Capítulo 7

Caracterização hidrológica e biogeoquímica de nitrogênio em microbacias: estudo de caso em áreas com diferentes usos do solo

Daniela Mariano Lopes da Silva
Marilane Andrade Pereira
Eline Nayara Dantas da Costa
Jéssica Carneiro de Souza

SciELO Books / SciELO Livros / SciELO Libros

SILVA, DML., *et al.* Caracterização hidrológica e biogeoquímica de nitrogênio em microbacias: estudo de caso em áreas com diferentes usos do solo. In: MORAES, MEB., and LORANDI, R., orgs. *Métodos e técnicas de pesquisa em bacias hidrográficas* [online]. Ilhéus, BA: Editus, 2016, pp. 139-161. ISBN 978-85-7455-443-3. Available from SciELO Books <<http://books.scielo.org>>.

All the contents of this work, except where otherwise noted, is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International license](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Todo o conteúdo deste trabalho, exceto quando houver ressalva, é publicado sob a licença [Creative Commons Atribuição 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Todo el contenido de esta obra, excepto donde se indique lo contrario, está bajo licencia de la licencia [Creative Commons Reconocimiento 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

CAPÍTULO 7

Caracterização hidrológica e biogeoquímica de nitrogênio em microbacias: estudo de caso em áreas com diferentes usos do solo

Daniela Mariano Lopes da Silva

Marilane Andrade Pereira

Eline Nayara Dantas da Costa

Jéssica Carneiro de Souza

Introdução

A bacia hidrográfica é a unidade territorial básica em estudos sobre a ciclagem de nutrientes. As duas principais condições para um elemento químico ser transportado em uma bacia são a disponibilidade de material e energia disponível para esse transporte, tal como o fluxo. Ambos, especialmente este último, são controlados por fatores externos da paisagem e, por essa razão, mudanças no uso e ocupação do solo alteram a estrutura e funcionamento dos ecossistemas ali existentes (FISHER; SPONSELER; HEFFERNAN, 2004).

A substituição das florestas por outros tipos de cultivos resulta em perdas significativas de nutrientes e matéria orgânica que podem contribuir para o aumento ou redução dessas formas nos corpos d'água.

O entendimento sobre os processos da dinâmica de nutrientes é fundamental para o manejo adequado em regiões tropicais em virtude da baixa fertilidade dos solos nesses ambientes. A ciclagem de nutrientes é um processo ecológico importante que envolve a ciclagem de elementos entre os compartimentos bióticos e geoquímicos dos ecossistemas. A produtividade dos ecossistemas terrestres é limitada por nitrogênio, ocasionando uma baixa disponibilidade desse elemento no solo e, conseqüentemente, uma redução na exportação de nitrogênio nos sistemas aquáticos (SUD-DUTH et al., 2013; OZIEGBE; MUOGHAL; OKE, 2011).

Muitos estudos em diferentes partes do mundo abordam a relação entre ciclagem de nutrientes e as vias hidrológicas, demonstrando o papel e a importância dessa interação para os ecossistemas florestais (VELTHORST; BREEMEN, 1989; RODÁ; AVILA; BONILLA, 1990; McCUNE; BOYCE, 1992; LEVIA JUNIOR; FROST, 2003).

A composição da água da chuva é alterada ao atravessar o dossel florestal (PARKER, 1983). Desta forma, a precipitação é uma fonte indispensável na ciclagem de nutrientes, pois transfere os íons da copa e tronco das árvores para o solo via precipitação interna e escoamento pelo tronco (CATRIONA et al., 2012). Em média, 98% do total de entrada de nutrientes em uma floresta advêm das chuvas, sendo 38% provenientes da deposição e 62% lixiviados das copas das árvores (TOBÓN; SEVINK; VERSTRATEN, 2004). Estudos têm demonstrado a importância dessas vias na ciclagem de nitrogênio.

A conversão de florestas em diferentes sistemas de cultivo ou áreas urbanizadas tem afetado a dinâmica desse nutriente, ocasionando, na maioria dos casos, um aumento do seu fluxo para os rios e riachos (GERMER et al., 2007; JICKELLS et al., 2013; SALEMI et al., 2015).

No Brasil, a maioria dos estudos envolvendo a ciclagem de nutrientes em microbacias tem sido realizada na Amazônia (GERMER et al., 2007; CHAVES et al., 2009; NEILL et al., 2001, 2011; DEEGAN et al., 2011); Cerrado (PARRON; BUSTAMANTE; MARKEWITZ, 2011) e na Mata Atlântica no sudeste brasileiro (ANDRADE et al., 2011; SALEMI et al., 2013, 2015). Mas, sobre as microbacias na Mata Atlântica no nordeste do país, pouco se sabe a respeito da influência dos diferentes usos do solo na ciclagem de nutrientes.

A Mata Atlântica é formada por um conjunto de ecossistemas que ocupa uma extensa faixa da costa brasileira, estendendo-se do Sul ao Nordeste, entre os estados do Rio Grande do Sul e Piauí. É considerada um dos biomas mais ricos da Terra, porém um dos mais ameaçados de extinção (GALINDO-LEAL; CÂMARA, 2005; FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2013). Devido à sua dimensão, ela é formada por ecossistemas bastante diferenciados, caracterizados principalmente pelas condições locais de clima e relevo (BRASIL. MDA, 2008).

Em dois anos, identificou-se que 21.977 ha de Mata Atlântica foram desmatados em 17 estados da federação e que, no último levantamento sobre remanescentes, houve um aumento de 29% da taxa de desmatamento. No entanto, na região Sul da Bahia, não foi possível constatar o atual avanço,

em função da baixa disponibilidade de imagens de satélite de boa qualidade e sem cobertura de nuvens (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2013).

O uso da Mata Atlântica para implantação do sistema cacau-cabruca foi, por mais de 250 anos, uma “solução” para a conservação desse bioma no Sul da Bahia (SAMBUICHI, 2003). A região cacauzeira do Sul da Bahia está inserida no corredor central da Mata Atlântica (LOBÃO; VALERI, 2009), e parte do seu cultivo foi estabelecido sob a floresta nativa a partir da retirada do sub-bosque e introdução da espécie *Theobroma cacao* L. (LOBÃO et al., 1997; LOBÃO; SETENTA; VALLE, 2004).

