

Balanço geoquímico em uma microbacia hidrográfica sob plantio de eucalipto

Daniela Queiroz Zuliani¹, Livia Botelho Abreu², Nilton Curi³, Sebastião Fonseca⁴, João José Marques^{3*}

Resumo

Por balanço geoquímico entende-se o registro e a quantificação das entradas e saídas de elementos químicos de um ecossistema. Com este trabalho, objetivou-se fornecer uma aproximação do balanço geoquímico de nutrientes em uma microbacia experimental situada no Município de Aracruz, Estado do Espírito Santo. Os dados foram obtidos por meio de medições de: precipitação, composição química da chuva, vazão no vertedouro, composição química da água do vertedouro, produção do eucalipto, composição química da madeira colhida e composição química dos adubos aplicados. Esses dados foram coletados e medidos regularmente de 1995 até 2003. Os teores de nutrientes na água da chuva foram bastante baixos. A retirada do eucalipto foi o principal fator de remoção de nutrientes da microbacia, destacando-se Ca, K e N. A colheita com descascamento no campo mostrou-se uma prática interessante, tanto do ponto de vista econômico como da sustentabilidade ambiental, por diminuir a remoção de nutrientes. Pode-se concluir que, do ponto de vista do balanço geoquímico de nutrientes, o manejo empregado no período estudado é bastante adequado, não havendo nem ganhos nem perdas expressivos de nenhum nutriente. A prática adotada de deixar a casca do eucalipto na área de plantio é altamente recomendada, favorecendo a ciclagem de nutrientes, que não são repostos via cinza de caldeira de biomassa, no caso de descasque em fábrica, permitindo economias na adubação.

Palavras-chave: Nutrientes. Bacia hidrográfica. Ciclo geoquímico

Geochemistry balance of eucalyptus plantation in a water catchments in Aracruz-ES

Abstract

This work aimed to provide an approximation of the geochemical balance of nutrients in the experimental watershed in Aracruz, State of Espírito Santo, Brazil, for three management strategies. Data were obtained by measuring the chemical composition of: precipitation, chemical composition of rain, the spillway flow, water chemistry of the spillway, eucalyptus production, chemical composition of the harvested wood, and chemical composition of the applied fertilizers. These data were collected and measured regularly from 1995 until 2003. The content of nutrients in the rainwater was always very low. Harvesting was the main factor of nutrient removal from the catchment, particularly for Ca, K, and N.

¹Professora da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Instituto de Desenvolvimento Rural

²Técnica em Laboratório Químico da Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciência do Solo

³Docente da da Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciência do Solo

⁴Pesquisador Sênior da Fibria Celulose S.A.

*Autor para correspondência: jmarques@dcsl.ufla.br

Recebido para publicação em 24 de novembro de 2015

Aceito para publicação em 25 de fevereiro de 2016

Barking out the trees in the field and leaving the barks in the field is an interesting practice not only from an economic point of view but also from an environmental sustainability standpoint. From the geochemical balance standpoint, the management applied seems to be very suitable as there are not significant gains nor losses of any nutrient, which points to an equilibrated condition. The adopted practice of leaving the bark of eucalyptus plantation in the field is highly recommended, promoting nutrient cycling and allowing fertilizer economy.

Keywords: Nutrients. Small catchment. Geochemical cycle.

Introdução

A grande demanda por produtos madeiros leva a um aumento progressivo de áreas florestais plantadas no Brasil (GATTO *et al.*, 2014). Só o plantio de eucalipto atingiu 5,1 milhões de hectares em 2012 (ABRAF, 2013). Isso porque, o eucalipto é uma planta extremamente adaptada a condições adversas. Porém, seu cultivo intensivo, com altas produtividades, por décadas seguidas em solos de fertilidade natural baixa faz com que adubações periódicas sejam necessárias, já que sua produção eleva a demanda sobre os recursos do solo, principalmente por água e nutrientes (BELLOTE; DEDECEK; SILVA, 2008). A sustentabilidade da produtividade de uma floresta é determinada, dentre outros fatores, pelo balanço de nutrientes no sistema solo-planta (SANTANA *et al.*, 2008).

Por ciclo geoquímico entende-se a entrada e saída de nutrientes que ocorrem num ecossistema. A biogeoquímica em um ecossistema florestal é complexa e essa depende da disponibilidade de nutrientes o qual ocorre por meio da interação entre a oferta por deposição atmosférica, intemperização de minerais, troca de cátions, adubações, chuvas e mineralização da matéria orgânica do solo e as saídas, por imobilização na vegetação, queima, volatilização, exploração florestal, erosão e lixiviação (CÂMARA; LIMA; VIEIRA, 2000; LACLAU *et al.*, 2010). Um aumento significativo dessas perdas pode ocorrer por meio da exportação de biomassa, como é o caso da colheita florestal (CÂMARA; LIMA; VIEIRA, 2000; VITAL *et al.*, 1999). A retirada de grandes volumes de madeira, sem devolver ao solo os minerais nela contidos como normalmente ocorre pela decomposição de árvores caídas, contribui, sem dúvida, para o empobrecimento do solo, já que o teor de nutrientes estava limitado por milênios de lixiviação e erosão geológicas. Quanto mais os elementos vitais forem mantidos dentro de uma área, tanto menos material externo será necessário.

