

## XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

### **PARTIÇÃO E VARIAÇÃO TEMPORAL DAS CONCENTRAÇÕES DE NITROGÊNIO E FÓSFORO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO HORIZONTE, ALEGRE – ES**

*Rafaeli Alves Brune<sup>1</sup>; Marco Aurélio Costa Caiado<sup>2</sup>; Conrad Heatwole<sup>3</sup>;  
José Antônio Tosta dos Reis<sup>4</sup>, Lucien Akabassi<sup>5</sup>*

**RESUMO** – Foram estudadas as concentrações de sólidos, fósforo total, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> em amostras filtradas e não filtradas de águas coletadas no córrego Horizonte, sul do Espírito Santo, a fim de verificar as variações temporal e a partição de N e P na mesma. As amostragens foram realizadas em um ponto da bacia, entre julho/2010 e abril/2011. Observou-se que (1) na maior parte das amostras, as concentrações de sólidos dissolvidos foram maiores que as de sólidos suspensos; (2) N e P são carreados, preferencialmente, na forma filtrada na bacia; (3) em todas amostras, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> se encontrou na forma dissolvida, mostrando não ser significativo, para esta bacia, o transporte de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> aderido a sedimentos; (4) dentre as formas iônicas de nitrogênio (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), as maiores concentrações foram de nitrogênio amoniacal. A existência de várias residências e de criatórios de pequenos animais em seus entornos (principalmente aves e suínos) e o livre acesso do gado bovino aos cursos d'água, os quais despejam diretamente dejetos nas águas, podem explicar as mais altas concentrações de nitrogênio amoniacal que das outras formas de N. A variação temporal das concentrações de N e P não acompanhou as concentrações de sólidos solúveis e suspensos.

**ABSTRACT** – We studied the concentrations of solids, total phosphorus, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> in filtered and unfiltered water samples collected in the Horizonte creek, south of the Espírito Santo, in order to verify the variations of N and P in a typical rural tropical basin. The samples were collected at only one point of the basin, between July/2010 April/2011. It was observed that (1) in most samples, the concentrations of dissolved solids were higher than those of suspended solids; (2) N and P are washed preferably in the filtered form; (3) all N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> was found in dissolved form, showing that, for the Horizonte creek basin, the transport of sediment-bonded N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> is not significant; (4) among the forms of N (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, and N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), the highest concentrations observed were ammonia. The existence of a significant number of houses and small animals around them (especially birds and pigs) along with the free access of cattle to the streams, which dump their waste directly into the waters, may explain the higher concentrations of ammonia than the other forms of nitrogen. The temporal variation of P and N did not follow the concentrations of soluble and suspended solids.

**Palavras-chave:** Nitrogênio, Fósforo, Ambiente Tropical

1) Estudante do Curso superior de Tecnologia em Saneamento Ambiental. Rua Ruy Pinto Bandeira, 280, 29090-130. Tel.: + 55 (27) 9813-2874. Email: rafaelibrune@gmail.com

2) Professor da Coordenadoria de Saneamento Ambiental, IFES, Campus Vitória. Av. Vitória, 1729, Vitória-ES, 29040-780. Email: mcaiado@ifes.edu.br

3) Professor BSE Department, Virginia Tech, Blacksburg, VA, EUA. E-mail: heatwole@vt.edu

4) Professor do Departamento de Engenharia Ambiental, Ufes, Campus Goiabeiras. Av. Fernando Ferrari, 514, 29075-910, Vitória-ES. Email: [tosta@ct.ufes.br](mailto:tosta@ct.ufes.br)

5) Professor da Coordenadoria de Saneamento Ambiental, IFES, Campus Vitória. Av. Vitória, 1729, Vitória, ES, 29040-780. Email: lucien@ifes.edu.br

## INTRODUÇÃO

No solo, o nitrogênio (N) e o fósforo (P) estão presentes em solução e também aderidos à fração coloidal (Pinheiro e Deschamps, 2008), podendo entrar nos corpos hídricos dissolvidos em águas de escoamento superficial, aderidos aos sedimentos ou dissolvidos em águas de percolação (Caiado, 2005). O aporte dos mesmos aos recursos hídricos merece destaque devido à toxicidade do nitrato quando em altas concentrações e à possibilidade de promoverem a eutrofização de corpos d'água.

Embora possa existir em oito formas diferentes -  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}_3$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{N}_2\text{O}_5$  - com valências -3, 0, 1, 2, 3, 3, 5 e 5, respectivamente, os compostos nitrogenados de maior interesse estão nas formas  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{NO}_3^-$ , com estados de oxidação -3, 0, 3 e 5, respectivamente (Sawyer e McCarty, 1978). Tanto no solo como na água, o N sofre uma série de transformações que envolvem a fixação biológica, transformação de compostos nitrogenados complexos até a amônia (amonificação), nitrificação e desnitrificação tomando as formas acima descritas (Andreoli e Carneiro, 2005).

