas vezes: (1) para cada evento, utilizando-se a concentração instantânea (C_i) observada num determinado fluxo (i) do igarapé, e o volume da descarga (V_i) para um intervalo (i) entre as concentrações, onde este volume é o ponto médio entre as concentrações no intervalo (i). Neste caso, n representa as amostras do evento e $\sum V_i$ no denominador (Equação 2) o volume total para o evento e; (2) para cada período, utilizando as concentrações (MPV) (C_i) calculadas anteriormente para cada evento e os respectivos volumes (V_i) deste evento. Para os cálculos por períodos, o denominador $\sum V_i$ na equação 2 representa o volume total no período (i) e o n são os eventos em cada período.

A deposição (D) e a exportação (E) foram calculadas usando a média ponderada pelo volume (MPV) e o volume total de água na entrada (precipitação e precipitação interna) e saída (pelos vertedouros), tanto por evento quanto anualmente, de acordo com a fórmula:

$$D/E = (MPV) \left(\sum_{i=1}^n V_i \right) \quad (\text{Eq. 3}).$$

A deposição é expressa em $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, a MPV é expressa em μM e o volume em mm. Na equação 3, o i representa a variação do volume para cada evento n . Como o volume é expresso em mm, a área da bacia entra neste cálculo.

O balanço de massa foi calculado usando a seguinte equação:

$$\mathbf{BALANÇO} = \mathbf{ENTRADA} - \mathbf{SAÍDA} \quad (\text{Eq. 4}).$$

Onde:

Entrada = Fluxo de entrada pela precipitação, expresso em $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$

Saída = Fluxo de saída nos vertedouros da pastagem e da floresta, expresso em $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$

Devido às restrições logísticas deste estudo, os balanços são apenas parciais, pois foram consideradas como entrada e saída, respectivamente, a precipitação e os canais dos igarapés, as vias hidrológicas rápidas de cada bacia. Para um balanço completo do COD, outras vias devem ser levadas em consideração, como por exemplo, a saída pela água subterrânea.

3.5 Análise estatística

Como parte dos dados não segue uma distribuição normal, foram utilizados testes estatísticos não-paramétricos para a análise dos mesmos.

As comparações entre as concentrações de COD em vias hidrológicas da floresta e da pastagem foram feitas utilizando os testes estatísticos não paramétricos de Mann-Whitney e o Teste de Kruskal-Wallis. Este último é um teste para análise de variância, porém é semelhante

ao teste de Mann-Whitney para duas amostras independentes. Para comparar as variações sazonais das concentrações de uma mesma via hidrológica em cada área foi utilizado o teste não paramétrico do qui-quadrado para medianas. Para este teste, basicamente, é feita uma contagem dos números de pontos que está abaixo ou acima da mediana para ambos os casos e testado se esta contagem é diferente ou não. Todos estes testes foram feitos no programa “STATISTICA 6,0”.

Os resultados foram expressos da seguinte maneira: diferenças altamente significativa para $p < 0,01$; diferenças significativas para $p < 0,05$ e; sem diferenças estatisticamente significativas para $p > 0,05$.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Comportamento hidrológico das bacias

A precipitação total registrada entre Agosto de 2004 e Julho de 2005 foi de 2286 mm. O período de Dezembro a Fevereiro apresentou os meses com os maiores volumes de chuva, ao passo que Julho foi o mês com a menor precipitação. Em Agosto, a precipitação registrada pela estação meteorológica foi muito superior à média histórica (Figura 3).

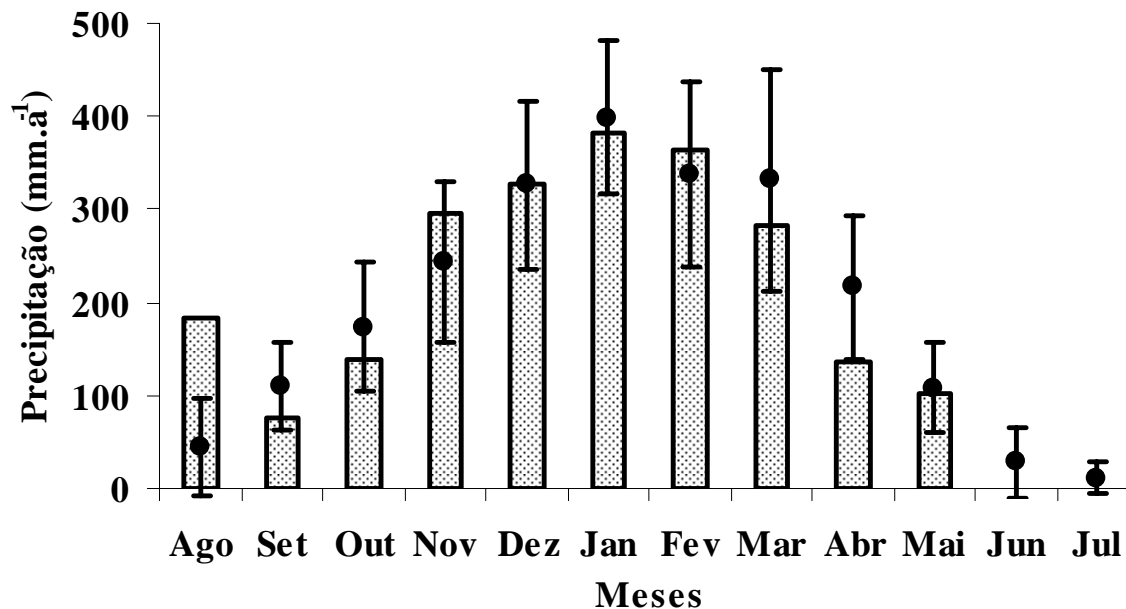


Figura 3. Precipitação média para o período estudado (barras) e a média histórica de 1984-2003 (círculos e barras). (Extraído de Germer et al., 2006).

Em um estudo realizado simultaneamente a este, Germer et al. (2006) demonstraram que, do total da precipitação para o período estudado, 89% atinge o solo da floresta como precipitação interna. Nos nossos cálculos mostram que, a partir deste valor total de

precipitação interna, 2% saíram da microbacia pelo canal do igarapé e 98% por outras vias não medidas (água subterrânea, evaporação ou transpiração). Na pastagem, do total de água que entrou via precipitação (2286 mm), 19% saíram pelo canal do igarapé e 81% por outras vias não medidas (água subterrânea ou evapotranspiração). Resultados semelhantes foram encontrados por Moraes et al. (No Prelo) ¹, ao comparar bacias florestadas com bacias com pastagens, em Paragominas, Pára.

O aumento na quantidade de água no canal do igarapé da pastagem está relacionado à compactação dos solos (ELSENBEER et al., 1999). Com a retirada da cobertura vegetal e queima da matéria orgânica depositada sobre o solo, os componentes e os agregados do solo desestabilizam-se, diminuindo a porosidade pela aproximação das partículas. Isto diminui a taxa de infiltração, aumentando o escoamento superficial durante eventos de precipitação. Tal processo é agravado pelo pisoteio do gado.

Por outro lado, a menor quantidade de água no canal do igarapé da floresta pode ser atribuída à alta capacidade de infiltração dos solos desta área. Estas altas taxas de infiltração estão relacionadas com a proteção deste pela matéria orgânica, que mantém as partículas e agregados do solo mais dispersos, diminuindo a densidade e aumentando a porosidade e, portanto, facilitando a infiltração (BONNEL, 1998). Ao mesmo tempo, a interceptação das chuvas pelo dossel, diminui o impacto destas sobre os solos, atenuando seu efeito compactador.

Embora neste estudo não seja possível quantificarmos os fluxos de água dentro do compartimento subterrâneo, as variações na profundidade do lençol freático em função do tempo indicam se o sistema forneceu ou não água para este compartimento. A partir da Figura 4, observa-se que a profundidade do lençol freático foi maior no início e menor no fim do período do estudo, mostrando que a partir do início do período chuvoso, o compartimento

¹ MORAES, J.M.; SCHULER, A.E.; DUNNE, T.; FIGUEIREDO, R.O.; VICTORIA, R.L. Water storage and runoff processes in plinthic soils under forest and pasture in Eastern Amazonia. **Hydrological Processes**, Chichester, 2006. No Prelo.

subterrâneo recebeu aporte de alguma fonte de água, provavelmente da precipitação. Percebe-se também que, via de regra, este aumento é superior na floresta, outro indicativo da maior recarga (infiltração) do lençol freático nesta e maior escoamento superficial na pastagem.

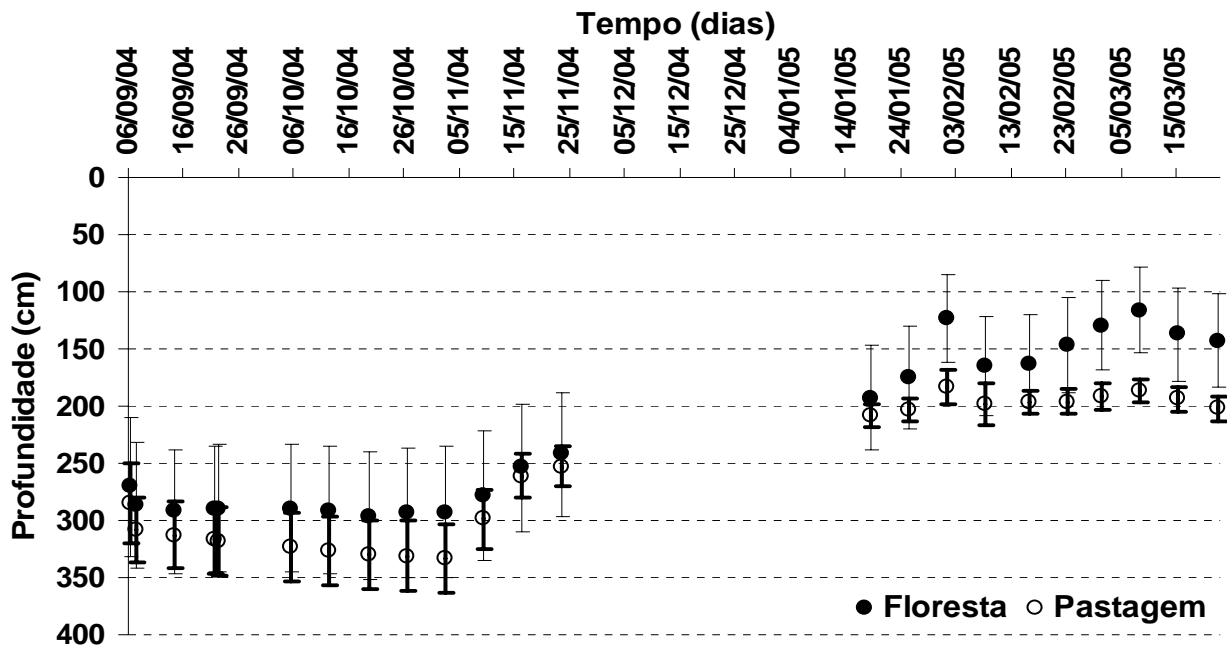


Figura 4. Profundidade do lençol freático na floresta e na pastagem em relação ao nível do solo. Os pontos e as barras representam, respectivamente, a média e os desvios-padrão dos três poços em cada área.