As perdas por lixiviação em sistemas florestais tendem a ser bastante variáveis. Certos elementos, como o P, são fortemente retidos pelos colóides do solo, não sendo removidos com facilidade pela água de percolação. Ao contrário do P, elementos como Ca, Mg, K e provavelmente Zn são facilmente perdidos por lixiviação, principalmente nas fases iniciais do povoamento florestal (REIS; BARROS, 1990). Essa lixiviação é tanto mais séria quanto menor a Capacidade de Troca de Cátions (CTC) do solo. Quando à baixa CTC do solo somam-se altas precipitações e adubações mais pesadas, as perdas de nutrientes catiônicos atingem valores dramáticos. Em um experimento de campo com mudas de *E. saligna*, sob condições tropicais com alta precipitação ($>3500 \text{ mm ano}^{-1}$), no Havaí, mesmo havendo um aporte de $220 \text{ kg Ca ha}^{-1}$ via adubação, foram encontradas $380 \text{ kg Ca ha}^{-1}$ de perdas por lixiviação em 32 meses (BINKLEY; BURNHAN; ALLEN, 1999). No Brasil, foram encontradas perdas, ocorridas durante 16 meses, de 750 kg ha^{-1} de Ca e 50 kg ha^{-1} de Mg, para Latossolos Amarelos cultivados em Manaus-AM (CAHN *et al.*, 1993). Já os estudos de Laclau *et al.* (2010) mostram que as perdas por lixiviação em plantios de eucalipto são pouco expressivas.

Em povoamentos de eucalipto, que tipicamente recebem baixas doses de adubos nitrogenados, é muito pouco provável que o NO_3^- lixiviado venha a constituir-se num problema ambiental. No entanto, sistemas florestais, por permanecerem instalados vários anos, dependem largamente da ciclagem de nutrientes aportados ao solo por meio das folhas e galhos. Embora seja incerto se o principal mecanismo de perdas de NO_3^- é a lixiviação ou a volatilização, o certo é que essas perdas ocorrem e podem diminuir a produtividade das florestas, implicando na necessidade de maiores adubações para manutenção da produtividade.

Em um estudo sobre a biogeoquímica de uma microbacia em São Paulo, foi constata-

do que o monitoramento da biogeoquímica, no nível da microbacia, possibilita uma visão integrada e sistêmica do balanço de nutrientes ao longo das sucessivas rotações florestais (VITAL *et al.*, 1999). Essa informação sem dúvida é relevante do ponto de vista da sustentabilidade, uma vez que diz respeito à manutenção de um de seus aspectos mais importantes, que é a produtividade do sítio.

Estudos realizados no Congo e no Brasil, destacaram o papel predominante dos ciclos biológicos e bioquímicos durante o ciclo dos nutrientes em plantações de eucalipto (LACLAU *et al.*, 2010). Nesse trabalho, um dos fatores observados foi que a entrada de nutrientes por intemperização mineral e fixação biológica de

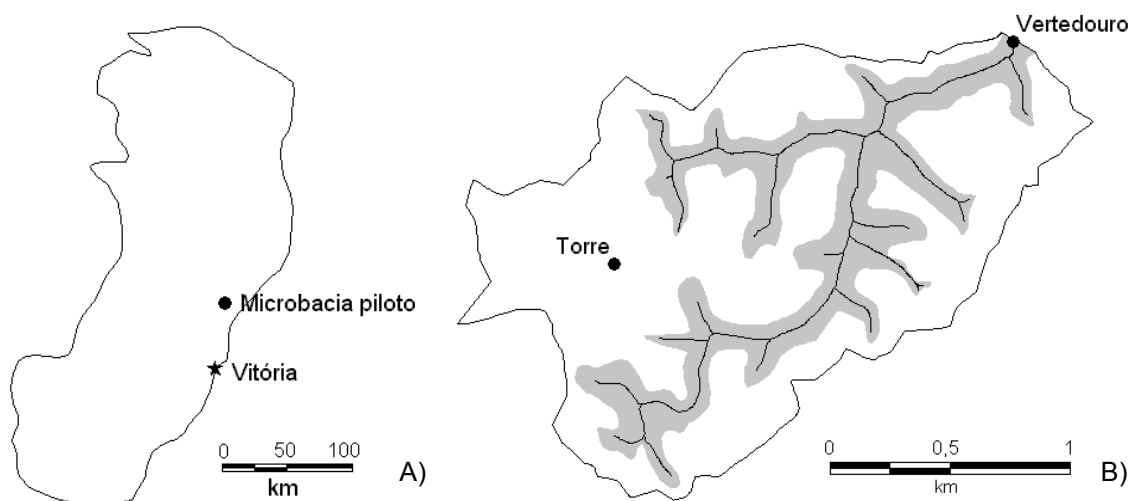
nitrogênio é desprezível e há baixa perda de nutrientes por escoamento superficial e drenagem.