O sistema cacau-cabruca pode ser conceituado como sistema agrossilvicultural ou agroflorestal, sendo provavelmente o primeiro sistema agrossilvicultural dos trópicos (LOBÃO; SETENTA; VALLE, 2004). “Cabruca” é um termo modificado do verbo brocar, que originou as palavras cabrocar ou cabruca, que significa remover algumas plantas do sub-bosque para plantar o cacauzeiro (LOBÃO; SETENTA; VALLE, 2004; LOBÃO et al., 2007). O cacauzeiro é plantado de forma descontínua sob a sombra das árvores da floresta (estrato dominante e codominante) e é rodeado por vegetação natural, causando menor impacto aos recursos naturais com ele relacionados (LOBÃO; SETENTA; VALLE, 2004).

Quando comparado a outros sistemas agrícolas, esse sistema agroflorestal favoreceu a conservação de áreas com remanescentes florestais da Mata Atlântica, promovendo a conservação de indivíduos arbóreos, além de proporcionar condições microclimáticas adequadas ao aumento da densidade de plantas com elevada significância econômica, social e ecológica (SAMBUICHI, 2002; LOBÃO; SETENTA; VALLE, 2004).

Entre outros benefícios promovidos por ele, destaca-se a formação do maior banco genético para espécies de madeira nobre. A cabruca representa um importante habitat de muitas espécies vegetais ornamentais (epífitas, orquídeas e bromélias) e animais (aves e mamíferos). E para esses últimos, funciona, principalmente, como corredor ecológico, onde podem se reproduzir, garantindo assim a conservação da biodiversidade (SAMBUICHI, 2002, 2006).

Diferente de outros cultivos agrícolas, esse sistema agroflorestal promove menor impacto sobre a qualidade dos solos, deixando-os similares ao de uma floresta nativa, reduzindo a lixiviação de diversos nutrientes e íons maiores e preservando os recursos hídricos presentes na área (LOBÃO; SETENTA; VALLE, 2004).

Levando em consideração a complexidade dos fatores que condicionam a ciclagem do nitrogênio dissolvido em uma determinada área e a sua dinâmica no meio ambiente, este capítulo apresenta os resultados de uma pesquisa cujo principal objetivo é calcular o balanço de nitrogênio orgânico e inorgânico dissolvido nas vias hidrológicas e em um rio de duas microbacias com diferentes usos do solo: floresta em regeneração e sistema agroflorestal cacau-cabruca.

Caracterização das microbacias

De acordo com o sistema de classificação Köppen, as microbacias estão inseridas no clima tipo Af (clima quente e úmido, sem estação seca definida), com temperatura média anual de 26°C e amplitude térmica variando de 10° a 14°C. A região apresenta precipitação média anual de 1.800 mm a 2.200 mm (LANDAU, 2003), bem distribuída durante o ano, e, muitas vezes, umidade relativa do ar acima de 80% (ASMAR; ANDRADE, 1977; SÁ, 1982)

Foram avaliadas duas áreas: a primeira, inserida em uma área de floresta em regeneração; e a segunda, em uma área de sistema agroflorestal cacau-cabruca.

A microbacia 1 está localizada no Parque Estadual da Serra do Conduru, no município de Uruçuca, entre as coordenadas UTM 0492289 W e 8401012 S, e é composta por um mosaico de florestas em diferentes fases de regeneração (MARTINI, 2007) (Figura 1). A vegetação local é classificada como Floresta Ombrófila Sub-montana Densa, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação da Vegetação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1992), ou Floresta Tropical Úmida, de acordo com o Sistema Holdridge de Classificação da Vegetação (HARTSHORN, 1991). Possui um dossel uniforme, acima de 25 m de altura, com poucos indivíduos emergentes, muitas epífitas, grandes cipós e um sub-bosque denso (JARDIM, 2003).

O tipo de solo predominante corresponde ao Latossolo Vermelho-Amarelo de coloração Vermelho-Amarelo Distroférico Típico Petroplíntico. A composição físico-química é predominantemente arenosa, distribuída em 50% de areia, 34% de silte e 16% de argila.

Essa microbacia possui uma área de 36,08 ha com vazão de aproximadamente $0,59 \pm 22,9$ L/s (SILVA, 2012), e os valores de pH da água variam de $6,3 \pm 0,4$; e de condutividade elétrica, de $42,5 \pm 5,1$ $\mu\text{S cm}^{-1}$.

A microbacia 2 está localizada na Fazenda Santa Cruz, em Ilhéus, entre as coordenadas UTM 481891,62 W e 8393232,29 S (Figura 1). Está inserida em uma área com a presença do sistema agroflorestal cacau-cabruca, com declividade em torno de 5% e sombreamento médio de 70%, formado por cacaueiros (*Theobroma cacao* L.), jaqueiras (*Artocarpus heterophylla* Lam.), cajazeiras (*Spondias lutea* L.), eritrinas (*Erythrina* sp), imbaúbas (*Cecropia leucocoma* Miq.) e jequitibás (*Cariniana* sp), dentre outras espécies (ARGÔLO, 2009).

Devido à influência do domínio dos sedimentos terciários do Grupo Barreiras, o tipo de solo predominante é o Argissolo Amarelo Distrófico típico a moderado, com textura média argilosa, (FERNANDES, 2008). O manejo agrícola nessas áreas envolve a adubação, calagem e uso de inseticidas (SAMBUICHI, 2002). No entanto, na área estudada, atualmente são realizados apenas as podas, corte da vegetação e poucos eventos de calagem para correção do solo.

Essa microbacia abrange uma área de 73,38 ha, com valores de pH da água em torno de $5,8 \pm 0,1$ e condutividade elétrica de $102 \pm 18,6 \mu\text{S cm}^{-1}$.