No solo, o P se encontra em vários estados de disponibilidade, podendo, inclusive, estar absorvido com alta energia de ligação com óxidos de Fe e Al (Berwanger *et al.*, 2008). Em águas superficiais, é

encontrado em uma larga variedade de compostos, mas quase somente sob a forma de fosfatos, sendo as mais importantes, os ortofosfatos ( $\text{PO}_4^{-3}$ ,  $\text{HPO}_4^{-2}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ), os polifosfatos (Piro, Meta e outros) e os fosfatos orgânicos (Sawyer e McCarty, 1978; Andreoli e Carneiro, 2005).

Solos altamente intemperizados são predominantes no território brasileiro e de grande relevância na América Latina. A mineralogia da fração argila dos mesmos é composta predominantemente por minerais silicatados do tipo 1:1 (principalmente caulinita) e por óxidos de Fe e Al (Fontes *et al.*, 2001). Isto faz com que o comportamento de N e P em solos tropicais apresente diferenças em relação ao comportamento em solos temperados: maior sorção de P (Novais e Smith, 1999) e possibilidade de adsorção de  $\text{NO}_3^-$  pelas cargas positivas de solos tropicais (Sierra *et al.*, 2003) são alguns exemplos.

Devido aos seus comportamentos em solos tropicais, presume-se que parte significativa do P em águas superficiais seja transportada sorvida pelos sólidos carregados em suspensão, deixando, desta forma, de estar na forma solúvel, e que parte do nitrato seja carregada aderida às cargas positivas desses sólidos.

## OBJETIVO

Este trabalho teve como objetivo principal estudar a partição e a variação

temporal das concentrações de N e P solúveis e suspensos (aderidos a sólidos) em uma bacia hidrográfica tropical durante um ano hidrológico, verificando a interação existente entre estes e as características de uso e manejo do solo da bacia durante o período de estudo. A bacia hidrográfica do córrego Horizonte foi utilizada como área de estudo.

## CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA

A bacia do córrego Horizonte está localizada no sul do estado do Espírito Santo, no município de Alegre (Figura 1). Esta bacia está inserida em área de clima tropical e possui área aproximada de 13 Km<sup>2</sup> e área de contribuição de 10 km<sup>2</sup> até o ponto de amostragem de água.

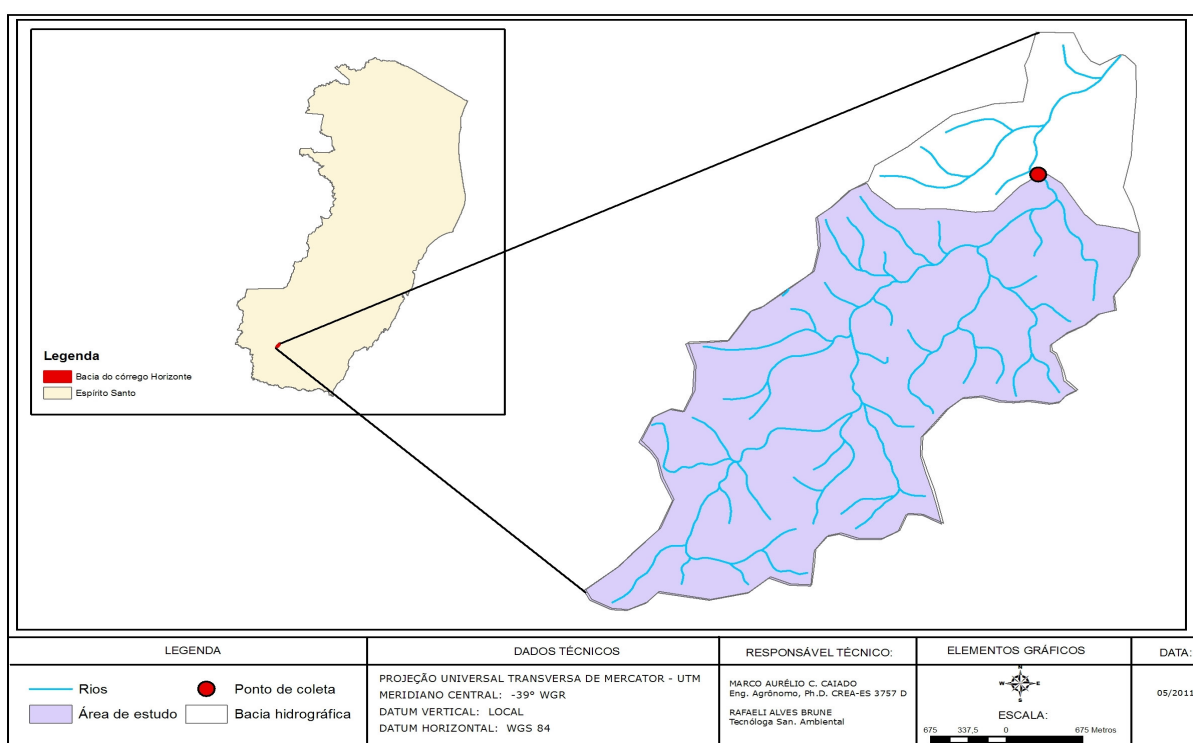


Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do córrego Horizonte no estado do Espírito Santo

## METODOLOGIA

Através da utilização de mapa hipsométrico e de fotos aéreas do ano 2007 implementados em Sistema de Informação Geográfica, a bacia do córrego Horizonte foi delimitada e elaborados os mapas de uso de solo e do posicionamento de residências e estradas.