Conduziu-se este trabalho com o objetivo de fornecer uma aproximação do balanço geoquímico de nutrientes em uma microbacia experimental no Estado do Espírito Santo, cultivada com eucalipto, durante um período de 6,5 anos.

Material e métodos

A microbacia experimental, com área de 286,12 ha, sendo 189 ha sob plantio de eucalipto (Figura 1), situa-se no Município de Aracruz, na mesorregião litoral norte (19°51'16" a 19°52'18" S e 40°13'15" a 40°11'44" W) do Estado do Espírito Santo.

Figura 1 - Mapa do Estado do Espírito Santo (A) com a capital estadual e a localização da microbacia experimental; e mapa da microbacia experimental (B) com a localização do vertedouro, da torre de coleta de dados climáticos e das linhas de drenagem. Por ocasião do estudo, toda a microbacia encontrava-se plantada com eucalipto, com exceção das áreas marcadas em cinza, as quais estavam sob vegetação nativa.



Fonte: Elaborada pelos autores, 2015.

Os dados foram obtidos por meio de medições de: precipitação, composição química da chuva, vazão no vertedouro, composição química da água do vertedouro, produção do eucalipto, composição química da madeira colhida e composição química dos adubos aplicados. Esses dados foram coletados e medidos regularmente de 1995 a 2003.

Os adubos utilizados no local e os valores referentes aos nutrientes adicionados pela adubação podem ser visualizados na Tabela 1.

Para a quantificação dos nutrientes que

entraram na microbacia via precipitação pluviométrica, foram utilizados os teores de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Mn, Cu e Zn) obtidos nas análises da água da chuva para os anos de 1995 e 1996, realizadas em cada evento de precipitação ocorrido. Durante esse período, a água da chuva foi coletada em pluviômetro posicionado a 37 m de altura do solo e acima do dossel, no topo de uma torre metálica instalada na microbacia (NEVES, 2000). Posteriormente, de 1995 a 2003, cada evento de precipitação foi quantificado por pluviômetros instalados na área e os resultados de 1995 e 1996 extrapolados

para os demais anos. Como foram realizadas análises de água da chuva somente nos anos de 1995 e 1996, fez-se uma média ponderada

dos teores de nutrientes desses dois anos e esses valores foram assumidos para os demais anos avaliados por este trabalho.

Tabela 1 - Quantidade de adubos aplicada e teores dos nutrientes em cada fertilizante (out/96 a mar/03) em uma microbacia experimental em Aracruz-ES, com área plantada de 189 ha (área total = 286,12 ha).

	Super-fosfato triplo	Cloreto de potássio	Lama de cal	Fosfato natural reativo	Cinza de caldeira	NPK 10-00-30	Sulfato de amônio
Total aplicado (t)	63,35	44	131,8	23,09	117	16,4	1,75
	g kg ⁻¹						
N	-	-	-	-	-	100	200
P	179	-	1,04	122,2	3,4	-	-
K	-	481,2	0,8	-	31	300	-
Ca	130	-	420	320	198,2	-	-
Mg	-	-	1,9	-	18	-	-
S	-	-	0,3	-	9,2	-	230
B	-	-	0,01	-	0,11	-	-
Fe	-	-	0,53	-	7	-	-
Mn	-	-	0,05	-	0,87	-	-
Cu	-	-	-	-	-	-	-
Zn	-	-	0,001	-	0,064	-	-

Fonte: ARACRUZ, (2001).

De acordo com levantamento hidro-geológico realizado (ARACRUZ, 2001), do ponto de vista hidrológico, a microbacia experimental consiste num ambiente semifechado em que a única saída d'água é no ponto onde foi instalado o vertedouro. Esse vertedouro foi construído de modo a forçar a água de subsuperfície a aflorar. Dessa forma, suas medições representam, com bastante aproximação, o somatório de nutrientes perdidos via escoamento superficial e lixiviação.

As amostras de águas superficiais foram coletadas mensalmente (1996-2003), quando o nível d'água assim o permitiu, junto ao vertedouro, para a quantificação de elementos removidos através do fluxo hídrico. As vazões foram medidas de 30 em 30 minutos com linígrafo. Para a quantificação dos nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Mn, Cu e Zn) perdidos pela água que escorre através do vertedouro, foram utilizados os teores de nutrientes apresentados na análise química da água multiplicados pela vazão média mensal no vertedouro.

Os dados referentes à exportação de nu-

trientes por colheita são para árvores com plantio realizado em outubro/1996 a fevereiro/1997 e colheita em julho/2002. A densidade média de plantio por ocasião do corte foi de 1050 plantas ha⁻¹. Os métodos analíticos para seleção e abatimento das árvores seguiram a metodologia descrita em Neves (2000). Essas árvores colhidas experimentalmente tinham cerca de 5,5 anos de idade e tiveram os teores de nutrientes analisados em seus diversos compartimentos (folha, casca e lenho).