FIGURA 1 – Localização dos pontos de coleta – área de floresta (A) e área no sistema cacau-cabruca (B)

Fonte: Dados da pesquisa.

Métodos e Técnicas de Pesquisa em Vias Hidrológicas

As vias estudadas foram precipitação, precipitação interna, escoamento pelo tronco e água superficial.

Nas duas microbacias, foram instalados coletores específicos para cada tipo de via analisada, sendo dispostos paralelos aos rios. Foram fixados, em cada microbacia, dez coletores para precipitação interna, três coletores para a precipitação e quatro para escoamento pelo tronco. Todos foram dispostos nas margens dos rios de maneira similar. Com relação à água superficial, foi estabelecido um ponto de amostragem nos rios onde as coletas foram feitas manualmente. As amostras foram coletadas semanalmente, de setembro a dezembro de 2012, num período de 11 semanas.

Para a coleta de Precipitação (P) e Precipitação Interna (PI), foram instalados coletores nas duas microbacias. Um coletor foi instalado em uma clareira onde não havia interferência das árvores para medir a P; e o outro, em um local abaixo da copa das árvores para medir a PI. Os coletores foram confeccionados com tubos de PVC de 150 cm de largura e 15 cm de diâmetro, fixados a 1 m acima do solo. Para a coleta da água, foi feita uma abertura de 10 cm x 1,40 m em um dos lados do cano. Em uma de suas extremidades foi acoplado um funil com uma mangueira ligada a frascos de 10 L, e na base desse funil foi fixada uma malha para impedir a passagem de galhos, folhas e animais (Figuras 2A e 2B).

Para captar a água que escoar pelo tronco, foi necessário fixar uma mangueira plástica com espuma expansiva de poliuretano ao redor das árvores selecionadas. Esta mangueira foi colocada a 1 m acima do solo e estava ligada a um galão com 5 L de capacidade, cuja função é desviar o Escoamento pelo Tronco (ET) para um recipiente fechado, onde é mantido até o momento da coleta (Figura 2C). Para a instalação dos coletores, foi estabelecida uma parcela de 10 x 10 m em um dos lados do riacho. O critério para a seleção das árvores foi possuir o tronco com o DAP $\geq$ 15 cm de diâmetro. Assim, quatro réplicas foram instaladas na microbacia com floresta; e outras quatro, na microbacia com sistema agroflorestal cacau-cabruca. As amostras de água do rio (R) foram coletadas manualmente através de seringas de 60 mL. Para cada evento semanal, foi coletada uma amostra.

FIGURA 2 – Coletores de precipitação (A), precipitação interna (B) e escoamento pelo tronco (C) instalados nas áreas de estudo

Fonte: Dados da pesquisa.

Análise dos dados

Para todas as vias hidrológicas estudadas, o total das chuvas foi recolhido dos coletores e medido o volume para posterior correção das concentrações. Em campo, todas as amostras foram coletadas por meio de uma seringa de 60 mL e filtradas em membrana de microfibras de vidro com porosidade de 0,7 μm , calcinadas a 450°C por um período de 4 horas. As amostras foram armazenadas em frascos de polietileno de alta densidade, congelados até a análise do material. As formas de Nitrogênio Inorgânico Dissolvido ($\text{NID} = \text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^-$) foram determinadas por cromatografia iônica (DIONEX ICS1000) e o Nitrogênio Dissolvido Total (NDT) foi determinado através da digestão por Persulfato de Potássio e Espectrofotometria no VIS, de acordo com Grasshoff, Erhardt e Kremling (1983). O Nitrogênio Orgânico Dissolvido foi determinado pela diferença entre NDT e as formas inorgânicas $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^-$.

Para calcular as concentrações em Média Ponderada por Volume (MPV), os volumes acumulados em cada coletor foram inicialmente transformados em milímetros (mm), como mostra a Equação 1. Assim, o volume em litros de cada via foi dividido pela área do seu respectivo coletor.

$$V(\text{mm}) = \frac{V(\text{L})}{A(\text{ha})}$$

Devido às diluições diferentes das amostras ocasionadas pelas diferenças no volume de chuva precipitado nas distintas vias, as concentrações (mm) das vias P, PI, e ET foram padronizadas em MPV. Isto limita a ocorrência de concentrações muito altas em vias com maior volume recolhido ou concentrações muito baixas em vias de menor volume acumulado, como mostra a Equação 2:

$$[x]\text{MPV} = \frac{([x]_1 * V_1) + ([x]_2 * V_2) \dots ([x]_n * V_n)}{(V_1 + V_2 \dots + V_n)}$$

Em que: se divide o somatório das concentrações de cada espécie ([X]) nas amostras, multiplicado por seu respectivo volume (V), pelo somatório do volume total de todas as amostras.

Para se calcular o balanço de um elemento em uma bacia, são levadas em consideração as entradas e saídas do sistema. Geralmente a entrada se dá pela precipitação, e as saídas são as descargas dos rios, infiltração até as águas subterrâneas, absorção e respiração, tanto das plantas como também do solo. Porém, para calcular o balanço de Nitrogênio, foram analisadas as suas vias hidrológicas de transporte rápido. Logo, estabeleceu-se como entrada a precipitação; e como saída, a descarga pelos rios. Deste modo, o balanço de massa foi calculado usando a Equação 3:

$$\text{Balanço} = \text{Entrada} - \text{Saída, ou seja, Balanço} = (\text{Precipitação} - \text{Riacho})$$

Em que:

Entrada = Fluxo de entrada pela precipitação, expresso em (μM em MPV)

Saída = Fluxo de saída pela água do riacho, expresso em (μM)

Para verificar se o conjunto de dados obedece a uma distribuição normal, foi aplicado o teste Kormogorov-Smirnov ($p < 0,05$). Pelo fato de os dados não seguirem uma distribuição normal, foram empregados testes estatísticos não paramétricos. Para a avaliação da variação de Nitrogênio entre as vias hidrológicas, aplicou-se a Análise de Variância Kruskal-Wallis ($p < 0,05$); e, para estabelecer se havia diferença entre as áreas, foi aplicado o teste não paramétrico Wilcoxon Mann Whitney ($p < 0,05$).