Para a coleta de amostras de água determinou-se um ponto situado a montante da região na qual o córrego Horizonte recebe efluentes advindos de atividades pecuárias do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) Campus de Alegre e do centro urbano de Rive (distrito de Alegre).

Foram coletadas doze amostras superficiais de água entre julho de 2010 e

abril de 2011, as quais foram encaminhadas a laboratório especializado para análises. No laboratório, as amostras foram filtradas, conforme mostrado na Figura 2 e as amostras brutas e filtradas analisadas para a determinação das concentrações dos seguintes parâmetros: sólidos, fósforo total, N-total, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, N-NKT, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>. Todas as análises foram realizadas conforme APHA (2005).

Com o objetivo de se caracterizar hidrologicamente a bacia, foi instalado um linígrafo de pressão em um vertedouro retangular instalado em uma seção do córrego Horizonte localizada imediatamente a montante do ponto de amostragem de água. Além disso, as médias pluviométricas mensais foram apropriadas através dos dados da Estação Pluviométrica de Rive (código 2041003) adquiridos junto ao site oficial da Agência Nacional de Águas.

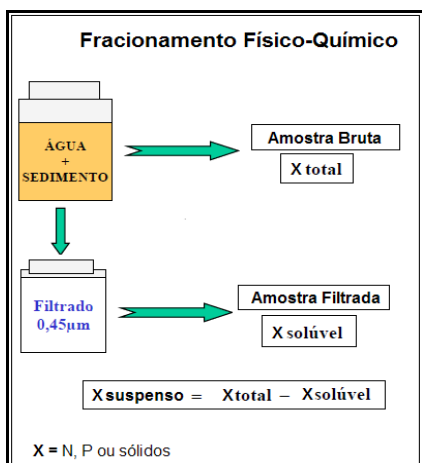


Figura 2 - Esquema do fracionamento das amostras de água, conforme Pellegrini (2005)

## RESULTADOS

A pluviosidade média mensal da área no período 1972 a 2002 está apresentada na Figura 3.

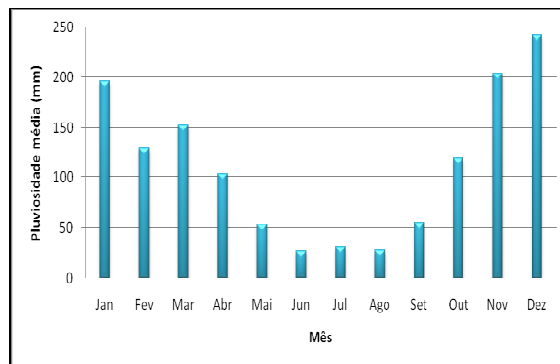


Figura 3 – Pluviosidade média mensal na Estação Pluviométrica de Rive (código 2041003) para o período 1972 a 2002

Observa-se que, quanto ao regime pluviométrico, a região é caracterizada por duas estações, uma chuvosa e outra seca, com a primeira se estendendo de outubro a abril, com médias mensais superiores a 100 mm, e a segunda se estendendo de maio a setembro.

A Figura 4 apresenta a variação da pressão total sobre o linígrafo (pressão atmosférica + lâmina d'água) entre agosto de 2010 e maio de 2011, assim como os dias em que foram coletadas amostras de água.

As Figuras 5 e 6 apresentam, respectivamente, o mapa de uso do solo da bacia e o mapa com a localização das residências e das estradas no interior da mesma.