Para obter-se a quantidade de nutrientes exportada pela colheita, foi necessário antes estimar a massa de eucalipto colhida, tronco e lenho, aos 6,5 anos. Para isso, foram realizadas regressões lineares entre as massas do lenho e do tronco e a idade do plantio; isto é, com base na taxa de crescimento anual, estimou-se a massa seca exportada. Para essa estimativa, foram usados dados (n = 12) coletados conforme Neves (2000). A massa colhida de lenho e tronco foi estimada por meio das equações $y = 22,03x - 37,63$ para lenho e $y = 24,53x - 41,01$ para tronco, ambas com $r^2 = 0,93$, onde

x é a idade do plantio, em anos, e y é a massa seca, em t ha⁻¹.

As determinações dos nutrientes K, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, Mn, S e B foram realizadas por espectrometria de emissão ótica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES), seguindo os métodos estabelecidos em APHA (1989). Nitrato foi determinado pelo método espectrofotométrico ultravioleta a 220 nm, e NH₄⁺, por espectrometria (630 nm) pelo método azul de indofenol. O P total foi determinado por ICP-OES e pelo método do ácido ascórbico (APHA, 1989).

Tabela 2 - Teores médios de nutrientes na água (chuva e vertedouro) e na planta colhida (lenho e casca) e quantidade de nutrientes adicionada via adubação (out/96 a mar/03) em uma microbacia experimental em Aracruz-ES.

Nutriente	Água		Teor na planta		Adição via adubação kg ha ⁻¹
	Chuva mg L ⁻¹	Vertedouro	Lenho g kg ⁻¹	Casca g kg ⁻¹	
N	1,5	7,42	2	4	7
P	0,024	0,26	0,1	0,5	51
K	0,6	1,95	0,9	0,4	101
Ca	0,2	1,8	0,9	27	329
Mg	0,1	1,38	0,1	5	8
S	0,9	2,53	0,2	1	5
mg kg ⁻¹					
B	0,005	0,02	4	14	0,05
Fe	0,010	1,03	13	39	3,11
Mn	0,003	0,02	8	200	0,38
Cu	0,003	0,01	2	4	0
Zn	0,006	0,03	3	13	0,03

Fonte: Elaborada pelos autores, 2015.

Apesar de autores inferirem que a pluviosidade é uma importante fonte de entrada de elementos químicos no sistema (CALIL *et al.*, 2010), foram observados neste estudo teores de nutrientes na água da chuva bastante baixos. Destacam-se valores mais altos de N (1,5 mg L⁻¹) e S (0,9 mg L⁻¹), podendo ser atribuídos à proximidade (<10 km) do centro urbano (e industrial) de Aracruz-ES, da Grande Vitória-ES (<100 km) e também do oceano (<15 km). Segundo Moreira-Nordemann; Girard; Poppi (1997), o oceano é uma importante fonte de SO₄²⁻ para a atmosfera. A microbacia em estudo situa-se a 14 km do oceano. Portanto, sofre grande influência marítima na adição de S via precipitação. No caso do N, como a adubação foi pequena, a contribuição via precipitação pluviométrica pode ser muito significativa. A quantidade precipitada foi 2,65 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N-NO₃⁻ e 2,6 kg ha⁻¹ ano⁻¹

Resultados e discussão

Ciclagem geoquímica de nutrientes

No período de outubro/1996 a março/2003, a precipitação média anual foi de 1.157 mm e a vazão média no vertedouro foi de 3,1 L s⁻¹. Os teores médios de nutrientes na água da chuva (entrada), no vertedouro (saída) e no lenho colhido (saída), assim como a quantidade de nutrientes adicionada via adubação (entrada) estão na Tabela 2.

¹ de N-NH₄⁺.

Para todos os nutrientes, as concentrações da precipitação apresentam-se muito próximas da faixa encontrada em duas microbacias no Vale do Paraíba-SP (RANZINI; LIMA, 2002). As concentrações médias de nutrientes em água da chuva encontrada por esses autores foram (mg kg⁻¹): P = 0,023; K = 0,49; Ca = 0,35; Mg = 0,12 e N = 2,1. No entanto, Calil *et al.* (2010), encontraram valores bem mais elevados para a região do Rio Grande do Sul, como 68,0 kg ha⁻¹ de N, 34,7 kg ha⁻¹ de K, 22,8 kg ha⁻¹ de Ca, 21,1 kg ha⁻¹ de S, 17,8 kg ha⁻¹ de P e 7,2 kg ha⁻¹ de Mg. Os altos valores, comprados com o atual trabalho, talvez se justifiquem pelo fato de que na região a precipitação média anual foi maior (1588mm) do que a obtida neste trabalho. Mesmo assim os teores nas águas pluviais eram

superiores

Pelos dados, também se verifica que as perdas de nutrientes por lixiviação e erosão são baixas (vertedouro, TABELA 2). Isso está de acordo com medições feitas em outro trabalho nessa mesma microbacia que mostrou que perdas de solo em parcelas com eucalipto ($1,2 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) estão bem abaixo dos limites de tolerância estimados para os solos da região o mesmo acontecendo com as perdas de água (MARTINS *et al.*, 2003).

As concentrações médias de todos os nutrientes nas águas do vertedouro mostram-se superiores às da precipitação. Esse mesmo comportamento foi observado para K, Ca, Mg e Fe no Vale do Paraíba, em São Paulo (RANZINI; LIMA, 2002). Porém, esses autores encontraram concentrações de N e P maiores na água da chuva do que na água que escoava da microbacia por eles estudada.