4.2 Variações sazonais das concentrações de COD em vias hidrológicas na bacia da floresta e da pastagem.

4.2.1 Bacia da pastagem

Para estudar a variabilidade sazonal nas vias hidrológicas, os resultados foram divididos em dois períodos, de acordo com as intensidades e volumes dos eventos de precipitação, quais sejam: (a) período de transição de seca para chuva, compreendido entre os

meses de Agosto a Novembro, e referido, daqui em diante, apenas como transição e; (b) período chuvoso, compreendendo os meses de Janeiro a Abril.

A maior concentração de COD na precipitação durante a transição (Figura 5) pode ser explicada em função de processos naturais e da queima de biomassa na região, tanto em áreas de florestas quanto em áreas de pastagens. A queima da biomassa libera para a atmosfera grandes quantidades de partículas, gases (ARTAXO et al., 2005) e ácidos carboxílicos de baixo peso molecular (FALKOVICH et al., 2005), os quais podem reagir e dissociar-se nos vapores de água da atmosfera. Por outro lado, no período chuvoso, o COD na precipitação pode ter origem na reação e dissolução de compostos orgânicos voláteis, emitidos pelas florestas e solos das pastagens, com os vapores de água na atmosfera (DE SOUZA; CARVALHO, 2001).

No escoamento superficial as concentrações de COD apresentam diferenças estatisticamente significativa ($p < 0,01$) entre os períodos de transição e chuvoso, com os maiores valores observados no primeiro (Figura 5). Isto decorre, em parte, do fato que a precipitação, precursora desta via, também encontra-se mais enriquecida em COD neste período. Porém, talvez relativamente mais importantes sejam o carreamento e lixiviamento das partículas depositadas sobre o solo, originadas das perdas foliares e da queima da biomassa durante o período seco.

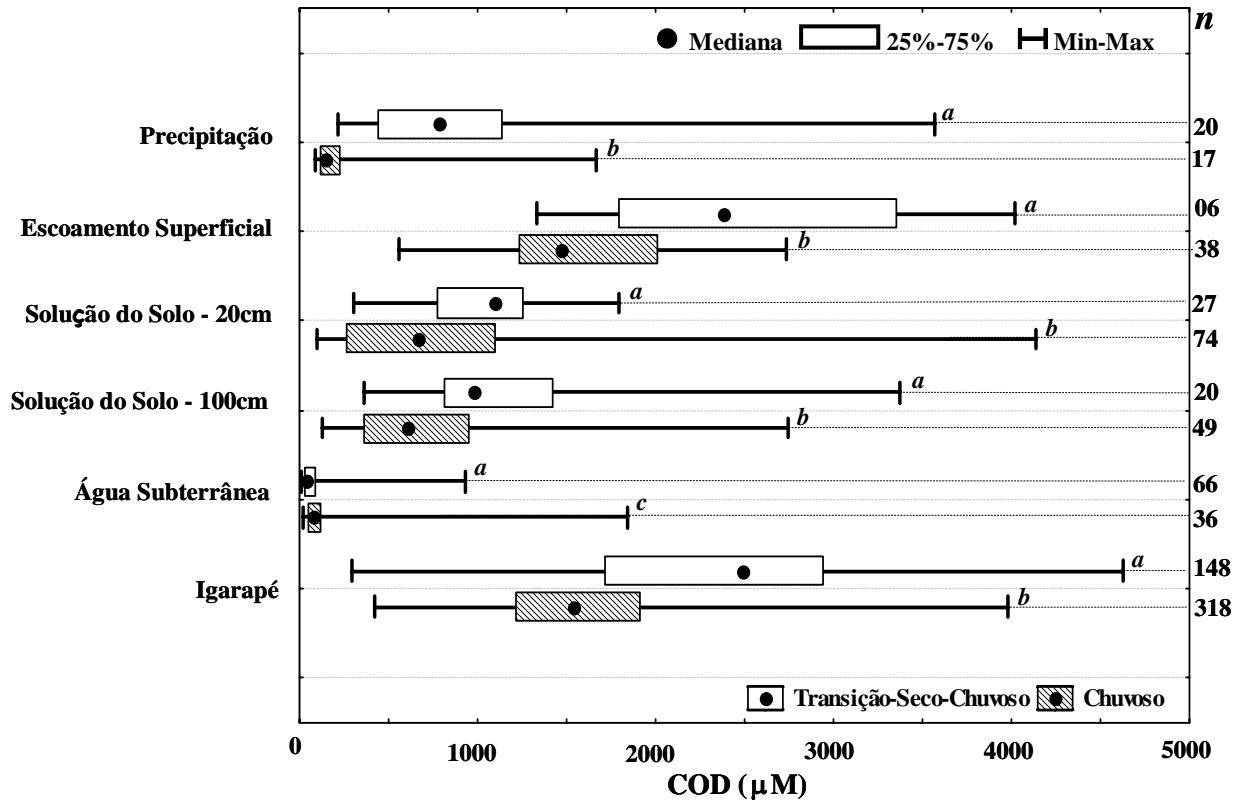


Figura 5. Concentrações de COD nas vias hidrológicas da pastagem nos períodos chuvoso e de transição da seca para o chuvoso. Para a mesma via hidrológica entre os dois períodos, letras distintas identificam valores estatisticamente diferentes (a e b , $p < 0,01$ e a e c , $p < 0,05$); n = número de amostras.

Também para a solução do solo a 20 e 100 cm de profundidade, as diferenças entre os dois períodos foram altamente significativas ($p < 0,01$), ao passo que na água subterrânea foram apenas significativas ($p < 0,05$) (Figura 5). As menores concentrações de COD na solução do solo no período chuvoso podem estar refletindo um aporte de águas menos ricas em COD neste período. Ao mesmo tempo, em todos os períodos observa-se um decréscimo destas concentrações à medida que a solução percola os solos (isto é, de 0,2 para 1 - coletores de solução de solo - e de 1 para 5-6 metros – coletores de água subterrânea) (Figura 5). Tal decréscimo com a profundidade é resultado da adsorção e/ou mineralização e/ou imobilização da matéria orgânica nas camadas superficiais do solo (THURMAN, 1985; McCLAIN et al., 1997).

As concentrações de COD nas águas do igarapé apresentaram diferenças estatísticas altamente significativas entre os períodos de transição e chuvoso ($p < 0,01$) (Figura 5), com valores muito similares àqueles observados no escoamento superficial. Portanto, apesar das outras vias de entrada de COD neste sistema fluvial, como precipitação e água subterrânea, terem relativa importância no balanço final desta fração do carbono nesta bacia, o fato das concentrações do mesmo nestas vias serem inferiores àquelas observadas no escoamento superficial, torna a última a provável fonte preponderante de COD na descarga.

4.2.2 Bacia da floresta

Como a precipitação úmida que ocorre sobre a pastagem é a mesma que atinge a floresta, mesmo sendo esta uma das vias hidrológicas na floresta, a discussão sobre a sua dinâmica encontra-se no item anterior. Neste item, esta via será discutida apenas em termos comparativos com as outras.

A maior concentração de COD na precipitação interna em relação à precipitação (Figura 6), tanto no período de transição quanto no chuvoso, deve-se ao lixiviamento do dossel, do material orgânico das folhas e/ou da deposição de outros materiais sobre os troncos e folhas (McDOWELL et al., 1988). Este material pode ter origem na decomposição de folhas, pequenos ramos ou frutos que se depositam sobre os troncos, nos excrementos de pequenos animais que vivem no dossel da floresta (MOORE et al., 1989) e na deposição de partículas e aerossóis de fontes externas (ARTAXO et al., 2005). Aumentos como estes nas concentrações de COD da água que adentra a floresta já foram observados em outras regiões da Amazônia (FILOSO et al., 1999; TOBÓN et al., 2004; JOHNSON et al., 2006).

As concentrações de COD na precipitação interna apresentam marcada variabilidade sazonal, com valores superiores no período de transição (Figura 6). A sazonalidade da

precipitação interna também foi registrada por Filoso et al. (1999) na Amazônia Central e por Johnson et al. (2006) no Sul da Amazônia. As menores concentrações de COD na precipitação interna durante o período chuvoso, são atribuídas ao número e a intensidade dos eventos de precipitação durante esta estação, que lixiviam o dossel da floresta constantemente (JOHNSON et al., 2006). Por outro lado, as maiores concentrações no período de transição são devidas à ocorrência de um reduzido número de eventos e à deposição de partículas no dossel da floresta, provenientes da poeira dos solos e da queima de biomassa (ARTAXO et al., 2005; JOHNSON et al., 2006).