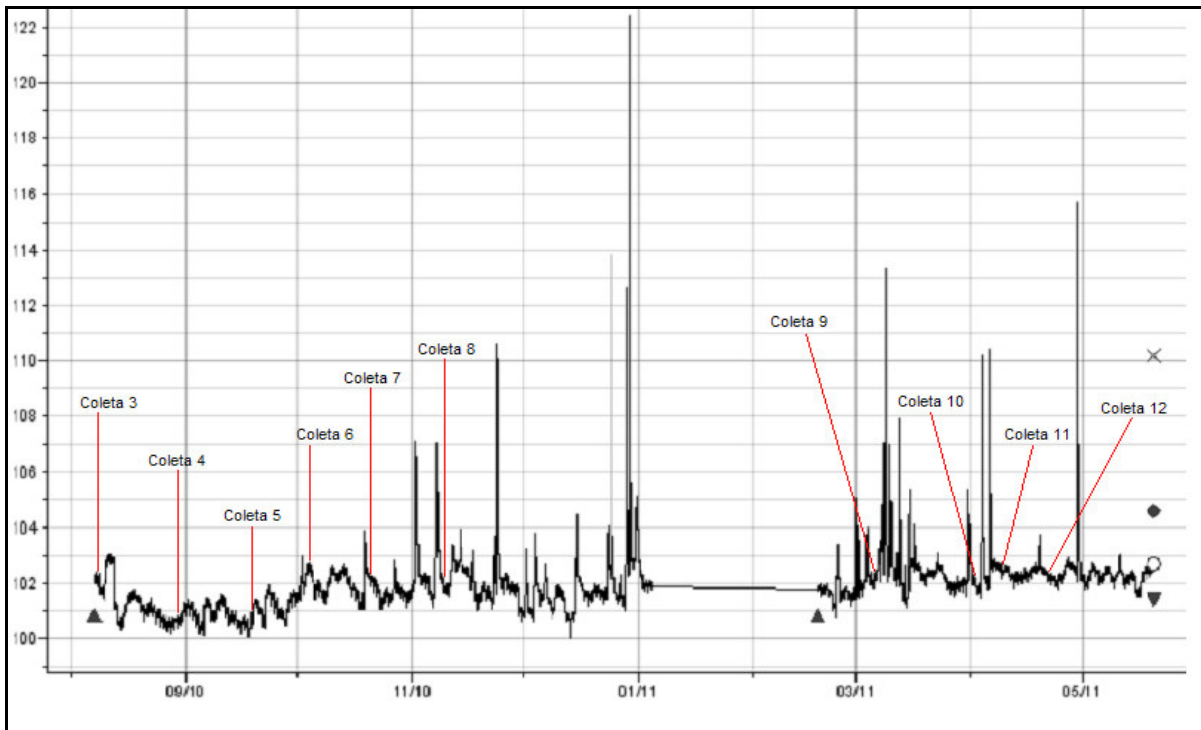


Figura 4 - Variação da pressão total sobre linígrafo (pressão atmosférica + lâmina d'água) entre agosto de 2010 e maio de 2011, instalado em vertedouro localizado imediatamente a montante do ponto de amostragem, assim como os dias em que foram coletadas amostras de água

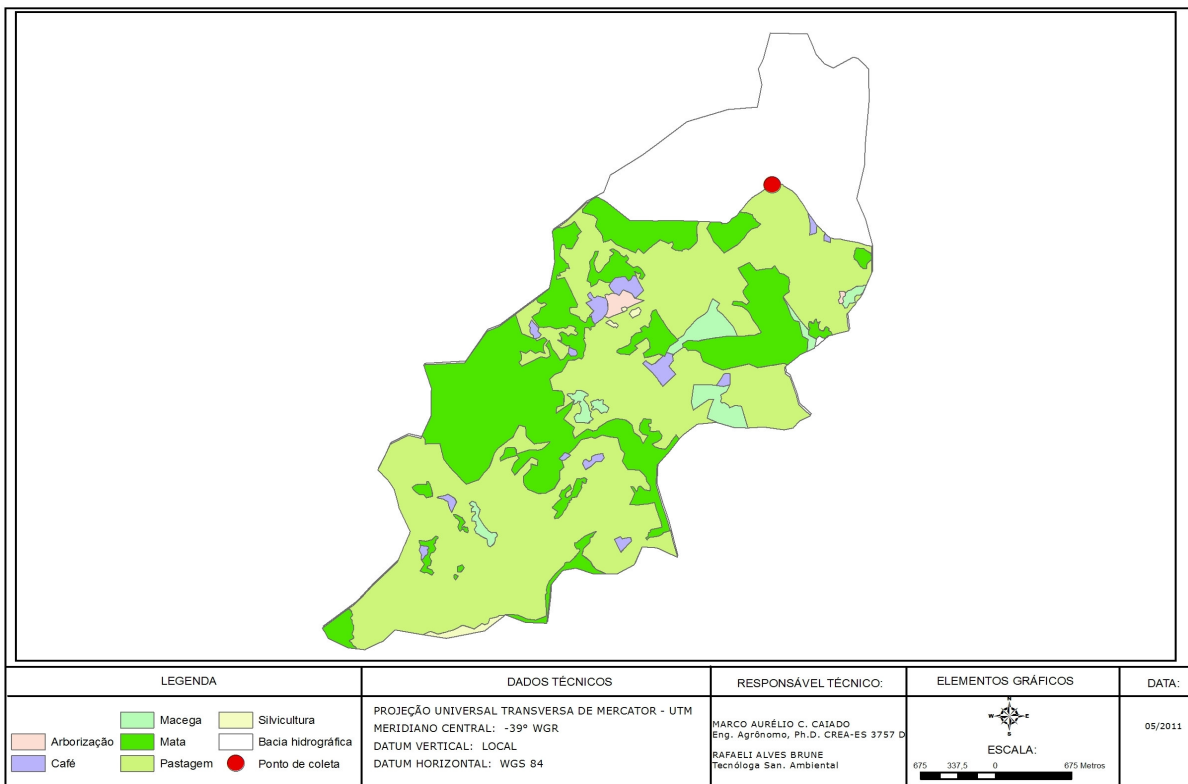


Figura 5 - Uso do solo da bacia do córrego Horizonte a montante do ponto de amostragem de água