A colheita é o principal fator de remoção de nutrientes desta microbacia, destacando-se Ca, Mg, N e K. A maior parte do N nesse ecossistema é suprida pela precipitação (TABELA 2), embora a adubação continue sendo necessária, pois a chuva nem sempre fornece N na quantidade e na ocasião que o eucalipto mais necessita. Tendo em vista que a quantidade de Ca suprida pela chuva é muito pequena, justifica-se plenamente a adubação com Ca.

Os teores de nutrientes na água do vertedouro estão coerentes com os normalmente encontrados em condições similares, com exceção dos teores de N e P, os quais apresentaram-se, com base em dados de outras regiões, acima do que seria esperado; como exemplo, em uma microbacia em Guaíra-SP, os teores médios encontrados para o P foram de $0,044 \text{ mg L}^{-1}$ (TOLEDO; NICOLELLA, 2002).

O teor de nutrientes no lenho também foi baixo, o que é positivo, pois significa que poucos nutrientes são exportados da área por ocasião da colheita. Exceções para o N, Ca e K, que se acham bastante enriquecidos no lenho, sendo essa uma característica fisiológica das plantas de eucalipto.

Em estudos com eucalipto, o teor de nutrientes encontrados por Vital *et al.* (1999) no lenho e na casca foram, em g kg^{-1} , 0,7 para N, 0,2 P, 1,1 K, 1 Ca, 0,3 Mg e 0,1 S no lenho e 2,1 N, 0,9 P, 3,8 K, 33,4 Ca, 3,9 Mg e 0,5 para

S na casca. Dessa maneira, fica claro que as saídas de P, K, Ca e Mg por meio da exploração florestal foram muito menores na microbacia estudada no presente trabalho. Já no lenho de eucaliptos plantados no Distrito Federal, os teores de nutrientes encontrados foram também bem baixos: $1,73 \text{ g kg}^{-1}$ de N, $0,23 \text{ g kg}^{-1}$ de P, $0,34 \text{ g kg}^{-1}$ de K, $0,2 \text{ g kg}^{-1}$ de Ca, $0,03 \text{ g kg}^{-1}$ de Mg e $0,43 \text{ g kg}^{-1}$ de S (GATTO *et al.*, 2014).

Balanço geoquímico de nutrientes

Multiplicando-se os dados mostrados na Tabela 2 pela quantidade de chuva precipitada, pela quantidade de água vertida para fora da microbacia e pela quantidade de lenho removido da área, obtém-se o balanço geoquímico de nutrientes na microbacia estudada. Deve-se notar que esse balanço e os dados nele contidos aplicam-se à microbacia como um todo (189 ha plantados com eucalipto e 97 ha com vegetação nativa). Certas práticas, como colheita e adubação, só são feitas na área plantada e não anualmente, o que foi devidamente levado em consideração neste estudo.

Para avaliar como algumas estratégias de manejo alteram o balanço geoquímico, são apresentadas e discutidas três situações abaixo. Deve ser lembrado que, em todas essas três situações, o manejo geral, incluindo adubação básica, foi o mesmo.

Situação 1: exportação do tronco da área de colheita e entrada de nutrientes via cinza da caldeira de biomassa e lama de cal. A situação 1 é uma simulação do que ocorreria caso o descascamento do tronco não fosse feito no campo.

Situação 2: exportação apenas do lenho da área de colheita, sem entrada de nutrientes via cinza de caldeira de biomassa e lama de cal. A situação 2 é uma estimativa do que ocorreria, caso o descascamento fosse realizado no campo mas não fossem adicionadas cinzas de caldeira de biomassa.

Situação 3: exportação apenas do lenho da área de colheita e entrada de nutrientes via cinza de caldeira de biomassa e lama de cal. A situação 3 é a situação real que ocorreu na microbacia experimental, no período estudado, que recebeu cinzas de caldeira de biomassa.

A Tabela 3 ilustra o balanço geoquímico de macro e micronutrientes referentes à situ-

ação 1. Nota-se que o balanço geoquímico assume valores positivos para P, Ca, K, S, Fe, Cu e Zn.

Na situação 1, a retirada da casca da

área torna o saldo negativo para N, Mg, B e Mn, visto que essa é a parte da planta enriquecida com esses nutrientes. Esses dados mostram a importância do descascamento no campo pois isso favorece a ciclagem de nutrientes.

Tabela 3 - Balanço geoquímico dos macro e micronutrientes na microbacia experimental em Aracruz-ES (média de out/96 a mar/03). Os valores referem-se à exportação do tronco e entrada de cinza de caldeira de biomassa.