Balço de Nitrogênio nas microbacias de floresta e sistema cacau-cabruca

A assimilação e transformação de Nitrogênio em muitas bacias ocorre primariamente no ecossistema terrestre e, consequentemente, os valores de Nitrogênio encontrados nos rios são o reflexo dos processos que ocorrem nesse compartimento (SUDDUTH; PERAKIS; BERNHARDT, 2013). O transporte de Nitrogênio ao longo das vias hidrológicas apresentou comportamento diferente entre as duas bacias estudadas.

A principal forma da substância encontrada (em ambas as microbacias e vias hidrológicas) foi o Nitrogênio Orgânico Dissolvido (NOD), apresentando balanços positivos nas duas áreas estudadas (Figura 3 e 4). Em relação ao NO_3^- e NH_4^+ , foram encontrados padrões distintos, sendo as entradas maiores que as saídas para o NO_3^- , e as entradas menores que as saídas para o NH_4^+ .

FIGURA 3 – Porcentagens das diferentes formas de Nitrogênio na área de estudo

* Nas áreas de floresta: PF – Precipitação Floresta, PIF – Precipitação Interna Floresta, ETF – Escoamento pelo Tronco Floresta, RF – Riacho Floresta.

No sistema cacau-cabruca: PC – Precipitação Sistema Cacau-Cabruca, PIC – Precipitação Interna Sistema Cacau-Cabruca, ETC – Escoamento pelo Tronco Sistema Cacau-Cabruca, RC – Riacho Sistema Cacau-Cabruca.

A água da chuva e a vegetação são capazes de influenciar as concentrações dos nutrientes à medida que atingem os diferentes compartimentos (P, PI e ET). Inicialmente, ocorre lavagem da atmosfera através da chuva, posteriormente a chuva escoar pelo dossel e, conseqüentemente, podem ocorrer dois processos: a absorção do nutriente, como observado para o NO_3^- , ou a lixiviação de diferentes partes da vegetação, promovendo acréscimo das concentrações (como é o caso do NH_4^+ e do NOD). Isso demonstra a importância da vegetação na entrada de nutrientes nos ecossistemas florestais até alcançar o solo (LOPES, 2001; TOBÓN; SEVINK; VERSTRATEN, 2004; PROTIL; MARQUES; PROTIL, 2009). O enriquecimento das diferentes formas de Nitrogênio inicia-se a partir de processos que ocorrem na atmosfera; no entanto, alguns estudos sugerem que a maior contribuição se dá nos estratos do dossel que contribuem para o enriquecimento na PI (LEITE et al., 2011; HOFHANSL et al., 2011).

Na área de floresta, o ET foi a via de maior enriquecimento das formas de Nitrogênio, enquanto no sistema cacau-cabruca a principal via foi a PI ($p < 0,05$). Hofhansl et al. (2012) observaram importante influência hidroquímica no ET para todos os compostos de nitrogênio, incluindo NOD e NH_4^+ com conseqüente enriquecimento do ET.

O NOD e o NH_4^+ apresentaram aumento na sua concentração no sentido Precipitação - Riacho em ambas as microbacias (Tabela 1 e Figura 4). Inversamente, o NO_3^- aumentou no sentido Precipitação - Escoamento pelo Tronco e reduziu sua concentração nos rios. Essa redução pode estar relacionada à absorção líquida do NO_3^- por epífitas, briófitas, líquens e microrganismos (JORDAN; GOLLEY; HALL, 1980; FORTI; MOREIRA-NORDEMANN, 1991; GERMER et al., 2007), à absorção pela vegetação ou à perda pelo processo de denitrificação (PARKER, 1983; TOBÓN; SEVINK; VERSTRATEN, 2004).

TABELA 1 – Concentrações de Nitrogênio nas vias hidrológicas e nos riachos de áreas de floresta e sistema cacau-cabruca, Sul da Bahia

	Floresta			SAF Cacau-Cabruca		
	NO_3^-	NH_4^+	NOD	NO_3^-	NH_4^+	NOD
Precipitação	$3,6 \pm 3,9$ (n.d. - 12,8)	$0,8 \pm 0,6$ (n.d. - 3,4)	$6,3 \pm 5,6$ (n.d. - 30,1)	$1,4 \pm 2,3$ (n.d. - 9,2)	$0,7 \pm 0,6$ (n.d. - 2,8)	$8,4 \pm 6,4$ (n.d. - 103,5)
Precipitação Interna	$0,5 \pm 0,7$ (n.d. - 40,9)	$0,6 \pm 0,6$ (n.d. - 9,1)	$4,7 \pm 4,6$ (n.d. - 81,7)	$1,9 \pm 2,3$ (n.d. - 125,3)	$2,7 \pm 4,3$ (n.d. - 31,7)	$15,6 \pm 27,3$ (n.d. - 40,6)
Escoam. pelo tronco	$6,8 \pm 9,7$ (n.d. - 42,3)	$1,5 \pm 1,8$ (n.d. - 11,3)	$6,7 \pm 14,1$ (n.d. - 61,9)	$0,5 \pm 0,5$ (n.d. - 5,2)	$1,9 \pm 3,2$ (n.d. - 44,2)	$5,9 \pm 5,8$ (n.d. - 87,1)
Riacho	$2,2 \pm 3,4$ (n.d. - 10,9)	$3,3 \pm 4,4$ (0,7 - 5,6)	$12,3 \pm 8,4$ (1,9 - 24,5)	$0,8 \pm 0,8$ (n.d. - 1,9)	$2,8 \pm 1,6$ (1,3 - 6,0)	$34,2 \pm 22,1$ (11,2 - 85,9)

Fonte: Dados da pesquisa.