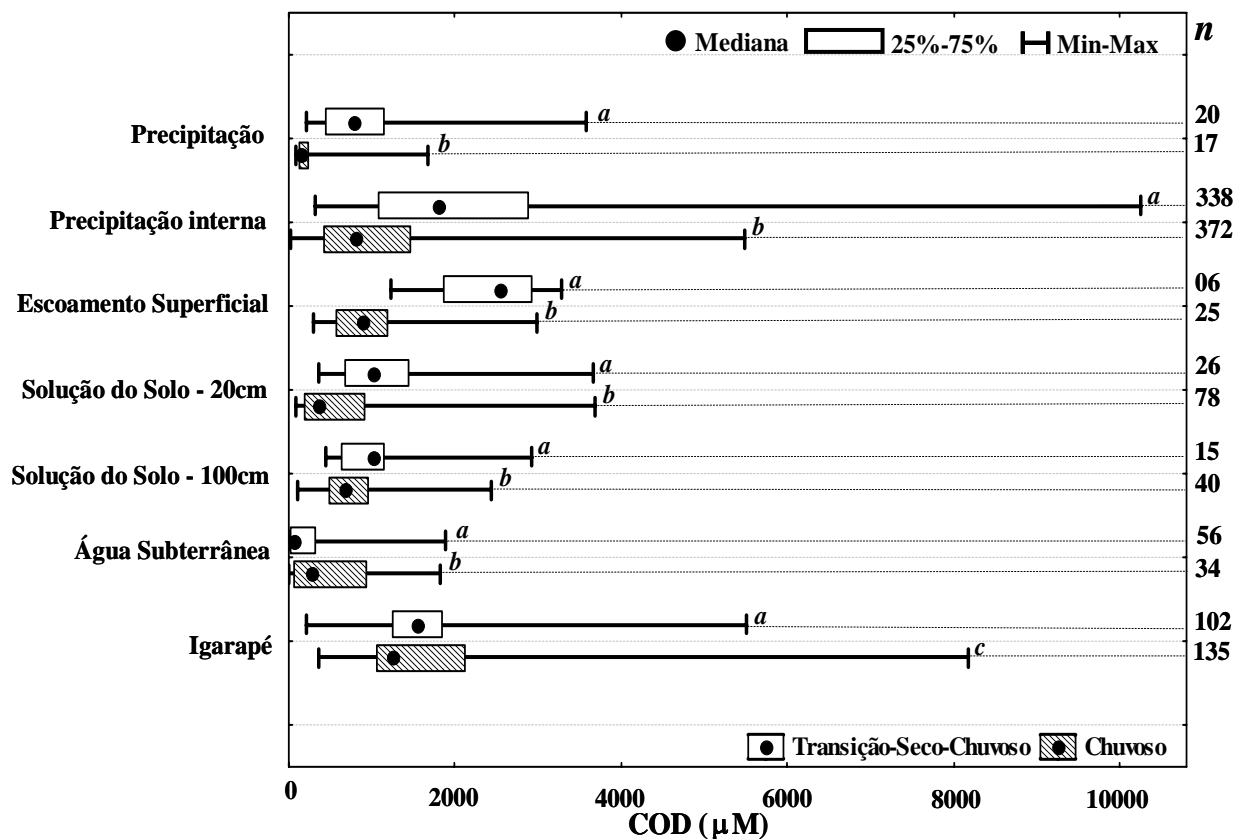


Figura 6. Concentrações de COD nas vias hidrológicas da floresta nos período chuvoso e de transição da seca para o chuvoso. Para a mesma via hidrológica entre os dois períodos, letras diferentes significam valores estatisticamente diferentes (a e b , $p < 0,01$ e a e c , $p < 0,05$); n = número de amostras.

As concentrações de COD no escoamento superficial foram significativamente diferentes entre o período de transição e o período chuvoso ($p < 0,01$) (Figura 6). As

concentrações de COD no escoamento superficial apresentaram a mesma variabilidade sazonal observada na precipitação interna. Isto indica que existe uma relação direta entre estas duas vias. Porém, enquanto no período chuvoso não se observam diferenças entre as concentrações de COD do escoamento superficial e da precipitação interna, no período de transição, as concentrações do primeiro são maiores, indicando um enriquecimento em COD durante o transporte pela superfície dos solos.

As concentrações de COD na solução do solo a 20 cm e 100 cm de profundidade e na água subterrânea apresentaram diferenças altamente significativa ($p < 0,01$) entre os períodos de transição e chuvoso (Figura 6). Na solução do solo a 20 e 100 cm de profundidade as concentrações de COD foram menores no período chuvoso, refletindo o observado na precipitação interna e no escoamento superficial. Entretanto, na água subterrânea observou-se o oposto, com maiores concentrações de COD no período chuvoso (Figura 6). Isto indica que, apesar do COD ser retido no solo à medida que percola para profundidades maiores, tal retenção não é suficiente para impedir que as fontes muito mais ricas em COD (precipitação interna e escoamento superficial), provoquem um aumento destas concentrações nas águas subterrâneas na floresta. Este fato também pode estar associado à maior infiltração observada nestes solos, muito superiores àquela da pastagem.

As concentrações de COD no igarapé (vertedouro) apresentaram diferenças estatisticamente significativa entre o período de transição e o chuvoso ($p < 0,05$) (Figura 6). Porém, estas diferenças não foram tão fortes quanto observadas no escoamento superficial, embora este último constitua em uma importante fonte de água e carbono para o igarapé.

4.3 Concentrações de COD nas vias hidrológicas: floresta *versus* pastagem.

Com base nos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e de Mann-Whitney observa-se que as concentrações de COD na precipitação (entrada para os solos da pastagem) e na precipitação interna (entrada para os solos da floresta), são estatisticamente diferentes ($p < 0,01$), tanto no período de transição, quanto no chuvoso, com a precipitação interna apresentando as maiores concentrações (Figuras 7 e 8). Embora a precipitação interna não seja considerada uma fonte direta de COD para o sistema florestal, esta via contribui para importantes fluxos interno de carbono no sistema. A transformação de áreas de floresta em pastagem implica na perda deste importante fluxo de entrada de carbono nos solos.

No período de transição não existem diferenças nas concentrações de COD no escoamento superficial entre os dois sistemas ($p > 0,05$) (Figura 7), mas no período chuvoso as diferenças foram altamente significativas ($p < 0,01$). Neste período as maiores concentrações de COD foram observadas na pastagem (Figura 8). Observa-se ainda, que apesar da precipitação na pastagem possuir concentrações de COD muito menores que aquelas da precipitação interna na floresta na transição, as concentrações resultantes no escoamento superficial das duas bacias são similares.

Ao contrário do estudo de Cassiolato (2002), no qual as concentrações de COD no escoamento superficial de áreas de floresta foram superiores àqueles de áreas de pastagem (1094,2 e 902,5 μM , respectivamente), na Fazenda Nova Vida (RO), nossos resultados mostram concentrações de COD maiores no escoamento superficial em áreas de pastagens. A diferença entre os dois estudos pode estar relacionada aos distintos tipos de solos, Argissolos no estudo de Cassiolato e Latossolos neste.

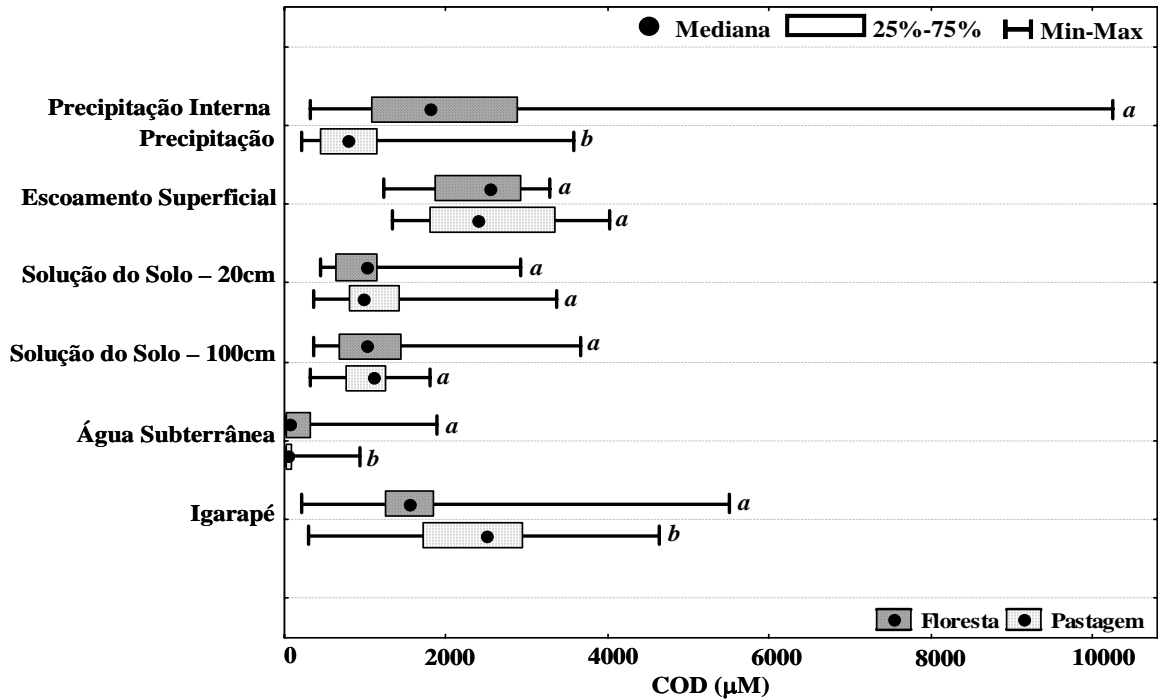


Figura 7. Concentração de COD nas vias hidrológicas da floresta e da pastagem na transição do período seco para o chuvoso. Para a mesma via hidrológica entre floresta e pastagem, letras diferentes significam valores estatisticamente diferentes (a e b , $p < 0,01$ e a e c , $p < 0,05$).