		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Fe	Mn	Cu	Zn
		kg ha ⁻¹ ano ⁻¹						g ha ⁻¹ ano ⁻¹				
Entrada	Precipitação	15,2	0,3	5,0	1,6	1,4	9,4	46	111	27	30	79
	Adubação	1,1	7,9	15,6	50,6	1,3	0,8	8	478	58	0	4
Saída	Vertedouro	2,2	0,1	0,5	0,6	0,5	0,9	24	163	6	6	7
	Tronco	27,2	2,3	16,0	46,2	8,0	2,6	62	196	36	22	51
	Saldo	-13,1	5,8	4,0	5,4	-5,8	6,7	-33	230	-282	2	26

Fonte: Elaborada pelos autores, 2015.

O balanço geoquímico apresentado para a situação 2 (TABELA 4), para todos os nutrientes, assume valores de saldo positivos superiores aos da situação 1, principalmente para os nutrientes que se apresentam em maior teor na casca, como o Ca, Mg, N, K e Mn (TABELA 2). Destacam-se os valores positivos superiores do balanço representado na situação 1 para o Ca, que passa a ser cinco vezes superior, o N 1,7, o Mg 9,6, o Mn 4,5, K 2 e apenas o Fe passa a ser 2,5 vezes inferior. A quantidade de Fe diminui devido à não entrada desse nutriente via cinza de caldeira de biomassa, já que, na situação 1, a entrada era de 478 g ha⁻¹ ano⁻¹ e passa a ser 38 g ha⁻¹ ano⁻¹ na situação 2.

O descascamento no campo recomendado por Neves (2000) é uma forma de não se perder nutrientes como Ca e Mg que existem em grandes quantidades na casca, facilitando, assim, a ciclagem de nutrientes. Portanto, à exceção do Fe, a prática de manejo representada pela situação 2, recomendada por Neves (2000) para essa microbacia, bem como por Câmara; Lima; Vieira (2000), Ranzini; Lima (2002) e Vital *et al.* (1999) em outras microbacias sob plantio de eucalipto, é uma alternativa que tende a reduzir as saídas de nutrientes da área, visando uma melhor produtividade e sustentabilidade, além da diminuição dos gastos com adubação.

Tabela 4 - Balanço geoquímico dos macro e micronutrientes na microbacia experimental em Aracruz-ES (out/96 a mar/03). Os valores referem-se à exportação apenas do lenho e sem entrada de cinza da caldeira de biomassa.

		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Fe	Mn	Cu	Zn
		kg ha ⁻¹ ano ⁻¹						g ha ⁻¹ ano ⁻¹				
Entrada	Precipitação	15,2	0,3	5,0	1,6	1,4	9,4	46	111	27	30	79
	Adubação	1,1	7,7	13,6	38,2	0,1	0,2	1	38	4	0	0
Saída	Vertedouro	2,2	0,1	0,5	0,6	0,5	0,9	24	163	6	6	7
	Tronco	21,6	1,6	10,7	9,8	1,6	1,8	43	142	87	17	33
	Saldo	-7,6	6,2	7,4	29,5	-0,6	6,9	-20	-156	-63	7	39

Fonte: Elaborada pelos autores, 2015.

Na Tabela 5 observa-se o balanço geoquímico de macro e micronutrientes referentes à situação 3. Esse balanço é a aproximação do que ocorreu na microbacia estudada, já que

essa recebeu nutrientes via cinza da caldeira de biomassa e, mesmo situando-se próxima à fábrica de processamento, o descascamento foi realizado em campo.

Tabela 5 - Balanço geoquímico dos macro e micronutrientes na microbacia experimental em Aracruz-ES (out/96 a mar/03). Os valores referem-se à exportação apenas do lenho e entrada de cinza da caldeira de biomassa.

		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Fe	Mn	Cu	Zn
		kg ha ⁻¹ ano ⁻¹					g ha ⁻¹ ano ⁻¹					
Entrada	Precipitação	15,2	0,3	5,0	1,6	1,4	9,4	46	111	27	30	79
	Adubação	1,1	7,9	15,6	50,6	1,3	0,8	8	478	58	0	4
Saída	Vertedouro	2,2	0,1	0,5	0,6	0,5	0,9	24	163	6	6	7
	Tronco	21,6	1,6	10,7	9,8	1,6	1,8	43	142	87	17	33
Saldo		-7,6	6,5	9,4	41,8	0,6	7,4	-13	284	-9	7	43

Fonte: Elaborada pelos autores, 2015.

O balanço geoquímico na situação 3 assume os valores bastante positivos em relação às estimativas feitas para as situações 1 e 2. O balanço final para a maioria dos nutrientes oscila entre -7,6 kg N ha⁻¹ ano⁻¹ e 41,8 kg Ca ha⁻¹ ano⁻¹, para os macronutrientes, e -13 g B ha⁻¹ ano⁻¹ e 284 g Fe ha⁻¹ ano⁻¹, para os micronutrientes. Isso é positivo, pois significa que a microbacia não foi exaurida em nutrientes e sim ligeiramente enriquecida para a maioria dos elementos estudados. Contudo, esse enriquecimento é bastante reduzido, o que também é positivo. Um grande enriquecimento de nutrientes nesse ecossistema significaria não só um desperdício de insumos, como também aumentaria as chances de haver problemas futuros de eutrofização dos cursos d'água, entre outros possíveis impactos ambientais.

