



ARTIGO ORIGINAL

Daniela Ribeiro Martins¹
Otávio Antônio de Camargo²
Leônidas Carrizo Azevedo Melo³
Victor Sanches Ribeirinho^{2*}
Cristiano Alberto de Andrade⁴

Estado nutricional de cafeeiros comerciais após aplicações de lodo de esgoto como condicionador do solo

Nutritional status of commercial coffee crop following the application of sewage sludge as a soil conditioner

¹ Expurga Guaçu Ltda, Rua Barão de Guaxupé, 144, Centro, 37800-000, Guaxupé, MG, Brasil
² Instituto Agronômico de Campinas, Av. Barão de Itapira, 1481, Botafogo, 13020-902, Campinas, SP, Brasil
³ Universidade Federal de Lavras, Campus Universitário, 37200-000, Lavras, MG, Brasil
⁴ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Rodovia SP 340, KM 127,5, S/N - Tanquinho Velho, 13820-000, Jaguariúna - SP, Brasil

*Autor Correspondente:

E-mail: victor.ribeirinho@gmail.com

PALAVRAS-CHAVE

DRIS
Coffea arabica
Manejo do solo
Diagnose foliar

KEYWORDS

DRIS
Coffea arabica
Soil management
Leaf analysis

RESUMO: O lodo de esgoto apresenta potencial para uso na cultura do café pois é rico em matéria orgânica e nutrientes, principalmente nitrogênio, fósforo e alguns micronutrientes como o zinco, atuando também como condicionador de solo. O objetivo com este trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de lodo de esgoto sobre a fertilidade do solo, o estado nutricional do cafeeiro e produtividade em uma plantação comercial de café. O trabalho foi realizado em uma fazenda comercial com a variedade de café Acaiá IAC-474, já em produção, durante dois anos agrícolas. Os talhões foram agrupados conforme as doses e frequências de aplicação de lodo de esgoto. Foram coletadas amostras de solo para análise de fertilidade e amostras de folhas para diagnose foliar e cálculo do DRIS. Os atributos químicos do solo (exceto o enxofre), bem como os teores de nutrientes nas folhas, estiveram dentro de níveis normalmente encontrados para a cultura do café, independentemente das doses de lodo de esgoto usadas. Estes resultados sugerem a possibilidade de uso deste produto como condicionador de solo na cafeicultura.

ABSTRACT: The sewage sludge presents a potential for use in the coffee crop since it is rich in organic matter and nutrients, especially nitrogen, phosphorus and some micronutrients such as zinc, also acting as a soil conditioner. This work aimed to evaluate the effect of sewage sludge on soil fertility, nutritional status of coffee and productivity in coffee cultivated in commercial sites. The experiment was conducted in Acaiá IAC-474 coffee crop, under production, for two agricultural years. Soil samples and coffee leaves were collected for analysis of soil fertility, leaf analysis and calculation of Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS). The soil chemical attributes as well as the concentrations of nutrients in the leaves were within normal levels found for coffee culture in all sewage sludge doses. These results suggest the possibility of using this product as a soil conditioner in coffee culture.

1 Introdução

A cultura do café é bastante exigente em nutrientes, extraindo e exportando do solo quantidades variáveis deles de um ano para outro, em decorrência da bienalidade de produção (Farnezi et al., 2009). O uso de resíduos orgânicos na cultura do café tem grande importância na medida em que promove o fornecimento de nutrientes e melhora as propriedades químicas do solo (Pavan, 1993). Existem diversos materiais orgânicos que podem ser utilizados como fertilizantes ou condicionadores, sendo que a composição química destes produtos depende do tipo e origem do material (Ribeiro et al., 1999).

O lodo de esgoto (LE), quando devidamente higienizado e estabilizado, possui um grande potencial de uso na agricultura, por ser rico em matéria orgânica e nutrientes, principalmente nitrogênio, fósforo e alguns micronutrientes como o zinco, atuando também como condicionador de solo (Bettiol & Camargo, 2006). Entretanto, o LE pode apresentar características indesejáveis como a presença de metais pesados potencialmente tóxicos e patógenos, que precisam ser devidamente estudados para evitar problemas de contaminação (Bettiol & Camargo, 2006).

No Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente aprovou em 2006 a Resolução nº 375 que define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto sanitário e seus produtos derivados, definindo limites para substâncias potencialmente tóxicas e critérios para liberação de uso do resíduo (Brasil, 2006).