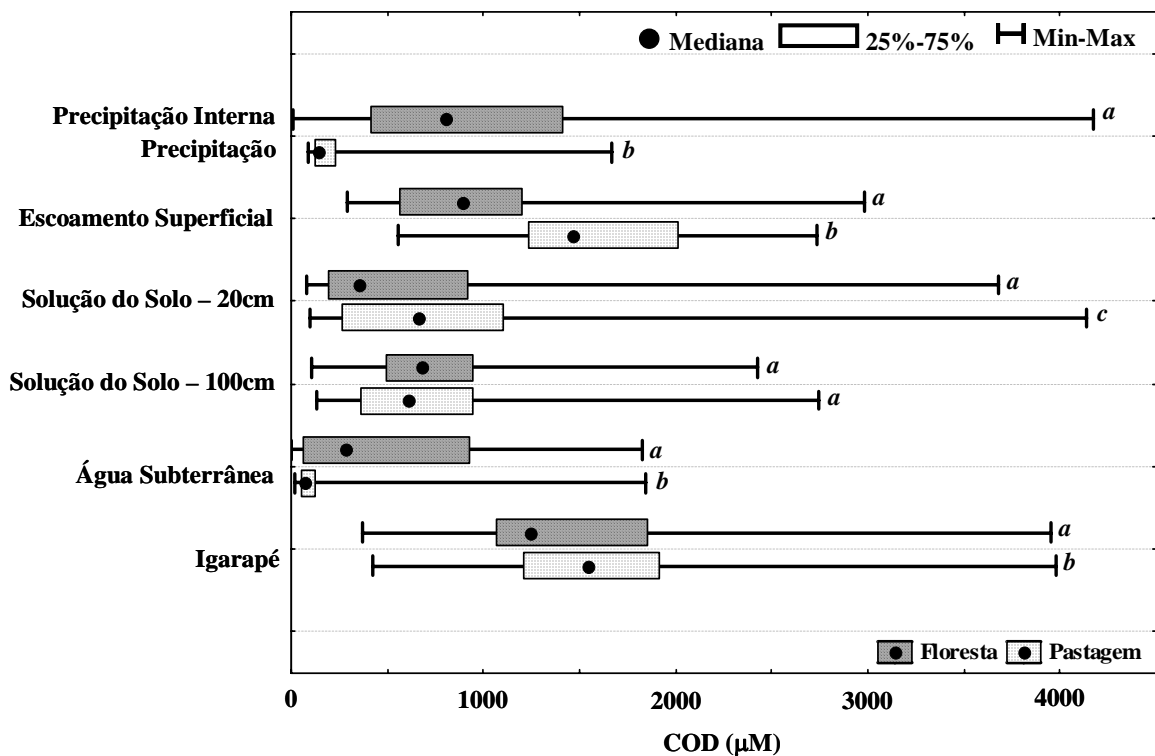


Figura 8. Concentração de COD nas vias hidrológicas da floresta e da pastagem no período chuvoso. Para a mesma via hidrológica entre floresta e pastagem, letras diferentes significam valores estatisticamente diferentes (a e b , $p < 0,01$ e a e c , $p < 0,05$).

De fato, em estudo recente, Johnson et al. (No Prelo) ² mostraram que a formação do escoamento superficial e as concentrações de COD presentes neste, foram diferentes em áreas de florestas com distintos tipos de solos. Portanto, os resultados destes dois estudos em Rondônia, indicam que a dinâmica do COD no escoamento superficial, tanto em áreas preservadas quanto alteradas, está relacionada também aos tipos de solos sobre os quais este ocorre.

As concentrações de COD na solução do solo a 20 cm e 100 cm de profundidade não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre floresta e pastagem no período de transição ($p>0,05$) (Figura 7), mas no período chuvoso as concentrações a 20 cm foram maiores na pastagem ($p<0,05$) (Figura 8). Tal fato pode ser explicado pelas diferenças observadas nas concentrações de COD no escoamento superficial nestas duas bacias (muito superior na pastagem neste período), pois esta é uma das principais vias de alimentação das camadas superficiais do solo.

Resultados semelhantes para maiores concentrações de COD na solução do solo a 20 cm de profundidade em áreas de pastagem foram encontrados por Neu (2005) na Amazônia Central e por Markevitz et al. (2004) em Paragominas, Pará, quando compararam áreas preservadas e perturbadas, e com solos similares. A explicação para este aumento nas concentrações de COD em áreas perturbadas pode estar relacionada com as mudanças na estrutura física do solo (de MORAES et al., 1996; ELSENBEER et al., 1999). Com a compactação que ocorre em pastagens ou em áreas perturbadas, há adensamento dos agregados e partículas do solo. Com menos espaço, as partículas do solo não adsorvem a matéria orgânica em decomposição nas camadas superficiais, liberando-a para a solução do solo.

² JOHNSON, M.S.; LEHMANN J.; COUTO, E.G.; NOVAES FILHO, J.P.; RIHA, S. DOC and DIC in flowpaths of Amazonian headwater catchments with hydrologically contrasting soils. **Biogeochemistry**, Dordrecht, 2006. No Prelo

As concentrações de COD na água subterrânea foram estatisticamente diferentes entre floresta e pastagem, tanto no período de transição, quanto no período chuvoso ($p < 0,01$) (Figuras 7 e 8). Ao contrário dos resultados de Williams et al. (1997), que observaram aumento nestas concentrações após o desmatamento em uma área da Amazônia Central, neste estudo as concentrações de COD na água subterrânea da floresta foram maiores que as da pastagem. Tal discrepância pode estar relacionada com o histórico das perturbações e das coletas das amostras no local. Enquanto no trabalho de Williams et al. (1997) as determinações das concentrações de COD na área perturbada foram feitas pouco tempo após a derrubada da floresta, neste estudo as medidas foram feitas numa área onde a floresta foi retirada há mais de duas décadas (ZIMMERMANN et al., 2006). No primeiro caso, possivelmente o material orgânico em decomposição remanescente da floresta ainda estava sobre o solo, o qual estava sendo carregado para a água subterrânea. Neste estudo, o material orgânico remanescente da floresta sobre o solo já foi quase totalmente lixiviado ao longo dos anos, o que disponibilizaria menos COD para a água subterrânea.

Tanto no período de transição, quanto no período chuvoso, as concentrações de COD nos igarapés da floresta e da pastagem foram estatisticamente diferentes ($p < 0,01$), com as maiores concentrações sendo observadas no segundo (Figuras 7 e 8), e apresentando grande similaridade com o observado no escoamento superficial apenas no período chuvoso.

Em resumo, no período de transição, os resultados mostram que, ao converter-se a floresta em pastagem, alterações significativas nas concentrações de COD são observadas apenas nas entradas (precipitação, precipitação interna) e nas saídas (igarapés, água subterrânea) das bacias, ao passo que para as outras vias hidrológicas não se observam diferenças entre os dois sistemas (Figura 7). Por outro lado, durante o período chuvoso, alterações significativas nas concentrações de COD são observadas também em outras vias hidrológicas (escoamento superficial, água subterrânea e solução de solo) e não apenas nas

entradas e saídas (Figura 8). Portanto, alterações na biogeoquímica do COD em vias hidrológicas de bacias em função de mudanças na cobertura vegetal de floresta para pastagem, tornam-se mais evidentes durante o período chuvoso.

4.5 Balanços e fluxos de COD na floresta e pastagem

4.5.1 Balanços por eventos

Para se fazer um balanço de massa de um elemento ou composto em uma bacia de drenagem, deve ser quantificado todas as possíveis entradas e saídas do sistema. Para o COD em particular, a entrada é constituída pela precipitação, e as saídas pela descarga nos rios/igarapés, pela infiltração nas águas subterrâneas e absorção das plantas e respiração destas e dos solos. Neste estudo, como em diversos outros da literatura (BRUIJNZEEL, 1991; LESACK et al., 1996; WILLIAMS et al., 2001), os balanços, são baseados apenas nas entradas de COD via precipitação e nas saídas pelo igarapé (vertedouro), sendo as demais vias consideradas incertezas. Portanto, os balanços aqui apresentados são baseados no transporte de COD através das vias hidrológicas rápidas do sistema (precipitação e igarapé).

Na floresta, à exceção de um evento durante o período chuvoso (23/02/05), os balanços foram sempre positivos, isto é, com entradas de COD superiores às saídas (Figura 9). A pastagem apresentou um quadro distinto, com balanços positivos nos eventos coletados no período de transição e diversos eventos negativos no período chuvoso (Figura 10).

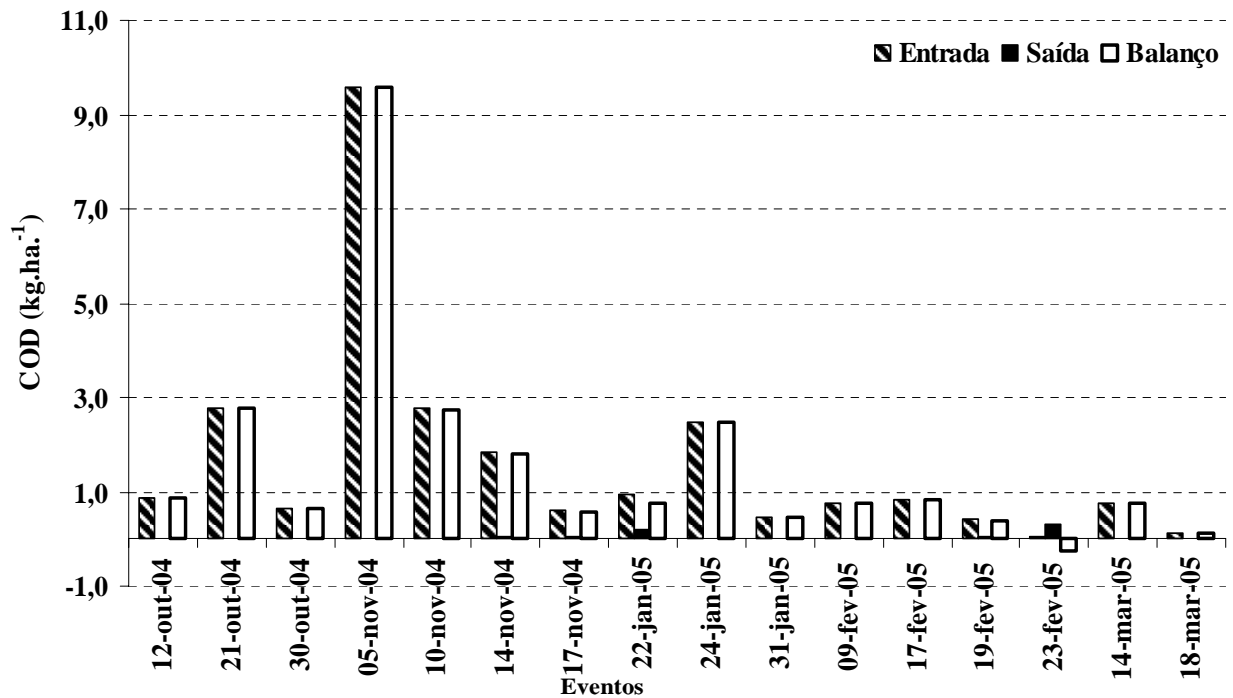


Figura 9. Comparações entre as entradas, saídas e balanços de COD para eventos de precipitação na bacia de drenagem da floresta.