Os valores obtidos para o balanço geoquímico apresentado na situação 3 são positivos e superiores aos encontrados por Câmara; Lima; Vieira (2000), que consideraram apenas a entrada via precipitação, saídas via lenho e deflúvio numa microbacia em Itatinga-SP. Esses autores encontraram um saldo de -8,1 kg K ha⁻¹ ano⁻¹, -10,5 kg Ca ha⁻¹ ano⁻¹ e -5,9 kg Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Os valores referentes ao saldo na microbacia estudada para esses três nutrientes foram 2; 4,9 e 1,1 vezes superiores. As perdas de P por lixiviação e erosão representadas pelas saídas no vertedouro (0,1 kg P ha⁻¹ ano⁻¹) são baixas, sendo o mesmo observado por Mackensen; Fölster (2000). Contudo, o mesmo não acontece para N, pois a microbacia aqui estudada perdeu

pouco nitrogênio (2,2 kg ha⁻¹ ano⁻¹) comparado aos 12 kg ha⁻¹ ano⁻¹ verificados por esses mesmos autores. Gatto *et al.* (2014) avaliando o cenário do balanço de nutrientes após a colheita, observaram um resultado em saldo positivo, confirmando a tese de que o balanço final, para a maioria dos nutrientes, é positivo. Isso permite a afirmativa de que os plantios de eucalipto, quando corretamente manejados, não exaurem o solo, podendo sim beneficiá-lo.

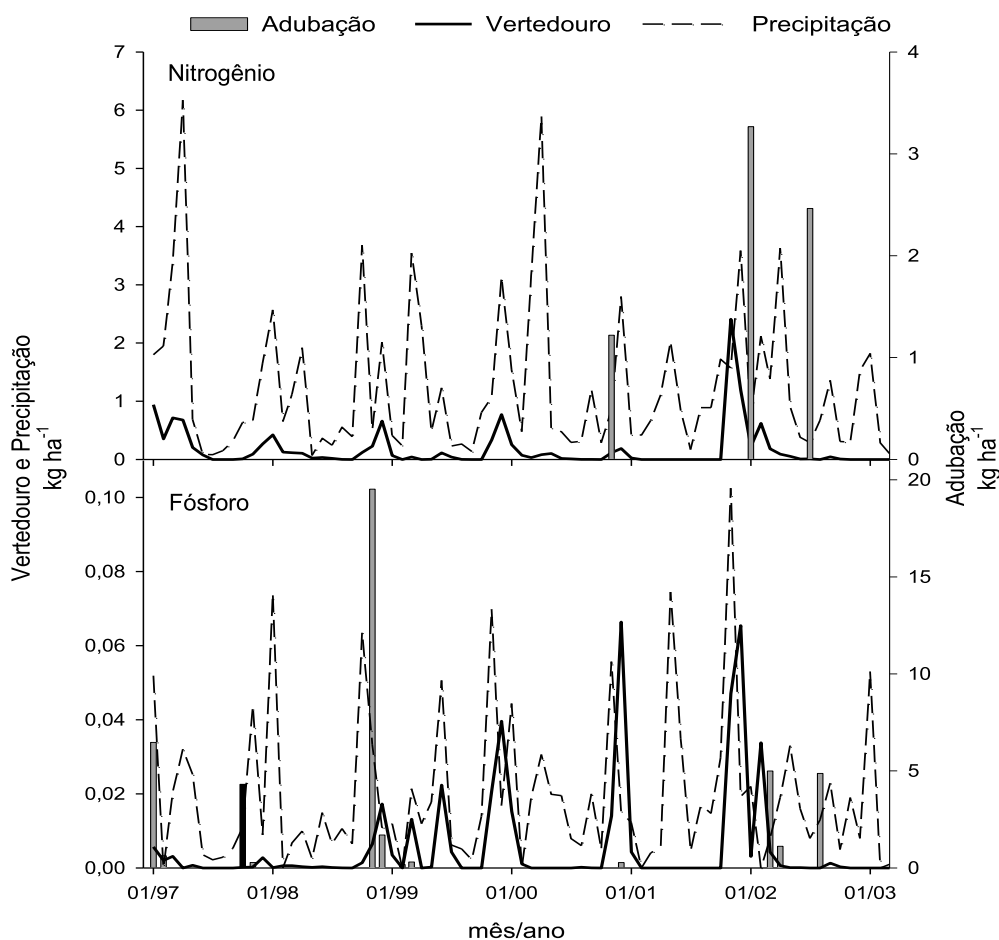
Com o intuito de tentar esclarecer melhor quais os motivos dos altos teores de N e P nas águas superficiais da microbacia estudada foi feita uma comparação entre os teores de N e P no vertedouro e o aporte desses nutrientes na microbacia por meio da chuva e de adubações (FIGURA 2). As adubações de N na microbacia só foram feitas a partir de novembro de 2000, enquanto picos de saídas expressivos de N da microbacia foram detectados desde janeiro de 1997. Pelos dados, constata-se que o teor de N no vertedouro segue aproximadamente os aportes oriundos da chuva, embora num patamar mais baixo. Ou seja, meses em que há maior aporte de N via precipitação são seguidos por meses de maior teor de N na água do vertedouro.