A redução da concentração de nutrientes, ao fluir pelos compartimentos florestais, como é o caso do NO_3^- , pode estar associada a fenômenos como absorção e/ou volatilização dos nutrientes investigados. Esse resultado também foi constatado em outros estudos em diferentes tipos florestais (JORDAN; GOLLEY; HALL, 1980; PARKER, 1983; TOBÓN; SEVINK; VERSTRATEN, 2004). Tobón, Sevink e Verstraten (2004) argumentam que, mesmo ocorrendo variabilidade espacial entre florestas, as estimativas da deposição de Nitrogênio demonstram que grande parte desse nutriente é absorvida na copa das árvores, e observam ainda que as baixas concentrações de nutrientes sugerem a ocorrência de uma menor lixiviação ou absorção líquida pelo dossel, ressaltando que o decréscimo da concentração é mais frequente na PI do que no ET.

FIGURA 4 – Balanços das diferentes formas de Nitrogênio na área de estudo

Fonte: Dados da pesquisa.

O ET, apesar de representar a via de menor contribuição de água neste estudo, não ultrapassando 0,5% do total do volume precipitado, não pode ser desprezado, tendo em vista que a água escoada pelo tronco teve sua velocidade reduzida, diminuindo o impacto da água ao atingir o solo e facilitando o processo de infiltração. Vários autores destacam a importância e benefícios da pequena parcela do ET para a vegetação e para o solo, especialmente em períodos menos chuvosos (LEVIA JUNIOR et al., 2003; GERMER; WERTHER; ELSENBEEER, 2010; HOFHANSL et al., 2012). Essa via também contribui para a manutenção da água no solo, reduzindo o escoamento superficial e viabilizando o abastecimento do lençol freático. Estudos em florestas tropicais demonstram que os nutrientes no ET são dez vezes superiores, quando comparados aos valores de P e PI (HOFHANSL et al., 2012). No presente estudo, um aumento de NO_3^- no ET pode ser observado principalmente na área de floresta (0,5 a 6,8 μM) (Figura 3). No caso do sistema cacau-cabruca, houve uma redução no sentido PI-ET (1,9 a 0,5 μM). Estudos em florestas tropicais na Costa Rica revelaram que há uma diminuição de Nitrogênio e Fósforo no ET nas diferentes tipologias florestais estudadas. Esta redução foi associada às rápidas trocas e incorporações que ocorrem ao longo do tronco e pela presença de epífitas (HOFHANSL et al., 2012).

Em bacias hidrográficas não impactadas tem sido demonstrado que a vegetação contribui significativamente para a remoção do Nitrato nos ecossistemas, registrando diminuição das concentrações de Nitrato no solo com o aumento da profundidade (SALEMI et al., 2013, 2015; SUDDUTH; PERAKIS; BERNHARDT, 2013). Souza (2014), em estudos sobre Nitrogênio na solução do solo nas mesmas áreas do presente estudo, demonstrou que as maiores concentrações das diferentes formas de N estão nos primeiros 15 cm de solo, podendo atingir 90 cm, porém em quantidade reduzida. Este padrão pode estar relacionado com o fato de que alguns nutrientes se esgotam ao longo do tempo, e nos sistemas agroflorestais cacau-cabruca, que são antigos, a serapilheira pode não ser suficiente para suprir essa perda nas zonas mais profundas (DAWOE; ISAAC; QUASHIE, 2010; SELLE, 2007; VITOUSEK, 1982).

Estudos desenvolvidos em sistemas de cacau com sombreamento de eritrina, também no Sul da Bahia, demonstraram o mesmo padrão, sendo observada retenção de Nitrogênio no folheto e no solo com baixa lixiviação para os sistemas aquáticos (GAMA-RODRIGUES; MIRANDA, 1991).

Alguns processos podem contribuir para a retenção de Nitrogênio, tais como acúmulo de Nitrogênio no solo, incorporação pelas plantas e denitrificação. Além disso, as zonas ripárias representam sumidouros para determinados nutrientes, tais como Nitrogênio e Fósforo e, eventualmente, fonte de nutrientes quando se tornam saturadas. No presente estudo, provavelmente parte do NO_3^- escoado pelo tronco e produzido no sistema terrestre através dos processos de mineralização e nitrificação pode ser retida na zona ripária e não ser lixiviada para o sistema aquático.

Em relação ao NH_4^+ e ao NOD, observou-se um aumento a partir do contato da precipitação com a vegetação nas duas microbacias (Tabela 1). O aumento dos nutrientes (NH_4^+ e NOD) após a passagem pelo dossel e consequente aumento no rio pode ser explicado pela dissolução na água da chuva de compostos depositados através da lixiviação das copas das árvores (PARKER, 1983; LEITE et al., 2011; JOST et al., 2011; HOFHANSL et al., 2012).

Os excrementos animais também podem influenciar nas concentrações de N nos diferentes compartimentos. Tobón, Sevink e Verstraten (2004) observaram na floresta amazônica que muitas espécies de árvores apresentaram um aumento na concentração de nutrientes no período de floração e frutificação. Nesse período, a atividade de diversos organismos no dossel aumenta consideravelmente, resultando na liberação de solutos nos diferentes compartimentos, oriundos dos excrementos desses organismos.

Apesar de apresentar um balanço negativo em ambas as bacias (Figura 3), o NH_4^+ foi similar ao NO_3^- no rio da área de floresta e foi predominante no rio do sistema cacau-cabruca ($p < 0,05$), variando de 1,3 a 6,0 μM . Estudos realizados nessas mesmas áreas por Silva (2012) e Souza (2014) demonstraram que as taxas de mineralização e nitrificação no solo no sistema cacau-cabruca apresentam valores inferiores quando comparados à área de floresta. As maiores taxas de mineralização e nitrificação do solo nas áreas de floresta resultam em maiores concentrações de NO_3^- nos primeiros centímetros do solo, podendo ser incorporadas pela vegetação ou lixiviadas para os rios.