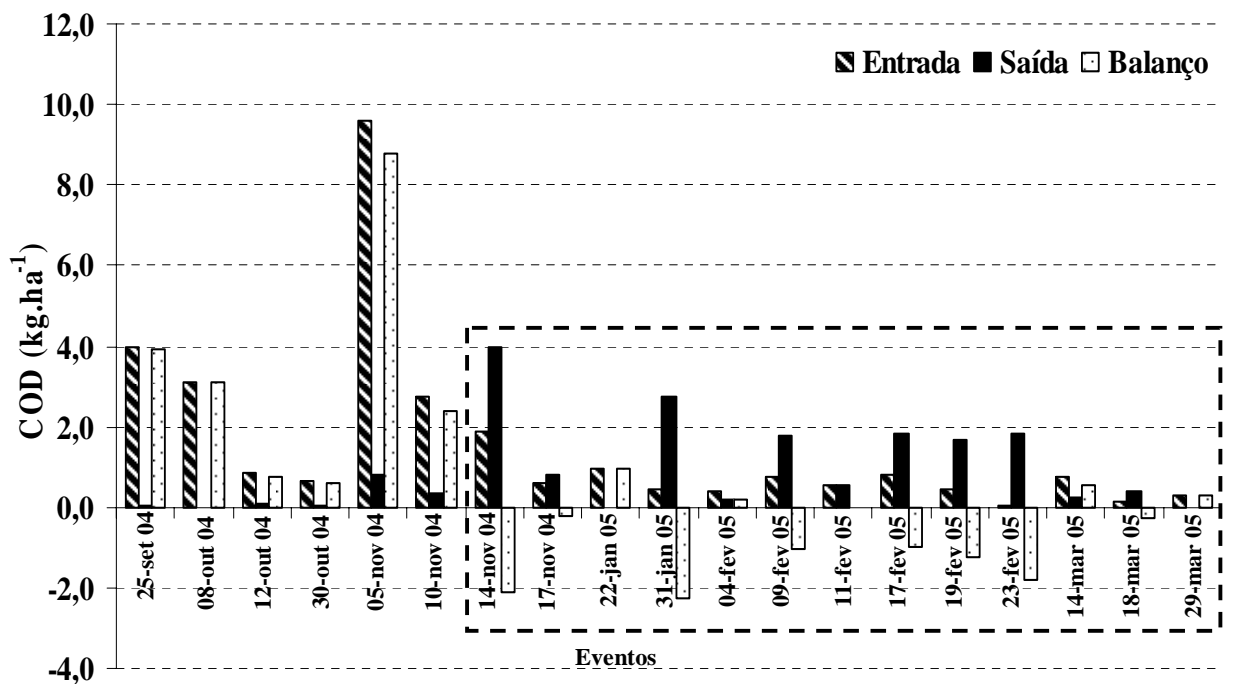


Figura 10. Comparações entre as entradas, saídas e balanços de COD para eventos de precipitação na bacia de drenagem da pastagem.

Tais balanços negativos na pastagem têm grande relevância, pois, apesar de ambas as bacias receberem o mesmo aporte de COD via precipitação, na floresta esta fonte potencial de escoamento pelo igarapé é enriquecida significativamente ao passar pelo dossel das árvores, para constituir a precipitação interna. Portanto, se o sistema fosse conservativo, seriam esperados fluxos maiores de COD no igarapé da floresta. Porém, o que se observa é que, mesmo com aportes menores de COD, o igarapé da pastagem, em medidas simultâneas de eventos de precipitação das duas bacias, é o que apresenta os maiores fluxos, como pode ser visto na Figura 11.

Nesta mesma área de estudo, Castellanos (2005) observou uma exportação maior de nitrogênio na pastagem, atribuindo-a ao aumento do transporte pela descarga. De fato, neste estudo observamos que, do total de água que adentra estas bacias, em termos anuais, 18% saem pela descarga no igarapé da pastagem e apenas 2% no igarapé da floresta. Portanto, da mesma forma que para o nitrogênio, as maiores exportações de COD observadas na pastagem estão relacionados a maiores fluxos de água no igarapé (vertedouro).

Os balanços positivos observados na pastagem para alguns eventos no período de transição podem ser devidos a uma maior deposição de COD neste período, conforme observado na Figura 10, ou alternativamente, a menores fluxos de água no igarapé (Anexo A). Como os solos estão secos neste período, uma parte significativa da água que entra via precipitação fica retida no solo, evapora ou é transferido para o compartimento subterrâneo (Figura 3).

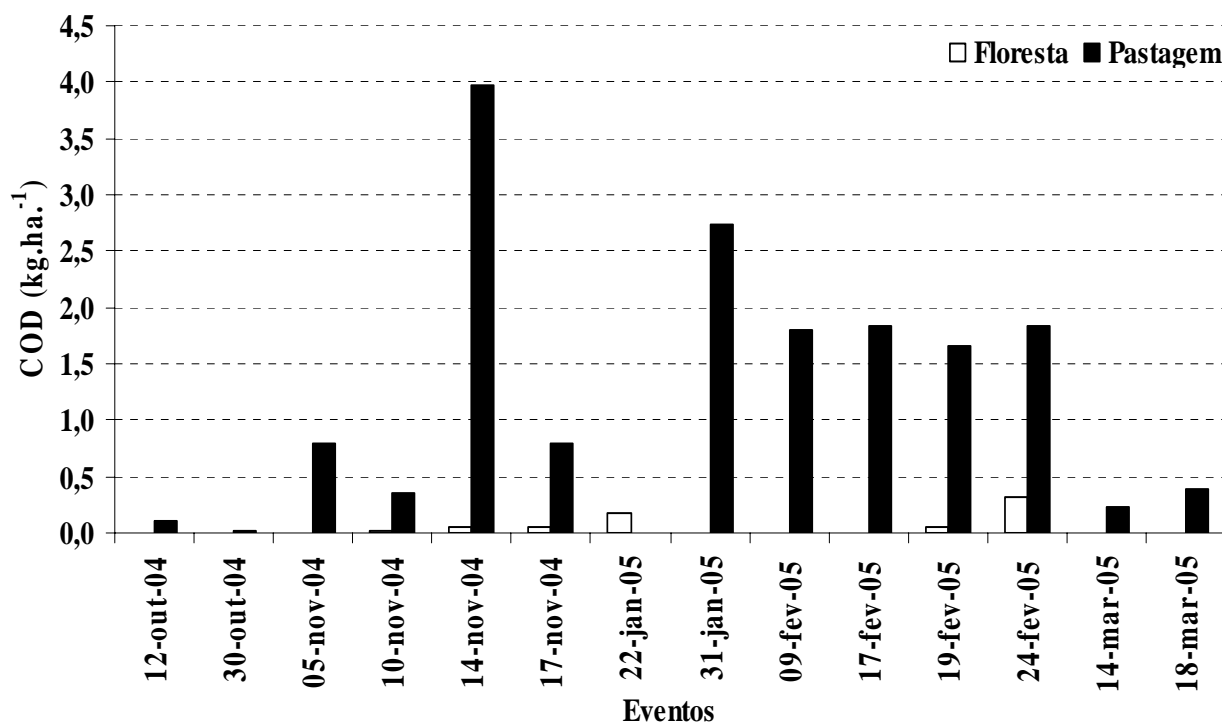


Figura 11. Comparação entre as exportações de COD na floresta e na pastagem para eventos simultâneos.

4.5.2 Balanços Anuais

A concentração média anual de COD (média ponderada pelo volume - MPV) na precipitação (Tabela 8) foi superior aos valores registrados para a Amazônia Central (WILLIAMS et al., 1997; FILOSO et al., 1999) e inferior ao valor registrado por Markevitz et al. (2005) em Paragominas no Pará. A concentração média no período chuvoso foi também superior aos estudos da Amazônia Central (ANDREAE et al., 1990; WILLIAMS et al., 1997; FILOSO et al., 1999).

Tabela 8 - Média ponderada pelo volume (MPV) das concentrações e deposições de COD na precipitação para os períodos estudados.

Período	Concentração (μM)	Precipitação Total (mm)	Deposição ($\text{kg}\cdot\text{ha}\cdot^{-1}$)
Anual	591,81	2286	162,34
Transição-Seco-Chuvoso	838,34	693,2	69,74
Chuvoso	280,72	1592,8	53,65

Assim como as concentrações, as deposições anuais de COD pela precipitação foram superiores aos outros estudos realizados na Amazônia (ANDREAE et al., 1990; WILLIAMS et al., 1997; FILOSO et al., 1999; TÓBON et al., 2004; MARKEWITZ et al., 2004).

As diferenças entre estes estudos podem ser explicadas em função da queima da biomassa na região do estado de Rondônia no período seco (Figura 12), que libera para a atmosfera grandes quantidades de carbono, na forma de gases e partículas (SCHIMEL, 1995; ARTAXO et al., 2005). Parte deste carbono retorna às bacias de drenagem dissolvido nas chuvas e, portanto, observam-se concentrações mais elevadas do mesmo no período de transição.