Aumentos na entrada de P via adubação não foram seguidos diretamente por um maior teor de P na água do vertedouro. Contudo, em alguns períodos após chuvas elevadas, verifica-se um aumento na saída de P através do vertedouro, provavelmente por uma questão de

arraste superficial de partículas ricas em P para o curso d'água. Assim, o teor de P na água do vertedouro não está diretamente correlacionado à adubação fosfatada (TABELA 2), o que é positivo. É provável que a água da chuva esteja aumentando a intensidade de algum processo natural (decomposição da matéria orgânica, redução de óxidos de Fe e carreamento de partículas de solo, por exemplo) e, com isso, trazendo

P de outros compartimentos do ecossistema (liteira ou fração mineral do solo, por exemplo) para o curso d'água. Em apoio a essa hipótese, deve ser ressaltado também que K e Ca são nutrientes muito mais móveis e lixiviáveis no solo e são aplicados, via fertilizantes, em muito maior quantidade que o P. Mesmo assim, no entanto, sua saída pelo vertedouro pode ser considerada pequena ($\sim 2 \text{ mg L}^{-1}$ de K e Ca).

Figura 2 - Distribuição mensal (dez/96 a mar/03) das entradas (adubação e precipitação) e saída (vertedouro) de N e P da microbacia experimental em Aracruz-ES.



Fonte: Elaborada pelos autores, 2015.

Conclusão

Do ponto de vista do balanço geoquímico de nutrientes, o manejo empregado no período estudado é bastante adequado, não havendo nem ganhos nem perdas expressivos de nenhum nutriente, o que caracteriza uma condição de equilíbrio próxima do ideal.

A prática adotada durante o período de

estudo, deixar-se a casca do eucalipto na área de plantio, favorece a ciclagem de nutrientes que não são inteiramente repostos via cinza de caldeira de biomassa, permitindo economia na adubação.

Embora ainda incipientes, pelas evidências, infere-se que os teores encontrados de N e P nas águas do vertedouro têm causas naturais, o que deve ser estudado mais detalhadamente.

Referências

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 17. ed. Washington, 1989.
- ARACRUZ CELULOSE. **Projeto microbacia**: um laboratório ao ar livre para o estudo do eucalipto. Aracruz: Aracruz. 2001. CD-ROM.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DEFLORESTAS PLANTADAS - ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF 2013**, ano base 2012. Brasília, 2013. 148p.
- BELLOTE, A. F. G.; DEDECEK, R. A.; SILVA, H. D. Nutrientes minerais, biomassa e deposição de serapilheira em plantios de Eucalyptus com diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 56, p. 31-41, 2008.
- BINKLEY, D.; BURNHAN, H.; ALLEN, H. L. Water quality impacts of forest fertilization with nitrogen and phosphorus. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 121, n. 1/3, p. 191-213, 1999.
- CAHN, M. D., *et al.* Cation and nitrate leaching in an Oxisol of the Brazilian Amazon. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, n. 2, p. 334-340, 1993.
- CALIL, F. N., *et al.* Ion input via rainwater in the southwestern region of Rio Grande do Sul, Brazil. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 3, p. 373-380, 2010.
- CÂMARA, C. D.; LIMA, W. P.; VIEIRA, S. A. Corte raso de uma plantação de Eucalyptus saligna de 50 anos: impactos sobre a ciclagem de nutrientes em uma microbacia experimental. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 59, p. 99-109, 2000.
- GATTO, A. *et al.* Ciclagem e balanço de nutrientes no sistema solo-planta em um plantio de Eucalyptus Sp., no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n.2, p. 879-887, 2014.
- LACLAU, J.P. *et al.* Biogeochemical cycles of nutrients in tropical Eucalyptus plantations main features shown by intensive monitoring in Congo and Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, n.9, p. 1771-1785, 2010.
- MACKENSEN, J.; FÖSLTER, H. Cost-analysis for a sustainable nutrient management of fast growing-tree plantations in East-Kalimantan, Indonesia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 131, n. 1/3, p. 239-253, 2000.
- MARTINS, S.G. *et al.* Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na Região de Aracruz (ES). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 395-403, 2003.
- MOREIRA-NORDEMANN, L. M.; GIRARD, P.; POPPI, N. R. Química da precipitação atmosférica na cidade de Campo Grande - MS. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 35-44, 1997.
- NEVES, J. C. L. **Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo**. 2000. 191 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes.
- RANZINI, M.; LIMA, W. P. Comportamento hidrológico ,balanço de nutrientes e perdas de solo em duas microbacias reforestadas com Eucalyptus, no Vale do Paraíba, SP. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 61, p. 144-159, 2002.
- REIS, M. G. F.; BARROS, N. F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p. 265-301.
- SANTANA, R. C., *et al.* Alocação de nutrientes em plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2723-2733, 2008.
- TOLEDO, L. G.; NICOLELLA. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n. 1, p. 181-186, 2002.
- VITAL, A. R. T., *et al.* Biogeoquímica de uma microbacia após corte raso de uma plantação de eucalipto de 7 anos de idade. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 55, p. 17-28, 1999.