A disposição de lodo de esgoto nos solos agrícolas, seja como fonte de nutrientes para as plantas ou como condicionador de solo, vem sendo bastante utilizada em vários países, constituindo um dos procedimentos mais adequados para a reciclagem deste resíduo (Coscione et al., 2010). O uso do lodo de esgoto não interferiu na qualidade do grão e da bebida de café em experimento de campo (Martins et al., 2005)

A nutrição adequada é um pré-requisito para o cafeeiro atingir produtividade elevada (Farnezi et al., 2009). O sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) vem tendo aplicação crescente na diagnose foliar para avaliar o estado nutricional do cafeeiro (Reis Junior et al., 2002; Partelli et al., 2006; Farnezi et al., 2009). Entretanto devido à interdependência entre os diversos nutrientes, os índices podem sofrer distorções prejudiciais à diagnose nutricional (Partelli et al., 2006).

O uso do lodo de esgoto na cultura do café pode complementar a adubação mineral, sendo fonte viável de micronutrientes e sem alterar a qualidade do produto final. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação de lodo de esgoto em plantação comercial de café, sobre a fertilidade do solo, estado nutricional e produção do cafeeiro.

2 Material e Métodos

O estudo foi realizado em propriedade comercial localizada no norte do Estado de São Paulo, no município de Patrocínio Paulista, numa altitude média de 870 m, latitude 20°33' S e longitude 47°17' W. O clima enquadra-se no tipo CWb de Köppen como subtropical, com verão ameno e inverno seco, com a temperatura média do mês mais frio abaixo de 18 °C e do mês mais quente abaixo de 22 °C e menos de 30 mm de chuvas no mês mais seco (Rolim et al., 2007).

A propriedade possui histórico sobre todas as operações de manejo e produtividade nos talhões. No total, são quarenta talhões monitorados anualmente com análise foliar, análise do solo, produtividade e doses de corretivos e fertilizantes usados. Os talhões estão implantados em encosta com solos num gradiente variando de Latossolo Vermelho eutroférico nas partes mais elevadas (talhões B), Latossolo Vermelho distrófico na meia encosta (talhões C e D) e Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, em sequência na encosta (talhões E e H) (Figura 1).

As amostragens foram realizadas por dois anos agrícolas em uma cultura comercial de café da variedade Acaia IAC-474 (*Coffea arabica*), plantada no espaçamento de 3,7 × 1,2 m, em talhões ocupando áreas que variam de 0,45 a 2,38 ha. Os talhões B1-B5, E1 e E2 têm 10 anos de implantação, enquanto que os talhões C5, C6, D5 e D6 possuem nove anos, os talhões H1-H5 possuem oito anos e os talhões E3 e E4 possuem seis anos (Figura 1).

Os lodos de esgoto utilizados foram provenientes da estação de tratamento de esgoto de Franca-SP, classificado como condicionador de solo, com a denominação comercial de Sabesfértil. Os teores de nutrientes e contaminantes nos lodos foram determinados após extração de acordo com o método EPA SW-846-3051 (Tabela 1) (USEPA 1986). As aplicações foram feitas mecanicamente mediante incorporação ao solo com um sulcador acoplado ao trator e carreta especial com rosca sem fim, a uma profundidade de 0-15 cm. No quarto ano, não houve aplicação de lodo de esgoto nos talhões.

Os talhões estudados foram agrupados de acordo com as doses aplicadas, durante 5 anos agrícolas, formando os tratamentos: 1 (talhões B2, B3, B4 e B5), sem aplicação de lodo; 2 (talhões C5 e C6); 3 (talhões D5 e D6); 4 (talhões E1 e E2);

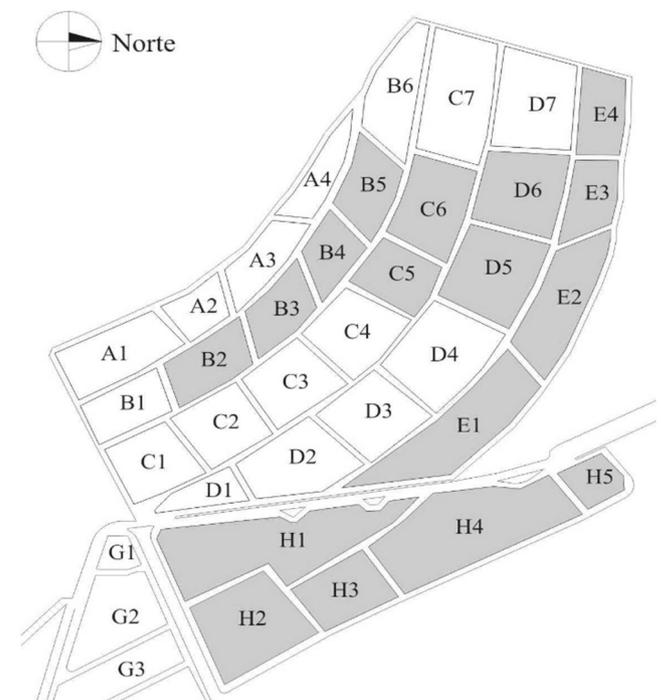


Figura 1. Croqui da área experimental.

Figure 1. Experimental field.