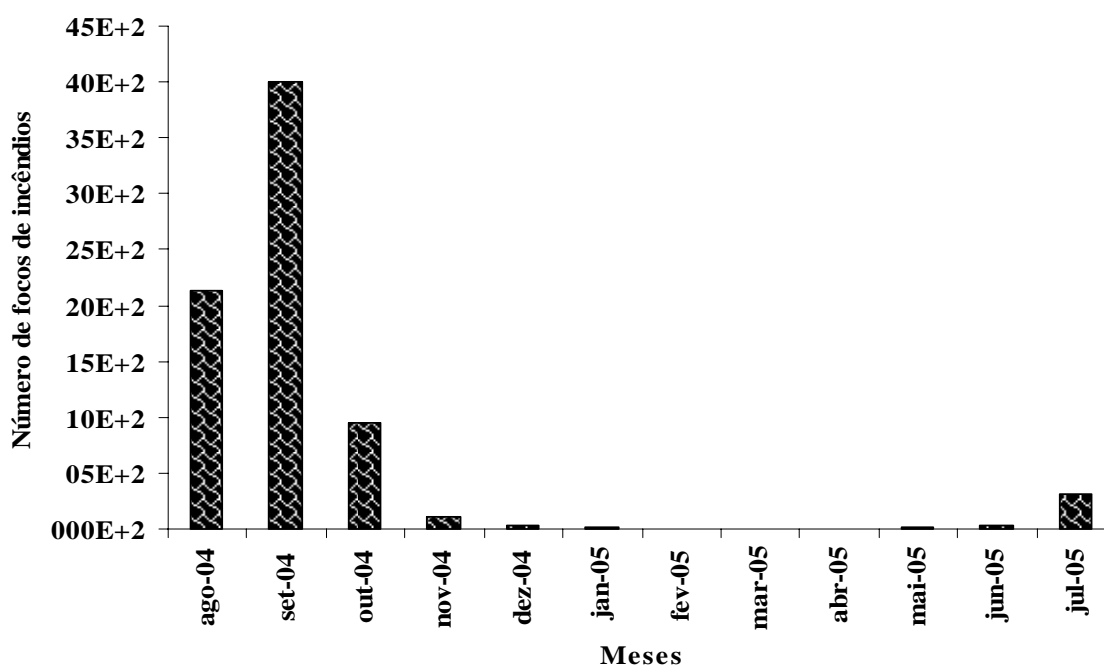


Figura 12. Número de focos de incêndios no estado de Rondônia entre Agosto de 2004 e Julho de 2005. Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPA, 2006.

Resultados similares são obtidos quando se calculam as concentrações médias (MPV) das deposições anuais, e por períodos, do COD na precipitação interna (Tabela 9), pois neste estudo os valores também são superiores aqueles descritos para outras regiões da Amazônia (CORNU et al., 1997; FILOSO et al., 1999; TOBÓN et al., 2004; MARKEWITZ et al., 2004; JOHNSON et al., 2006).

Tabela 9 - Média ponderada pelo volume (MPV) das concentrações e deposições de COD na precipitação interna para os períodos estudados.

Período	Concentração (μM)	Precipitação Interna Total (mm)	Deposição (kg.ha.⁻¹)
Anual	1351,20	2052,8	332,85
Transição-Seco-Chuvoso	1596,49	622,5	119,26
Chuvoso	1138,25	1430,3	195,37

Observa-se que, em bases anuais, repetem-se os padrões observados nos balanços calculados por eventos de chuva, com uma deposição maior de COD nos solos da floresta, via precipitação interna, do que naqueles da pastagem, via precipitação. Isto é resultado do lixiviamento das copas das árvores, tendo em vista que 89% da precipitação que chega à floresta são interceptadas pelas mesmas (GERMER et al., 2006).

As Tabelas 10 e 11 apresentam as estimativas de exportações de COD nas bacias da floresta e da pastagem. A maior exportação anual de COD na pastagem, quando comparada à floresta, resulta de maiores fluxos de água e concentrações médias anuais mais elevadas de COD, repetindo-se o que fora constatado nos eventos individuais de precipitação.

Os valores das exportações anuais de COD observados na floresta foram inferiores aos registrados em outras bacias da Amazônia (RICHEY et al., 1990; McCLAIN et al., 1997; JOHNSON et al., 2006; WATERLOO et al., (No Prelo)). Tais variações nas exportações anuais de COD podem estar relacionadas, entre outros, a diferentes tipos de solos, conforme observado por McCLAIN et al. (1997), na Amazônia central, ou a regimes pluviométricos distintos entre os anos de amostragem, como também em algumas bacias de ecossistemas

temperados (TATE; MEYER, 1983). Entretanto, deve-se ressaltar que este estudo foi realizado em bacias de primeira ordem, nas quais somente 2% do aporte de água ao sistema saem na forma de descarga no igarapé da floresta e 18% no igarapé da pastagem. Portanto, é possível que em bacias de ordens superiores, ocorram saídas maiores por esta via, na medida em que ocorra o afloramento das águas subsuperficiais e subterrâneas.

Tabela 10 - Médias ponderadas pelos volumes (MPV) das concentrações e exportações de COD e fluxos de água na bacia da pastagem.

Período	Concentração (μM)	Escoamento (mm)	Exportações ($\text{kg}\cdot\text{ha}\cdot^{-1}$)
Anual	1491,18	405,8	72,61
Transição-Seco-Chuvoso	1798,68	49,92	10,77
Chuvoso	1384,68	355,33	59,04

Tabela 11 - Médias ponderadas pelos volumes (MPV) das concentrações e exportações de COD e fluxos de água na bacia da floresta.

Período	Concentração (μM)	Escoamento (mm)	Exportações ($\text{kg}\cdot\text{ha}\cdot^{-1}$)
Anual	1311,62	27,68	4,36
Transição-Seco-Chuvoso	1227,86	1,67	0,25
Chuvoso	1335,63	26,00	4,17

Em termos anuais, a retenção líquida de COD na floresta é maior do que aquela observada na pastagem (Tabela 12). Considerando-se que as diferenças nas concentrações nestas águas não são significativas (Tabelas 10 e 11), pode-se atribuir o aumento das perdas líquidas de COD na pastagem ao aumento relativo da descarga na mesma.

Este balanço líquido anual na floresta representa em torno de 3% das 5 t C $\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ estimadas como sendo a taxa de fixação CO_2 , obtida a partir da técnica de covariância de vórtices turbulentos na floresta da Reserva Biológica do Jaru, distante 100 km do local deste estudo (AGUIAR, 2005). Embora este valor seja pequeno, perdas através da água subterrânea (nas formas de carbono orgânico ou inorgânico dissolvidos), ou por outras formas de carbono

Tabela 12 - Balanços na floresta e pastagem.

Período	Floresta			Pastagem		
	Entrada	Saída	Balanco	Entrada	Saída	Balanco
Anual	162,34	4,36	157,98	162,34	72,61	89,73
Transição-Seco-Chuvoso	69,74	0,25	69,49	69,74	10,77	58,97
Chuvoso	53,65	4,17	49,48	53,65	59,04	-5,39

não quantificadas no igarapé (carbono inorgânico dissolvido e orgânico particulado) podem ser responsáveis por exportações mais significativas de carbono nestes ecossistemas, conforme salientado por Richey et al. (2002) . Entretanto, é preciso salientar também que as estimativas de uma absorção líquida de $5 \text{ t C ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ pelas florestas ainda apresentam grandes incertezas, inerentes à técnica utilizada para sua quantificação (OMETTO et al., 2005).

Apesar destas incertezas, e daquelas inerentes ao fato deste estudo não ter quantificado todas as vias do ciclo do carbono (como respiração das plantas e dos solos), a alteração do balanço de água nestes sistemas, causada pela transformação de florestas em pastagens, modificou drasticamente a ciclagem da forma orgânica dissolvida do mesmo, resultado em um aumento da sua exportação. Porém, apesar deste estudo contribuir para a compreensão da ciclagem desta forma de carbono em florestas e pastagens da Amazônia, mais estudos ainda fazem-se necessários para que se atinja um conhecimento mais abrangente sobre o ciclo deste elemento na região.

5 CONCLUSÕES

Embora este estudo seja apenas parcial em termos de ciclagem de carbono e água em bacias de florestas e pastagens, foi possível observar diferenças significativas nos balanços e nas concentrações de COD nas vias hidrológicas e nos fluxos de água dos dois sistemas, sendo que:

- ✓ Como consequência da compactação nos solos da pastagem, e redução da capacidade de infiltração, observou-se maiores fluxos de água no igarapé desta área do que naquele da floresta;
- ✓ Devido a maiores taxas de infiltração e fontes mais enriquecidas de carbono (pela precipitação interna), as concentrações de COD na água subterrânea na floresta foram maiores do que na pastagem, tanto na transição do período seco para o chuvoso quanto no período chuvoso;
- ✓ As concentrações de COD em diversas vias hidrológicas da floresta e da pastagem foram maiores na transição do período seco para o chuvoso em relação ao período chuvoso, como consequência de entradas mais ricas em carbono no sistema, provenientes do particulado atmosférico, especialmente queimadas;
- ✓ A conversão de florestas em pastagens resulta em um aumento significativo das exportações líquidas de carbono orgânico dissolvido, via igarapés, em bacias de drenagem de primeira ordem nesta região de Rondônia.

Portanto, a conversão de floresta para pastagem, através da ação humana, resulta em mudanças drásticas nas concentrações e fluxos de carbono, na forma dissolvida orgânica nestas bacias do Estado de Rondônia.

ANEXOS

Anexo A. Fluxos de água, concentrações, deposições e exportações de COD nos eventos.