Acredita-se que as maiores concentrações de NH_4^+ no sistema cacau-cabruca são decorrentes das características do rio e seu entorno. Este rio, apesar de possuir uma área de drenagem maior que o rio da área de floresta, apresenta diversos trechos com fluxo lento de água e áreas de remanso. Além disso, a alta concentração de matéria orgânica resultante da serapilheira produzida pelo próprio sistema cacau-cabruca resulta em maior acidez nos sistemas aquáticos. Ainda, o baixo fluxo da água em determinadas épocas do ano,

associado ao acúmulo de matéria orgânica, resulta em condições de anoxia que podem contribuir para o aumento de processos como denitrificação e redução dissimilatória do nitrato, reduzindo os processos de nitrificação.

O NOD representa a principal forma de N em todas as vias hidrológicas estudadas, apresentando os maiores balanços negativos ($p < 0,05$), - 6,0 e - 26,8 para as áreas de floresta e sistema cacau-cabruca, respectivamente. No sistema cacau-cabruca, houve um aumento do NOD no sentido Precipitação - Riacho, apresentando um balanço negativo quase três vezes maior quando comparado à área de floresta ($p < 0,05$). Este tipo de sistema agroflorestal, pela própria estrutura do cacauzeiro, contribui para o aumento da transferência de nutrientes para o solo e, consequentemente, para os rios (SANTANA; CABALA-ROSAND; SERÔDIO, 1990). Estudos desenvolvidos nestes sistemas demonstraram que a serapilheira é a principal responsável pelo aumento da concentração de nutrientes na solução do solo (CURVELO et al., 2009), demonstrando que o mesmo é autossustentável em termos nutricionais.

Além disso, o aumento das formas orgânicas pode estar relacionado à lixiviação das folhas do cacauzeiro, uma vez que essas folhas possuem maior área do que as folhas das árvores da floresta, favorecendo uma maior deposição dos compostos nitrogenados. O Nitrogênio absorvido pelas plantas através da solução do solo, na forma de NO_3^- ou NH_4^+ , é principalmente incorporado à biomassa e, posteriormente, retorna ao solo via serapilheira, sendo os nutrientes foliares um meio alternativo de caracterizar a disponibilidade de nutrientes em florestas tropicais (VITOUSEK, 1982). Em diversos sistemas florestais, tem sido observado que a diminuição do índice de área foliar possivelmente reduz a quantidade de deposição seca e úmida no dossel da floresta, contribuindo para uma redução de íons na PI e ET (TOBÓN; SEVINK; VERSTRATEN, 2004). O índice de área foliar pode influenciar no aumento da retenção de partículas atmosféricas e estas, posteriormente, podem ser carregadas pela P, favorecendo o enriquecimento da PI (PROTIL; MARQUES; PROTIL, 2009).

Os resultados encontrados estão de acordo com a maioria dos estudos de nutrientes em vias hidrológicas (MICHPOULOS; BALOUTSOS; ECONOMOU, 2008; OZIEGBE; MUOGHAL; OKE, 2011). Há um predomínio das formas orgânicas nas diferentes vias hidrológicas em áreas de Mata Atlântica (SP) e na Amazônia (RO) (CHAVES et al., 2009; SALEMI et al., 2013).

Outros fatores que podem alterar as perdas de Nitrogênio para os ecossistemas aquáticos incluem a quantidade de chuva, o aproveitamento da água pela vegetação e o conteúdo de N no solo. De maneira geral, na microbacia de floresta, as concentrações das diferentes formas de Nitrogênio aumentaram à medida que atravessaram o dossel. No sistema cacau-cabruca, este padrão foi observado principalmente para o NOD.

Conclusão

Embora o sistema agroflorestal cacau-cabruca implique na remoção da vegetação do sub-bosque para o plantio do cacaueiro, não foram encontradas diferenças nos balanços das formas inorgânicas de Nitrogênio entre as duas microbacias estudadas. Foram observadas diferenças apenas para o NOD, que além de apresentar um incremento ao longo do dossel, apresentou as maiores saídas através dos rios, principalmente na microbacia do sistema agroflorestal cacau-cabruca.

Referências

- ANDRADE, T. M. B. et al. Dynamics of dissolved forms of carbon and inorganic N in small watersheds of the Coastal Atlantic Forest in Southeast Brazil. **Water Air and Soil Pollution**, v. 214, n.1, p. 393–408, 2011.
- ARGÔLO, L. M. H. **Avaliação de genótipos de *Heliconia spp.* sob cultivo a pleno sol e cabruca**. 2009. 76 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, 2009.
- ASMAR, S. R. E.; ANDRADE, M. P. **Geografia da microrregião cacauera, Itabuna, BA**. Ilhéus, BA: Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira, 1977.
- BRASIL. MINISTÉRIO DE DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO – MDA. Manual Agroflorestal para Mata Atlântica. 2008. Disponível em: <<http://www.centroecologico.org.br/revista>>. Acesso em: 9 mar. 2015.
- CURVELO, K. et al. Aporte de Nutrientes na Serapilheira e na Água do Solo em Cacau Cabruca Floresta Secundária e Pastagem. **Agrotrópica**, Itabuna, Bahia. v. 21, n.1, p. 55-64. 2009.
- CATRIONA, M. O. et al. Rainfall partitioning into throughfall and stemflow and associated nutrient fluxes: land use impacts in a lower montane tropical region of Panama. **Biogeochemistry**, Department of Ecology and Evolutionary Biology The University of Kansas Lawrence, Kansas, USA. v. 111, n.1-3, p. 661-676, 2012.
- CHAVES, J. et al. Nitrogen transformations in flow paths leading from soils to streams in Amazon Forest and pasture. **Ecosystems**, v. 12, n. 6, p. 961-972, 2009.
- DAWOE, E. K.; ISAAC, M. E.; QUASHIE, A. S. J. Litterfall and litter-nutrient dynamics under cocoa ecosystems in lowland humid Ghana. **Plant and Soil**, v. 330, n. 1, p. 55-64. 2010.
- DEEGAN, L. A. et al. Amazon deforestation alters small stream structure, nitrogen biogeochemistry and connectivity to larger rivers. **Biogeochemistry**, Department of Ecology and Evolutionary Biology The University of Kansas Lawrence, Kansas, USA. v. 105, n. 1, p. 53-74, 2011.