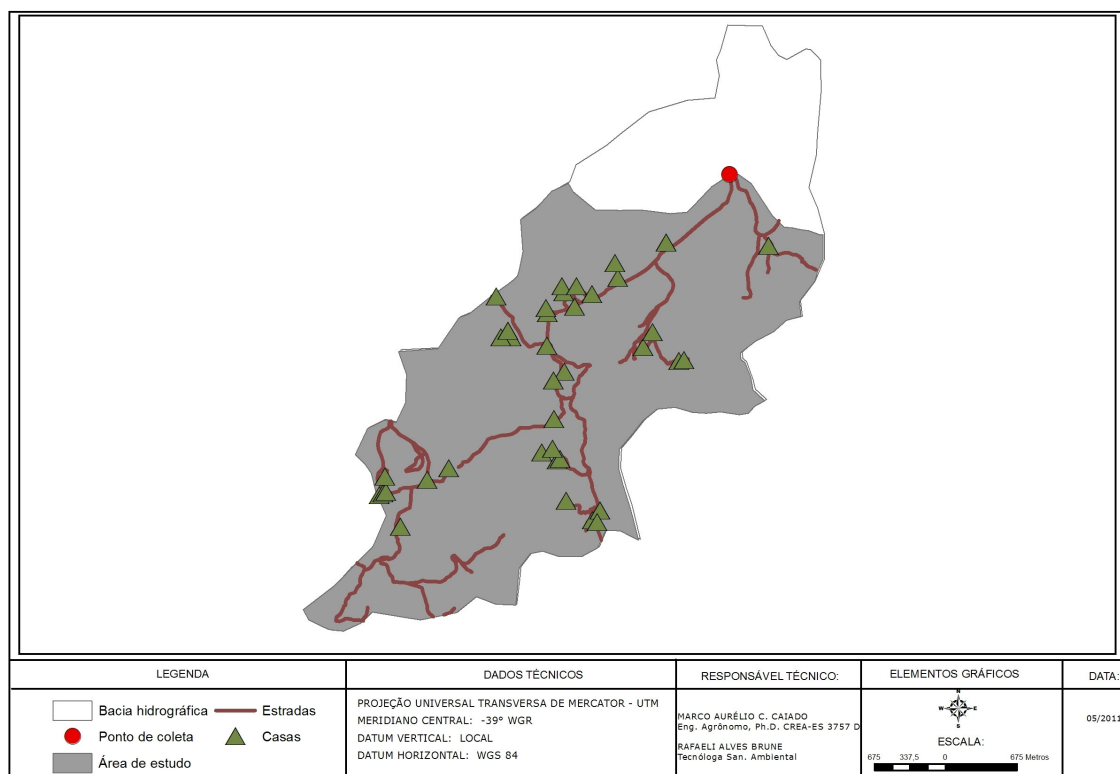


Figura 6 - Residências e estradas localizadas na bacia do córrego Horizonte a montante do ponto de coleta de amostras de água

Conforme pode ser observado, o solo da bacia é utilizado predominantemente com florestas nativas, macegas, pastagens e plantações de café. Há também pequenas áreas encobertas por lavouras de subsistência, principalmente mandioca, milho, feijão e outras, cujas pequenas dimensões dificultam a visualização na escala mapeada.

Como as 35 residências localizadas na bacia, em sua maioria, não possuem sistemas de disposição de esgoto, estas se configuram como importantes fontes de nutrientes aos corpos hídricos, às quais se somam as contribuições advindas de criações de pequenos animais como aves e suínos, de

hortas e pomares existentes aos seus arredores.

As estradas da bacia formam uma extensa rede de circulação, composta pelas vias principais e por vias de acesso às lavouras, residências, pastagens e outros e se configuram como significativas fontes de sedimentos aos corpos hídricos (Duff, 2010).

Os resultados das análises laboratoriais estão apresentados e discutidos a seguir.

### **Sólidos Dissolvidos (SD) e Sólidos Suspensos (SS)**

A Figura 7 apresenta as concentrações de sólidos dissolvidos e suspensos em dez

amostras de água coletadas no córrego Horizonte.

A causa das diferenças entre as variações da descarga de SD e SS está na maneira com que os dois tipos de sólidos alcançam os cursos d'água: os primeiros originam-se de águas de chuva e águas de escoamento superficial e subterrâneos, que carregam para os cursos d'água elementos solubilizados advindos dos ambientes por onde passam (áreas agrícolas, pastagens, residências, florestas etc) ou de contribuições pontuais (principalmente, na área de estudo, águas residuárias advindas de criatórios de animais e residências), enquanto o segundo tem origem, principalmente, na erosão de

encostas e solapamento das margens dos cursos d'água e ressuspensão de material sedimentado.

Os SD apresentaram maiores concentrações em todas as amostras, exceto as das amostragens 3 (8/08/2010) e 10 (3/4/2011), quando as concentrações de sólidos suspensos foram maiores. Ambas amostras foram coletadas em momentos em que o nível das águas do córrego Horizonte estava mais elevado que o normal, sendo que a coleta da amostra 10 (3/4/2011) foi realizada após evento pluviométrico que promoveu significativo afluxo de sedimentos para o leito do córrego.