Evento	Data	COD (uM)		Precipitação Total (mm)		Deposição (kg.ha ⁻¹)		COD (uM)		Escoamento Superficial (mm)		Exportação (kg.ha ⁻¹)	
		PR	PI	PR	PI**	P	PI	F	P	F	P	F	P
2.002	22-ago-04	945,00	3784,60	28,95	10	3,28	4,54	*	*	*	*	*	*
2.003	24-ago-04	1177,50	2901,79	12,44	*	1,76		*	*	*	*	*	*
2.004	26-ago-04	558,17	885,18	110,23	2,12	7,38	0,23	*	*	*	*	*	*
2.006	29-ago-04	802,50	1420,30	19,81	3,44	1,91	0,59	*	*	*	*	*	*
2.008	30-ago-04	554,67	1483,60	4,82	0,07	0,32	0,01	*	*	*	*	*	*
2.010	01-set-04	1225,83	2816,69	6,09	3,67	0,90	1,24	*	*	*	*	*	*
2.011	16-set-04	3573,33	5672,58	21,33	14,91	9,15	10,15	*	*	*	*	*	*
2.012	25-set-04	1217,50	2657,46	27,17	22,76	3,97	7,26	*	2325,84	*	0,13	*	0,03542
2.015	29-set-04	856,67	3361,00	7,87	2,46	0,81	0,99	*	*	*	*	*	*
2.017	07-out-04	1012,50	1792,67	25,65	18,97	3,12	4,08	*	2568,57	*	0,02	*	0,00572
2.019	12-out-04	231,83	1014,09	31,24	27,28	0,87	3,32	914,27	2566,09	0,00459	0,34	0,00061	0,10688
2.023	21-out-04	692,08	1654,86	33,27	24,48	2,76	4,86	1335,45	*	0,00126	*	0,00024	*
2.025	25-out-04	1101,67	2011,61	10,41	8,89	1,38	2,15	*	*	*	*	*	*
2.026	28-out-04	764,33	2888,47	4,31	2,72	0,40	0,94	*	*	*	*	*	*
2.027	30-out-04	265,33	1647,78	19,81	17,3	0,63	3,42	1976,47	2994,07	0,00045	0,05	0,00013	0,01912
2.031	04-nov-04	1755,00	1663,32	45,46	43,45	9,57	8,67	1424,65	2615,04	0,00957	2,51	0,0020	0,79433
2.035	10-nov-04	743,33	1299,34	30,98	36,07	2,76	5,62	2296,03	2882,26	0,04034	1,06	0,0135	0,35944
2.036	12-nov-04	331,00	3018,70	6,35	4,59	0,25	1,66	*	*	*	*	*	*
2.038	14-nov-04	242,42	1015,06	63,75	70,46	1,85	8,58	1748,79	2216,37	0,28452	15,15	0,0726	3,9706
2.039	17-nov-04	214,75	628,54	23,62	29,81	0,61	2,25	1705,55	1415,68	0,23870	3,95	0,0594	0,8013
2.041	20-nov-04	*	640,40	30,98	39,61	*	3,04	396,05	733,44	0,36817	7,90	0,0213	0,8251
2.042	23-nov-04	*	*	10,41	7,41	*	*	*	*	*	*	*	*
2.082	14-jan-05	*	*	17,52	15,9	*	*	*	*	0,00078	*	*	*
2.088	22-jan-05	99,83	745,53	78,23	75,02	0,94	6,71	1144,89	*	1,31414	*	0,2195	*
2.089	24-jan-05	899,17	1937,11	23,11	18,83	2,49	4,38	2189,94	1779,49	0,08307	0,003	0,0265	0,00074
2.092	27-jan-05	1665,00	1829,14	24,88	24,75	4,97	5,43	*	*	*	*	*	*
2.093	28-jan-05	210,08	557,84	6,09	6,37	0,15	0,43	*	*	*	*	*	*
2.098	31-jan-05	127,08	1970,11	29,46	20,14	0,45	4,76	1171,17	2319,17	0,03819	9,71	0,0065	2,7286
2.101	04-fev-05	222,50	840,74	15,24	4,75	0,41	0,48	*	1957,20	*	0,94	*	0,2155
2.102	05-fev-05	203,33	1850,07	8,89	5,44	0,22	1,21	*	*	*	*	*	*
2.105	09-fev-05	144,75	736,24	43,43	13,77	0,75	1,22	1243,62	1414,66	0,04729	10,77	0,0086	1,7988
2.107	12-fev-05	119,83	1158,25	37,84	24,34	0,54	3,38	*	1271,83	*	3,76	*	0,5727
2.110	17-fev-05	227,17	711,96	30,22	27,24	0,82	2,33	1558,87	2228,34	0,00078	7,54	0,00018	1,8265
2.114	19-fev-05	116,42	4635,33	30,48	24,07	0,43	13,39	2282,47	925,21	0,20709	15,23	0,0690	1,6549
2.117	23-fev-05	108,75	1167,54	3,04	50,5	0,04	7,08	1704,93	1409,95	1,51219	11,29	0,3762	1,8325
2.122	27-fev-05	121,92	450,70	31,75	18,52	0,46	1,00	*	*	0,05448	*	*	*
2.125	02-mar-05	276,92	602,88	11,68	13,86	0,39	1,00	*	*	*	*	*	*
2.127	06-mar-05	*	406,46	57,66	61,56	*	3,00	*	1018,21	*	27,06	*	3,3075
2.135	14-mar-05	309,67	721,57	20,57	20,37	0,76	1,76	1204,76	1907,93	0,00691	1,11	0,00121	0,2306
2.139	17-mar-05	91,00	1031,67	10,66	6,82	0,12	0,84	914,15	1484,90	0,04033	2,16	0,00538	0,3844
2.150	28-mar-05	141,92	737,00	17,27	30,21	0,29	2,67	*	2000,15	*	0,02	*	0,0036
2.152	03-abr-05	*	952,37	14,47	3,48	*	0,40	*	2011,48	*	0,24	*	0,0581

PR=Precipitação; PI=Precipitação Interna; F=Floresta; P=Pastagem; * = Não calculado e/ou não estimado; ** = Germer et al., (2006).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, R.G. **Fluxo de massa e energia em uma floresta tropical no Sudoeste da Amazônia**. 2005. 78 f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2005.

AITKENHEAD, J.A.; McDOWELL, W.H. Soil C: N ratio as a predictor of annual riverine DOC flux at local and global scales. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v.14, n.1, p.127-138, 2000.

AITKENHEAD, J.A.; McDOWELL, W.H.; NEFF, J.C. Sources, production, and regulation of allochthonous dissolved organic matter inputs to surface waters. In: FINDLAY, S.E.G.; SINSABAUGH, R.L. (Ed.) **Aquatic ecosystems**. New York: Academic Press, 2003. p.26-59.

ANDREAE, M.O.; TALBOT, R.W.; BERRESHEIM, H.; BEECHER, K.M. Precipitation chemistry in central Amazonia. **Journal of Geophysical Research - Atmospheres**, Washington, v.95, n.D10, p.16987-16999, 1990.

ARTAXO, P. Química atmosférica na Amazônia: A floresta e as emissões de queimadas controlando a composição da atmosfera amazônica. **Acta Amazônica**, Manaus, v.35, n.2, p.185-196, 2005.

ARTAXO, P.; MARTINS, J.V.; YAMASOE, M.A.; PROCÓPIO, A.S.; PAULIQUEVIS, T.M.; ANDREAE, M.O.; GUYON, P.; GATTI, L.V.; CORDOVA, A.M.. Physical and chemical properties of aerosols in the wet and dry season in Rondônia, Amazonia. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v.107, n.D20, p.8081–8095, 2002.

BOGS, M.G. **Discharge measurement structures**: delft hydraulics laboratory. Wageningen: International Institute for Land Reclamation and Improvement, 1978. 400p.

BORMANN, F.H.; LIKENS, G.E. Nutrient cycling. **Science**, Washington, v.155, n.3761, p.424, 1967.

BONNEL, M. Selective challenges in runoff generation research in forest from the hillslope to headwater drainage basin scale. **Journal of the American Water Resources Association**, Herndon, v.34, n.4, p.765-785, 1998.

BRUIJNZEEL, L.A. Nutrient input output budgets of tropical forest ecosystems - a review. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v.7, p.1-24, 1991.

CASSIOLATO, M.E. **Carbono orgânico dissolvido na solução do solo sob floresta e pastagem em Rondônia**. 2002. 70 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) -

Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

CASTELLANOS BONILLA, A.L. **Balço de nitrogênio em bacias pareadas (Floresta x Pastagem) no Estado de Rondônia.** 2005. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

COGO, M.C. **O papel dos sedimentos em suspensão no metabolismo de rios de micro e meso-escala no estado de Rondônia.** 2005. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

CORNU, S.; AMBROSI, J.P.; LUCAS, Y.; FEVRIER, D. A comparative study of the soil solution chemistry of two Amazonian forest soils (Central Amazonia, Brazil). **Hydrology and Earth System Sciences**, Katlenburg-Lindau, v.1, n.2, p.313 -324, 1997.

DAHM, C.N. Pathways and mechanisms for removal of dissolved organic-carbon from leaf leachate in streams. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, Ottawa, v.38, n.1, p.68-76, 1981.

DE MORAES, J.F.L.; VOLKOFF, B.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M. Soil properties under Amazon forest and changes due to pasture installation in Rondonia, Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v.70, n.1, p.63-81, 1996.

DE SOUZA, S.R.; DE CARVALHO, L.R.F. Origin and implication of carboxylic acids in the atmosphere. **Química Nova**, São Paulo, v.24, n.1, p.60-67, 2001.

DRISCOLL, C.T.; FULLER, R.D.; SIMONE, D.M. Longitudinal variations in trace-metal concentrations in a northern forested ecosystem. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.17, n.1, p.101-107, 1988.

ELSENBEER, H.; VERTESSY, R.A. Stormflow generation and flowpath characteristics in an Amazonian rainforest catchment. **Hydrological Processes**, Chichester, v.14, n.14, p.2367-2381, 2000.

ELSENBEER, H. NEWTON, B.E.; DUNNE, T.; DE MORAES, J.M. Soil Hydraulic conductivities of latosols under pasture, forest and teak in Rondonia, Brazil. **Hydrological Processes**, Chichester, v. 13, p. 1417-1422, 1999.

EMBRAPA EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília: SPI, 1999.370p

FALKOVITCH, A.H.; GRABER, E.R.; SCHKOLNIK, G.; RUDICH, Y.; MAENHAUT, W.; ARTAXO, P. Low molecular weight organic acids in aerosol particles from Rondônia, Brazil, during the biomass-burning, transition and wet periods. **Atmospheric Chemistry and Physics Discussions (ACP)**, Katlenburg-Lindau, v.4, p.6867-6907, 2004.

FILOSO, S.; WILLIAMS, M.R.; MELACK, J.M. Composition and deposition of throughfall in a flooded forest archipelago (Negro River, Brazil). **Biogeochemistry**, Dordrecht, v.45, n.2, p.169-195, 1999.

FISHER, S.G.; LIKENS, G.E. Energy flow in Bear Brook, New Hampshire - Integrative approach to stream ecosystem metabolism. **Ecological Monographs**, Durham, v.43, n.4, p.421-439, 1973.

GERMER, S.; ELSENBEEER, H.; MORAES, J.M. Throughfall and temporal trends of rainfall redistribution in an open tropical rainforest, south-western Amazonia (Rondônia, Brazil). **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, Katlenburg-Lindau, v.2, p.2707-2738, 2006.

GODSEY, S.; ELSENBEEER, H.; STALLARD, R. Overland flow generation in two lithologically distinct rainforest catchments. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.295, n.1-4, p.276-290, 2004.