FERNANDES, C. A. S. **Avaliação da qualidade do solo em áreas de cacau cabruca, mata e policultivo no sul da Bahia**. 2008. 85 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, 2008.

FISHER, S. S. G.; SPONSELER, R. A.; HEFFERNAN, J. B. Horizons in stream biogeochemistry: flowpaths to progress. **Ecology**, v. 85, n.9, p. 2369-2379, 2004.

FORTI, M. C.; MOREIRA-NORDEMANN, L. M. Rainwater and throughfall chemistry in a Terra Firme Rain-Forest - Central Amazonia. **Journal of Geophysical Research - Atmospheres**, v. 96, n. D4, p. 7415-7421, 1991.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. **Atlas dos remanescentes florestais da mata atlântica**: período de 2011-2012. Relatório Final. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2013. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/tag/atlas-dos-remanescentes-florestais-da-mata-atlantica/> >. Acesso em: 11 abr. 2015.

GALINDO-LEAL, C.; CAMARA, I. G. **Mata Atlântica**: ameaças e perspectivas. Belo Horizonte: Conservation International, 2005.

GAMA-RODRIGUES, A. C.; MIRANDA, R. C. C. Efeito da chuva na liberação de nutrientes do folheto num agrossistema de cacau do sul da Bahia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 26, n. 9, p. 1345-1350, 1991.

GERMER, S.; WERTHER, L.; ELSENBEER, H. Have we underestimated stemflow? Lessons from an open tropical rainforest. **Journal of Hydrology**, v. 395, n. 3-4, p. 169-179, 2010.

GERMER, S. et al. Seasonal and within-event dynamics of rainfall and throughfall chemistry in an open tropical rainforest in Rondônia, Brazil. **Biogeochemistry**, Department of Ecology and Evolutionary Biology The University of Kansas Lawrence, Kansas, USA. v. 86, n. 2, p. 155-174, 2007.

GRASSHOFF, K.; ERHARDT, M.; KREMLING, K. Methods of seawater analysis. Weinheim: Verlag Chemie, 1983.

HOFHANSL, F. W. et al. Topography strongly affects atmospheric deposition and canopy exchange processes in different types of wet lowland rainforest, Southwest Costa Rica. **Biogeochemistry**, Department of Ecology and Evolutionary Biology The University of Kansas Lawrence, Kansas, USA. v. 106, n. 3, p. 371-396, 2011.

HOFHANSL, F. et al. Controls of hydrochemical fluxes via stemflow in tropical lowland rainforests: Effects of meteorology and vegetation characteristics. **Journal of Hydrology**, local, v. 452-453, p. 247-258, 2012.

HARTSHORN, G. S. Plantas. In: JANZEN, D. H. (Ed.). **Historia natural de Costa Rica**. San José, Costa Rica: Editorial de La Universidad de Costa Rica, cap. 7, p. 119-353. 1991.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Levantamento de recursos naturais**. Rio de Janeiro: IBGE, 1992.

JARDIM, J. G. Uma caracterização parcial da vegetação da região sul da Bahia, Brasil. In: PRADO, P. I.; LANDAU, E. C.; MOURA, R. T.; PINTO, L. P. S.; FONSECA, G. A. B.; ALGER, K. (Eds.). **Corredor de biodiversidade da Mata Atlântica do sul da Bahia**. Ilhéus-BA: IESB/CI/CABS/UFGM/UNICAMP, 2003. 1 CD-ROM.

JICKELLS T. et al.. The cycling of organic nitrogen through the atmosphere. **Philosophical Transactions B**, Londres. v. 368, n. 1621, 2013. Disponível em: <<http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/368/1621/20130115>>. Acesso em: 11 abr. 2015.

JORDAN, C.; GOLLEY, F.; HALL, J. Nutrient scavenging of rainfall by canopy of an Amazonian. **Biotropica**, University of Georgia, Georgia, USA. v. 12, n. 1, p. 61-66, 1980.

JOST, G. et al. Nitrogen leaching of two forest ecosystems in a karst watershed. **Water Air Soil Pollution**, v. 218, n.1-4, p. 633-649, 2011.

LANDAU, E. C. Normais de precipitação no sudeste da Bahia, Brasil. In: PRADO, P. I.; LANDAU, E. C.; MOURA, R. T.; PINTO, L. P. S.; FONSECA, G. A. B.; ALGER, K. (Eds.). **Corredor de biodiversidade da mata atlântica do sul da Bahia**. Ilhéus, BA: IESB/CI/CABS/UFGM/UNICAMP, 2003. 1 CD-ROM.

LEITE, N. K. et al. Intra and interannual variability in the Madeira River water chemistry and sediment load. **Biogeochemistry**, Department of Ecology and Evolutionary Biology The University of Kansas Lawrence, Kansas, USA. v. 105, n.1-3, p. 37-51, 2011.

LEVIA JUNIOR, D. F.; FROST, E. E. A Review and evaluation of stem-flow literature in the hydrologic and biogeochemical cycles of forested and agricultural ecosystems. **Journal of Hydrology**, local, v. 274, n.1-4, p. 1-29, 2003.

LOBÃO, D. E. et al. Cacau-Cabruca: um modelo sustentável de agricultura tropical. **Indícios Veementes**, São Paulo, v. 3, p. 10-24, 1997.

LOBÃO, D. E.; SETENTA, W. C.; VALLE, R. R. Sistema agrossilvicultural cacauzeiro - modelo de agricultura sustentável. **Agrossilvicultura**, v. 1, n. 2, p. 163-173, 2004.

LOBÃO, D. E. et al. Cacau-Cabruca – sistema agrossilvicultural tropical. In: VALLE, R. R. (Ed.). **Ciência, tecnologia e manejo do cacauzeiro**. Itabuna, BA: Gráfica e Editora Vital, 2007. p. 290-323.