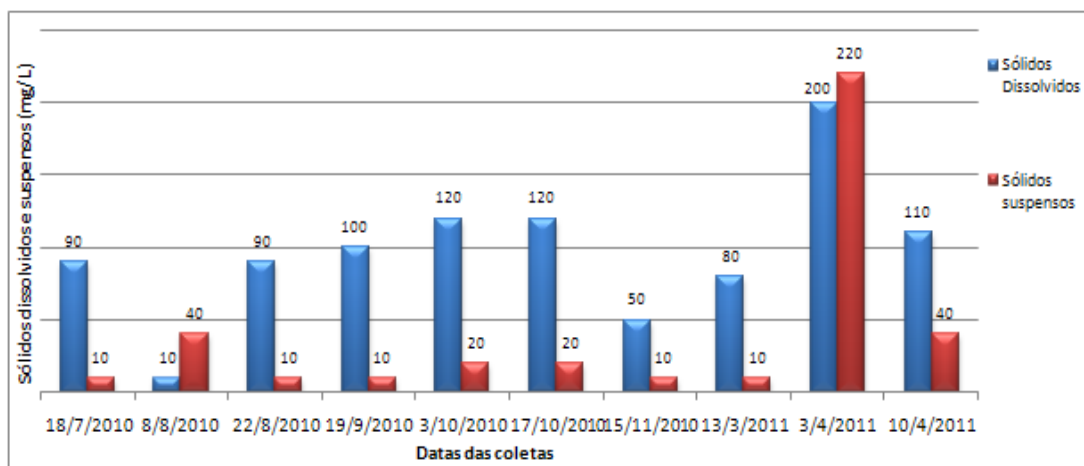


Figura 7 - Concentrações de Sólidos dissolvidos e suspensos no córrego Horizonte

### Fósforo Total Filtrável (Pf) e Fósforo Total não Filtrável (Pnf)

A variação temporal das concentrações de Pf e Pnf não acompanhou, no período analisado, as concentrações de sólidos suspensos e solúveis. A fertilização de cafezais adultos na bacia é feita,

normalmente, com fertilizantes ricos em K e N, mas pobres em P. Além disso, os teores de P nos solos da região são baixos, fazendo com que as concentrações de P não estejam, necessariamente, associadas às concentrações de sólidos suspensos.

Das sete amostragens de água que resultaram em dados de P, em cinco delas, os

teores de Pf foram superiores aos de Pnf. Nas duas amostragens que resultaram em teores de Pnf superiores aos de Pf, coletas 5 (19/09/2010) e 6 (3/10/2010), antes do início do período chuvoso, os teores de SD foram significativamente superiores aos de SS. Desta forma, outros fatores se conjugaram, contribuindo para o afluxo de P na massa d'água.

Contribuições domésticas e de criatórios são fontes importantes de P, sendo relevante observar que, durante a estação seca, principalmente no final da mesma, o gado se concentra nas pastagens localizadas nas partes mais baixas, próximas aos cursos d'água, onde há maior disponibilidade de

massa verde, passando parte do dia no interior dos mesmos e lançando dejetos diretamente na massa d'água. Para o caso das amostras coletas de 19/09/2010 e 3/10/2010, quando o córrego horizonte apresentava suas menores vazões, estes lançamentos foram, certamente, significativos, podendo ter resultado nas mais elevadas concentrações observadas.

Os dados obtidos durante esta pesquisa não foram suficientes para explicar a partição de P durante estas duas amostragens (maiores teores de Pnf que de Pf). Pode-se supor que os altos teores de Pnf estivessem ligados a porções mais grosseiras de matéria orgânica, que foram separadas durante a filtração das amostras.

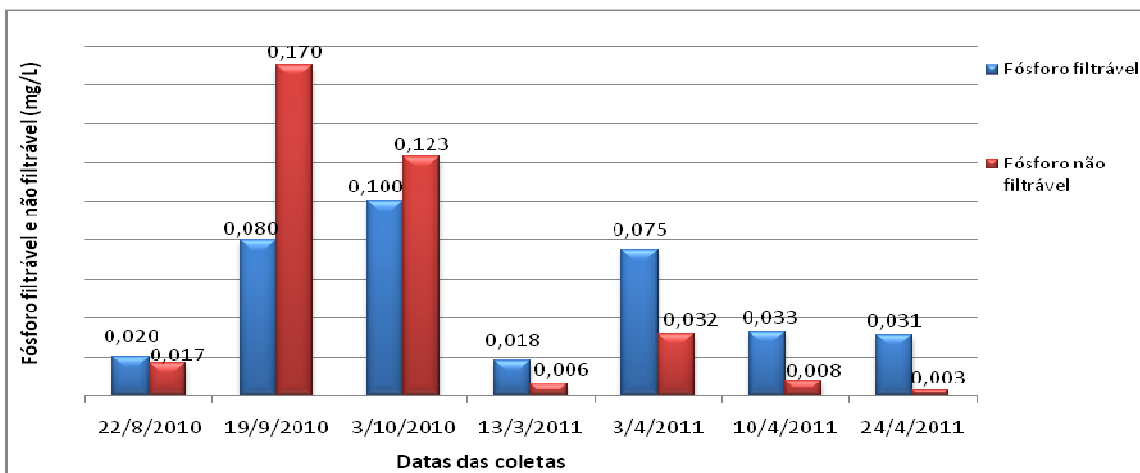


Figura 8 - Concentrações de Fósforo filtrável e não filtrável no córrego Horizonte