HINTON, M.J.; SCHIFF, S.L.; ENGLISH, M.C. Sources and flowpaths of dissolved organic carbon during storms in two forested watersheds of the Precambrian Shield. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v.41, n.2, p.175-197, 1998.

HOBBIE, J.E.; LIKENS, G.E. Output of phosphorus, dissolved organic carbon, and fine particulate carbon from Hubbard Brook watersheds. **Limnology and Oceanography**, Grafton, v.18, n.5, p.734-742, 1973.

HOPE, D.; BILLET, M.F.; CRESSER, M.S. A review of the export of carbon in river water - fluxes and processes. **Environmental Pollution**, London, v.84, n.3, p.301-324, 1994.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Monitoramento da floresta**. São José dos Campos, 2003.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Monitoramento de queimadas**. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/queimadas/>. Acesso em: 02 de maio de 2006.

JOHNSON, M.S.; LEHMANN J.; CARLOS SELVA, E.; ABDO, M.; RIHA, S.; COUTO, E.G. Organic carbon fluxes within and streamwater exports from headwater catchments in the southern Amazon. **Hydrological Processes**, Chichester, 2006. Disponível em: http://www.sfu.ca/~markj/Johnson_et_al,HydroProc,Amazon-headwaterDOC,pre-proof.pdf. DOI 10.1002/hyp.6218.

KAISER, K.; KAUPENJOHANN, M.; ZECH, W. Sorption of dissolved organic carbon in soils: effects of soil sample storage, soil-to-solution ratio, and temperature. **Geoderma**, Amsterdam, v.99, n.3-4, p.317-328, 2001.

KAISER, K.; ZECH, W. Rates of dissolved organic matter release and sorption in forest soils. **Soil Science**, New Brunswick, v.163, n.9, p.714-725, 1998.

KAPLAN, L.A. A field and laboratory procedure to collect, process, and preserve fresh-water samples for dissolved organic-carbon analysis. **Limnology and Oceanography**, Grafton, v.39, n.6, p.1470-1476, 1994.

KAPLAN, L.A.; NEWBOLD J.D. Biogeochemistry of dissolved organic carbon entering streams. In: FORD, T.E. (Ed.) **Aquatic microbiology: an ecological approach**. Boston: Blackwell Scientific Publications, 1993.p.139-165.

LESACK, L.F.W.; MELACK, J.M. Mass balance of major solutes in a rainforest catchment in the Central Amazon: Implications for nutrient budgets in tropical rainforests. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v.32, n.2, p.115-142, 1996.

LIKENS, G.E.; EDGERTON, E.S.; GALLOWAY, J.N. The composition and deposition of organic-carbon in precipitation. **Tellus. Series B - Chemical and Physical Meteorology**, Campo Grande, v.35, n.1, p.16-24, 1983.

NEILL, C.; MELILLO, J.M.; STEUDLER, P.A.; CERRI, C.C.; DEMORAES, J.F.L.; PICCOLO, M.C.; BRITO, M. Soil carbon and nitrogen stocks following forest clearing for pasture in the southwestern Brazilian Amazon. **Ecological Applications**, Washington, v.7, n.4, p.1216-1225, 1997.

MARKEWITZ, D.; DAVIDSON, E.; MOUTINHO, P.; NEPSTAD, D. Nutrient loss and redistribution after forest clearing on a highly weathered soil in Amazonia. **Ecological Applications**, Washington, v.14, n.4, p.S177-S199, 2004.

McCLAIN, M.E.; RICHEY, J.E.; BRANDES, J.A.; PIMENTEL, T.P. Dissolved organic matter and terrestrial-lotic linkages in the central Amazon basin of Brazil. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v.11, n.3, p.295-311, 1997.

McDOWELL, W.H.; LIKENS, G.E. Origin, composition, and flux of dissolved organic-carbon in the Hubbard Brook Valley. **Ecological Monographs**, Durham, v.58, n.3, p.177-195, 1988.

MEYER, J.L.; TATE, C.M. The effects of watershed disturbance on dissolved organic-carbon dynamics of a stream. **Ecology**, Brooklyn, v.64, n.1, p.33-44, 1983.

MEYER, J.L.; MCDOWELL, W.H.; BOTT, T.L.; ELWOOD, J.W.; ISHIZAKI, C.; MELACK, J.M.; PECKARSKY, B.L.; PETERSON, B.J.; RUBLEE, P.A. Elemental dynamics in streams. **Journal of the North American Benthological Society**, Washington, v.7, n.4, p.410-432, 1988.

MOREIRA-TURCQ, P.; SEYLER, P.; GUYOT, J.L.; ETCHEBER, H. Exportation of organic carbon from the Amazon River and its main tributaries. **Hydrological Processes**, Chichester, v.17, n.7, p.1329-1344, 2003.

MOORE, T.R. Dynamics of dissolved organic-carbon in forested and disturbed catchments, westland, New-Zealand .1. Maimai. **Water Resources Research**, Washington, v.25, n.6, p.1321-1330, 1989.

MOORE, T.R. Dissolved organic carbon: sources, sinks, and fluxes and role in the soil carbon cycle. In: LAU, R.; KIMBLE, J.M.; FOLLET, R.F.; STEWART, B.A. (Ed.) **Soil processes and the carbon cycle**. Boca Raton: CRC Press, 1997. p.281-292.

MULHOLLAND, P.J.; WILSON, G.V.; JARDINE, P.M. Hydrogeochemical response of a forested watershed to storms - Effects of preferential flow along shallow and deep pathways. **Water Resources Research**, Washington, v.26, n.12, p.3021-3036, 1990.

NEU, V. **Influência da cobertura vegetal na ciclagem de nutrientes via solução do solo na região de Manuas-AM**. 2005. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

OMETTO, J.P.H.B.; NOBRE, A.D.; ROCHA, H.R.; ARTAXO, P.; MARTINELLI, L.A. Amazonia and the modern carbon cycle: lessons learned. **Oecologia**, Berlin/Heidelberg, v.143, n.4, p.483-500, 2005

PERDUE, E.M.; BECK, K.C.; REUTER, J.H. Organic complexes of iron and aluminum in natural-waters. **Nature**, London, v.260, n.5550, p.418-420, 1976.

QUALLS, R.G.; HAINES, B.L. Biodegradability of dissolved organic-matter in forest throughfall, soil solution, and stream water. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.56, n.2, p.578-586, 1992.

QUALLS, R.G. Comparison of the behavior of soluble organic and inorganic nutrients in forest soils. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.138, n.1-3, p.29-50, 2000.

RICHEY, J.E.; HEDGES, J.I.; DEVOL, A.H.; QUAY, P.D.; VICTORIA, R.; MARTINELLI, L.; FORSBERG, B.R. Biogeochemistry of carbon in the Amazon River. **Limnology and Oceanography**, Grafton, v.35, n.2, p.352-371, 1990.

RICHEY, J.E.; MELACK, J.M.; AUFDENKAMPE, A.K.; BALLESTER, V.M.; HESS, L.L. Outgassing from Amazonian rivers and wetlands as a large tropical source of atmospheric CO₂. **Nature**, London, v.416, n.6881, p.617-620, 2002.

SANHUEZA, E.; ANDREAE, M.O. Emission of formic and acetic-acids from tropical savanna soils. **Geophysical Research Letters**, Washington, v.18, n.9, p.1707-1710, 1991.

SCHIMMEL, D.S. Terrestrial ecosystems and the carbon-cycle. **Global Change Biology**, Oxford, v.1, n.1, p.77-91, 1995.

SCHINDLER, D.W.; BAYLEY, S.E.; CURTIS, P.J.; PARKER, B.R.; STANTON, M.P.; KELLY, C.A. Natural and man-caused factors affecting the abundance and cycling of dissolved organic-substances in precambrian shield lakes. **Hydrobiologia**, Dordrecht, v.229, p.1-21, 1992.

STRAHLER, A. **Introduction to physical geography**. 2. ed. New York: J. Wiley and Sons, 1970. 486 p.

TATE, C.M.; MEYER, J.L. The influence of hydrologic conditions and successional state on dissolved organic-carbon export from forested watersheds. **Ecology**, Brooklyn, v.64, n.1, p.25-32, 1983.

THURMAN, E.M. **Organic geochemistry of natural waters**. Dordrecht: Martinus Nijhoff, 1985. v.2, 497p.

TOBON, C.; SEVINK, J.; VERSTRATEN, J.M. Solute fluxes in throughfall and stemflow in four forest ecosystems in northwest Amazonia. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v.70, n.1, p.1-25, 2004.

TRUMBORE, S.E.; SCHIFF, S.L.; ARAVENA, R.; ELGOOD, R. Sources and transformation of dissolved organic-carbon in the harp lake forested catchment - the role of soils. **Radiocarbon**, New Haven, v.34, n.3, p.626-635, 1992.

VELINSKY, D.J.; WADE, T.L.; WONG, G.T.F. Atmospheric deposition of organic-carbon to Chesapeake Bay. **Atmospheric Environment**, v.20, n.5, p.941-947, 1986.

WETZEL, R.G.; MANNY, B.A. Decomposition of dissolved organic carbon and nitrogen-compounds from leaves in an experimental hard-water stream. **Limnology and Oceanography**, Grafton, v.17, n.6, p.927-931, 1972.

WILLIAMS, M.R.; FISHER, T.R.; MELACK, J.M. Solute dynamics in soil water and groundwater in a central Amazon catchment undergoing deforestation. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v.38, n.3, p.303-335, 1997.

WILLIAMS, M.R.; FILOSO, S.; LEFEBVRE, P. Effects of land-use change on solute fluxes to floodplain lakes of the central Amazon. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v.68, n.2, p.259-275, 2004.

WILLEY, J.D.; KIEBER, R.J.; EYMAN, M.S.; AVERY, G.B. Rainwater dissolved organic carbon: Concentrations and global flux. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v.14, n.1, p.139-148, 2000.

YANO, Y.; MCDOWELL, W.H.; ABER, J.D. Biodegradable dissolved organic carbon in forest soil solution and effects of chronic nitrogen deposition. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.32, n.11-12, p.1743-1751, 2000.

ZIMMERMANN, B.; ELSENBEER, H.; DE MORAES, J.M. The influence of land-use changes on soil hydraulic properties: Implications for runoff generation. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.222, n.1-3, p.29-38, 2006.