LOBÃO, D. E.; VALERI, S. V. Sistema cacau-cabruca: conservação de espécies arbóreas da floresta atlântica. **Agrotrópica**, Itabuna, BA, v. 21, n. 1, p. 43-54, 2009.

LOPES, M. I. M. S. **Fluxo de água, balanço químico e alterações no solo da Floresta Atlântica atingida pela poluição aérea de Cubatão, SP, Brasil**. 2001. 217 f. Tese (Doutorado em Ecologia), Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2001.

MARTINI, A. M. Z. A hot-point within a hotspot: a high diversity site in Brazil's Atlantic Forest. **Biodiversity Conservation**, v. 16, n. 11, p. 3111-3188, 2007.

McCUNE, D. C.; BOYCE, R. L. Precipitation and the transfer of water, nutrients and pollutants in the tree canopies. **Trends in Ecology & Evolutions**, v. 7, n. 1, p. 4-7, 1992.

MICHOPOULOS, P.; BALOUTSOS, G.; ECONOMOU, A. Nitrogen cycling in a Mature Mountainous Beech Forest. **Silva Fennica**, local, v. 42, p. 5-17, 2008.

NEILL, C. et al. Deforestation for pasture alters Nitrogen and phosphorus in small Amazonian streams. **Ecological Applications**, v. 11, n. 6, p. 1817-1828, 2001.

NEILL, C. et al. Runoff sources and land cover change in the Amazon: and end-member mixing analysis from small watersheds. **Biogeochemistry**, Department of Ecology and Evolutionary Biology The University of Kansas Lawrence, Kansas, USA. v. 105, n. 7. p. 7-18, 2011.

OZIEGBE, M. B.; MUOGHAL, J. I.; OKE, S. O. Litterfall, precipitation and nutrient fluxes in a secondary lowland rain forest in Ile-Ife, Nigeria. **Acta Botanica Brasilica**, local, v. 25, n. 3, p. 664-671, 2011.

PARKER, G. G. Throughfall and stemflow in the forest nutrient cycle. **Advances in Ecological Research**, v. 13, p. 57-133, 1983.

PARRON, L. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; MARKEWITZ, D. Fluxes of nitrogen and phosphorus in a gallery forest in the Cerrado of central Brazil. **Biogeochemistry**, Department of Ecology and Evolutionary Biology The University of Kansas Lawrence, Kansas, USA. v. 105, n. 1-3, p. 89-104, 2011.

PROTIL, C. Z.; MARQUES, R.; PROTIL, R. M. Variação sazonal e redistribuição de bioelementos de quatro espécies arbóreas em três tipologias florestais da Floresta Atlântica do Paraná. **Floresta**, Curitiba, Paraná. v. 39, n. 3, p. 699-717, 2009.

RODÁ, F.; AVILA, A.; BONILLA, D. Precipitation, throughfall, soil solution and streamwater chemistry in a holm-oak (*Quercus ilex*) forest. **Journal of Hydrology**, v. 116, n. 1-4. p. 167-183, 1990.

SÁ, D. F. Fatores edafo-climáticos seletivos ao zoneamento da cacauicultura no sudeste da Bahia. **Revista Theobroma**, Itabuna, Bahia. v. 12, n. 3. p. 169-187, 1982.

SALEMI, L. F. et al.. Land-use change in the Atlantic rainforest region: Consequences for the hydrology of small catchments. **Journal of Hydrology**, v. 499, p. 100-109, 2013.

SALEMI, L. F. et al. Nitrogen Dynamics in Hydrological Flow Paths of a Small Tropical Pasture Catchment. **Catena**, v. 127, p. 250-257, 2015.

SAMBUICHI, R. H. R. Fitossociologia e diversidade de espécies arbóreas em cabruca (Mata Atlântica raleada sobre plantação de cacau) na região sul da Bahia, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo-SP. v. 16, n. 1, p. 89-101, 2002.

SAMBUICHI, R. H. R. **Ecologia da vegetação arbórea de cabruca – Mata Atlântica raleada utilizada para cultivo de cacau na região sul da Bahia**. 2003. 140 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2003.

SAMBUICHI, R. H. R. Estrutura e dinâmica do componente arbóreo em área de cabruca na região cacaueira do sul da Bahia, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo-SP. v. 20, n. 4, p. 943-954, 2006.

SANTANA, M. B.; CABALA-ROSAND, P.; SERÔDIO, M. H. Reciclagem de nutrientes em agrossistemas de cacau. **Agrotropica**, Itabuna-BA. v. 2, n. 2, p. 68-74, 1990.

SELLE, G. L. Nutrient cycling in forest ecosystems. Review Article. *Bioscience Journal*, Uberlandia-MG. v. 23, n. 4, p. 29-39, 2007.

SILVA, L. P. **Dinâmica de nitrogênio em microbacias em remanescentes de Mata Atlântica (Itacaré - Uruçuca, BA)**. 2012. 58 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Aquáticos Tropicais) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, 2012.

SOUZA, J. C. **Influência do sistema agroflorestal cacau-cabruca na dinâmica de nitrogênio na solução do solo em microbacias na região sul da Bahia**. 2014. 28 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Aquáticos Tropicais) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, 2014.

SUDDUTH, E. B.; PERAKIS, S. S.; BERNHARDT, E. S. Nitrate in watersheds: Straight from soils to streams? **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 118, n. 1, p. 1-12, 2013.

TOBÓN, C.; SEVINK, J.; VERSTRATEN, J. M. Solute fluxes in throughfall and stemflow in four forest ecosystems in northwest Amazonia. **Biogeochemistry**, Department of Ecology and Evolutionary Biology The University of Kansas Lawrence, Kansas, USA. v. 70, n.1, p. 1-25, 2004.

VELTHORST, E. J.; BREEMEN, N. Changes in the composition of rainwater upon passage through the canopies of trees and of ground vegetation in a Dutch oak birch forest. **Plant and Soil**, v. 119, n.1. p. 81-85, 1989.

VITOUSEK, P. M. Nutrient cycling and use efficiency. **The American Naturalist**, v. 119, n. 4, p. 553-572, 1982.