### **N-amoniacoal (N- $\text{NH}_4^+$ ), N-nitrito (N- $\text{NO}_2^-$ ) e N-nitrato (N- $\text{NO}_3^-$ )**

A perda de nitrogênio via escoamento superficial pode ocorrer tanto na forma filtrada como na forma não filtrada (N orgânico + N mineral ligado ao sedimento). As formas filtráveis de  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{NO}_3^-$  são

normalmente encontradas em baixas concentrações no escoamento superficial (Bertol, 2005).

$\text{N-NO}_2^-$  e  $\text{N-NO}_3^-$  foram as formas de nitrogênio analisadas que apresentaram as mais baixas concentrações, tanto na forma filtrada como não filtrada. Conforme pode ser visualizado na Tabela 1, todos os resultados



para N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> apresentaram valores menores ou iguais a 0,02 mg/L, que é o limite do método utilizado.

Conforme Tabela 2, as coletas 4, 9, 10, 11 e 12 apresentaram concentrações de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, acima do limite do método utilizado, que é de 0,1 mg/L. Deve-se observar que todo o N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> se encontrava na forma dissolvida em todas estas amostras, mostrando não ser significativo, para esta bacia, o transporte de nitrato aderido às possíveis cargas positivas dos sedimentos.

Tabela 1 - Concentrações de N-Nitrito filtrado e não filtrado no córrego Horizonte, em mg/L

Nº da amostra	Data coleta	N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> filtrado	N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> não filt.
1	04/07/2010	<0,02	<0,02
2	18/07/2010	<0,02	<0,02
3	08/08/2010	<0,02	<0,02
4	22/08/2010	<0,02	<0,02
5	19/09/2010	<0,02	<0,02
6	03/10/2010	<0,02	<0,02
7	17/10/2010	<0,02	<0,02
8	15/11/2010	<0,02	<0,02
9	13/03/2011	<0,02	<0,02
10	03/04/2011	<0,02	<0,02
11	10/04/2011	<0,02	<0,02
12	24/04/2011	<0,02	<0,02

Tabela 2 - Concentrações de N-Nitrato filtrado e não filtrado no córrego Horizonte, em mg/L

Nº da amostra	Data coleta	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> filtrado	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> não filtr.
1	04/07/2010	< 0, 1	< 0, 1
2	18/07/2010	< 0, 1	< 0, 1
3	08/08/2010	< 0, 1	< 0, 1
4	22/08/2010	0,2	< 0, 1
5	19/09/2010	< 0, 1	< 0, 1
6	03/10/2010	< 0, 1	< 0, 1
7	17/10/2010	< 0, 1	< 0, 1
8	15/11/2010	< 0, 1	< 0, 1
9	13/03/2011	0,2	< 0, 1
10	03/04/2011	0,2	< 0, 1
11	10/04/2011	0,3	< 0, 1
12	24/04/2011	0,2	< 0, 1

Quanto ao N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, suas concentrações se apresentaram bem superiores às de N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> em todas as coletas, sugerindo que o input de nitrogênio se dá predominantemente em suas formas reduzidas, assim se mantendo até o ponto de amostragem. Dejetos animais e humanos certamente são fontes mais significativas de N para o córrego Horizonte que a fertilização de encostas, o que pode explicar as mais altas concentrações de N- NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, em relação às de N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. É relevante evidenciar que, além da existência de um número significativo de residências e de criatórios de pequenos animais em seus entornos (principalmente aves e suínos), que despejam dejetos sem tratamento nos cursos d'água da bacia, todo o gado bovino e os equinos da mesma têm acesso livre a esses cursos d'água,

também neles despejando diretamente seus dejetos. Estes se configuram como fontes significativas de nitrogênio em suas formas reduzidas, explicando as mais altas concentrações de nitrogênio amoniacal que das outras formas analisadas.

Das oito amostragens que resultaram em dados de  $N-NH_4^+$ , em seis, as concentrações de  $N-NH_4^+$  filtrado foram

maiores que as de  $N-NH_4^+$  não filtrado. Apenas nas campanhas de 08/08/2010 e 13/03/2011 ocorreu o contrário, isto é, mais nitrogênio amoniacal na forma não filtrada que na forma filtrada; não tendo sido, desta forma, observada relação estreita entre a estação do ano (chuvosa ou seca) e as concentrações de  $N-NH_4^+$ .

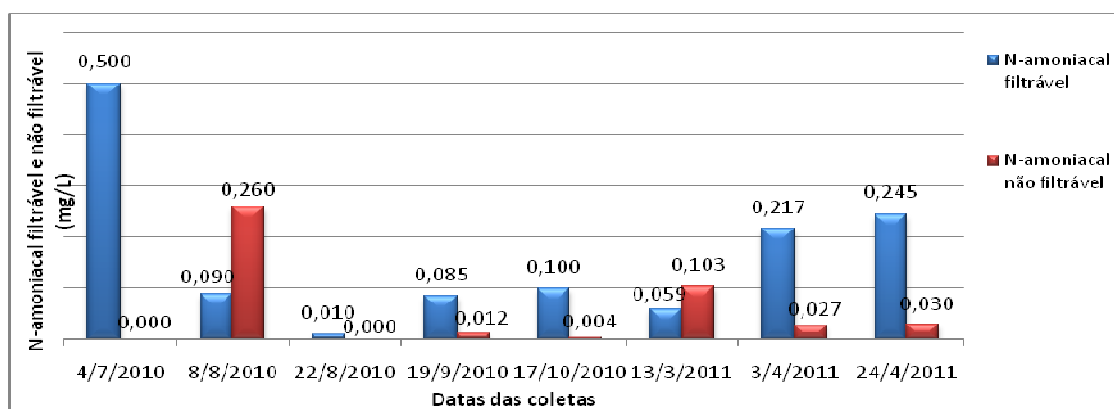


Figura 9 - Concentrações de N-amoniaco filtrado e não filtrado no córrego Horizonte.

## CONCLUSÕES

A partir dos dados observados, as seguintes conclusões podem ser tiradas:

- Na maior parte das amostras, as concentrações de sólidos dissolvidos foi maior que as de sólidos suspensos.
- Nitrogênio e fósforo são carregados preferencialmente na forma filtrada na bacia do córrego Horizonte que na forma não filtrada.
- Todo o  $N-NO_3^-$  analisado se encontrou na forma dissolvida em todas as amostras, mostrando não ser significativo, para esta bacia, o transporte de  $N-NO_3^-$  aderido às possíveis cargas positivas dos sedimentos.
- Dentre as formas iônicas de nitrogênio analisadas ( $N-NH_4^+$ ,  $N-NO_2^-$  e  $N-NO_3^-$ ), as maiores concentrações observadas foram de nitrogênio amoniacal. A existência de um número significativo de residências e de criatórios de pequenos animais em seus entornos (principalmente aves e suínos) e o livre acesso aos cursos d'água da bacia de todo o gado bovino e os eqüinos da mesma, que despejam diretamente seus dejetos nas águas, podem explicar as mais altas concentrações de nitrogênio amoniacal que das outras formas iônicas de nitrogênio analisadas.

- A variação temporal das concentrações das formas filtradas e não filtradas de fósforo e nitrogênio não acompanhou, no período analisado, as concentrações de sólidos solúveis e suspensos.

## BIBLIOGRAFIA

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (2001). Dados pluviométricos estação de Rive-ES. Brasília. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.asp?ToItem=1080&TipoReg=7&MostraCon=false&CriaArq=false&TipoArq=1&SerieHist=true>>. Acesso em: 13 jun. 2011

ANDREOLI, C. V.; CARNEIRO, C. (2005). *Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados*, Finep Curitiba, 500 p.

BERTOL, O. J.; RIZZI, N. E.; FAVARETTO, N.; LAVORANTI, O. J. (2005). *Perdas de nitrogênio via superfície e subsuperfície em sistema de semeadura direta*. Revista Floresta, v. 35, n. 3, pp. 429-442.

BERWANGER, A. L.; CERETTA, C. A.; SANTOS, D. R. (2008). *Alterações no teor de fósforo no solo com aplicação de dejetos líquidos de suínos*. Revista Brasileira Ciência do Solo, v.32, pp. 2525-2532.

CAIADO, M. A. C. *Modeling fate and transport of Nitrogen and Phosphorus in crop fields under tropical conditions*. (2005). 231f. Tese (Dissertation in Biological Systems Engineering) – Faculty of the Virginia

Polytechnic institute and State University Blacksburg, Virginia.

DUFF, M. J. (2010). *Evaluation of road erosion prediction models applied to unpaved roads in a small tropical watershed in Eastern Brazil*. Dissertação de Mestrado. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, EUA.

FONTES, M. P. F.; CAMARGO, O. A.; SPOSITO, G. (2001). *Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados*. Scientia Agricola, v.58, n.3, pp. 627-646.

NOVAIS, R. F. e SMYTH, T. J. (1999). *Fósforo em solo e Planta em condições tropicais*. UFV, Viçosa, MG, Brasil.

PELLEGRINI, J.B.R. (2005). *Fósforo na água e no sedimento na microbacia hidrográfica do arroio Lino, Agudo, RS*. 85f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

PINHEIRO, A.; DESCHAMPS, F. C. (2008). *Transporte de ortofosfato e de nitrato na microbacia do Ribeirão Fortuna, SC*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.12, n.3, pp. 318-325.

SAWYER, C.N.; McCARTY, P. L. (1978). *Chemistry for environmental engineering*. 3a edição. McGraw-Hill International Edition, pp. 521.

SIERRA, J.; BRISSON, N.; RIPOCHE, D.; NOEL, C. (2003). *Application of the STICS*

*crop model to predict nitrogen availability and nitrate transport in a tropical acid soil cropped with maize.* Plant and Soil n. 256, pp. 333-345.