5 (talhões E3 e E4); e 6 (H1, H2, H3, H4 e H5) com diferentes doses e frequências de aplicação de lodo de esgoto (Tabela 2).

Todos os talhões receberam adubação mineral, em todos os anos, conforme a análise de solo e produtividade esperada, de acordo com a recomendação para o Estado de São Paulo (Raij et al., 1997). Nos talhões, foram realizadas calagem, adubação NPK (ureia, cloreto de potássio e superfosfato simples) e pulverizações foliares com Cu e Zn.

A amostragem de solo foi realizada no inverno do 4º ano, na faixa de solo em que foram aplicados os adubos (cerca de 2/3 na projeção da copa e 1/3 fora desta), a uma profundidade de 0-20 cm, coletando-se vinte subamostras por talhão, para compor uma amostra representativa da área (Raij et al., 1997). As amostras com aproximadamente 300 cm³ de solo foram secas ao ar, destorroadas, passadas em peneira de 2 mm e armazenadas em recipientes apropriados e devidamente identificados.

As análises químicas de solo foram realizadas de acordo com Raij et al. (2001). A matéria orgânica foi determinada pelo método colorimétrico do dicromato de sódio; pH foi medido em solução 0,01 mol L⁻¹ de CaCl₂ (relação 1:2,5); P, extraído pelo método da resina trocadora de ânions e determinado colorimetricamente pelo método do vanadato-molibdato; K, Ca,

Mg, extraídos com resina de troca iônica, sendo o K determinado por fotômetro de chama e o Ca e Mg por espectrofotômetro de absorção atômica; S-sulfato foi extraído por fosfato de cálcio e quantificado por turbidimetria, após reação com BaCl₂; acidez potencial (H+Al) foi estimada pelo método da solução-tampão SMP. Os atributos do solo: soma de bases (SB), CTC potencial e porcentagem de saturação por bases (V%) foram calculados conforme descrito em Raij et al. (2001). Os micronutrientes Cu, Fe, Mn, Ni e Zn foram extraídos por DTPA pH 7,3 e determinados em espectrômetro de emissão ótica com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES). O boro foi extraído com solução de cloreto de bário e aquecimento por micro-ondas.

As amostragens de folha foram realizadas no verão e no inverno do 4º e 5º anos, coletando-se o terceiro par de folhas, a partir da ponta, em ramos plagiotrópicos a meia altura da planta, num total de cerca de cem folhas, em cada talhão (Malavolta et al., 1997; Raij et al., 1997). As amostras de folhas foram lavadas com solução de detergente diluído, água potável e deionizada e, em seguida, colocadas na estufa com circulação forçada de ar (60-70 °C) até o peso constante. As amostras secas foram processadas em moinho tipo Willey com peneira de 40 mesh.

Tabela 1. Características químicas do lodo de esgoto da ETE de Franca utilizado na fazenda.

Table 1. Chemical properties of sewage sludge of Wastewater Treatment Plant, in Franca, Brazil, utilized on the farm.

Atributo*	Unidade ⁽¹⁾	Ano				
		1º	2º ⁽²⁾	2º ⁽³⁾	3º	5º
Cu	mg kg ⁻¹	124,6	263,2	40,5	179,9	118,7
Fe	mg kg ⁻¹	25461	10416	21625	-	7360
Ni	mg kg ⁻¹	32,7	47,7	29,5	31,3	25,0
Zn	mg kg ⁻¹	1521	951	1925	940	451
Mn	mg kg ⁻¹	214	191	264	173	788
B	mg kg ⁻¹	96,2	75,2	123	73,5	-
C org	g kg ⁻¹	328	383	325	340	82,7
pH		6,3	6,3	6,4	7,6	6,5
N total	g kg ⁻¹	70,2	48,0	84,3	45,9	27,1
Umidade	%	10,4	13,2	10,4	7,9	74,0
P	g kg ⁻¹	8,1	3,9	9,3	7,3	18,1
K	g kg ⁻¹	0,4	0,5	0,6	1,1	3,9
S	g kg ⁻¹	3,3	7,0	0,02	-	0,9
Ca	g kg ⁻¹	11,8	1,5	22,8	1,5	1,7

*Determinado de acordo com EPA SW-846-3051 (USEPA, 1986). ⁽¹⁾Valores apresentados em base de matéria seca. ⁽²⁾Lodo aplicado nos tratamentos 2, 3 e 5.

⁽³⁾Lodo aplicado somente no tratamento 6 em dose única.

Tabela 2. Doses de lodo de esgoto (base em matéria seca) aplicadas ao longo de cinco anos.

Table 2. Sewage sludge doses (dry matter) applied over five years.

Tratamento	Talhões	Ano					Total Acumulado
		1º	2º	3º	4º	5º	
		----- t ha ⁻¹ -----					
1	B2 a B5	--	--	--	--	--	--
2	C5-C6	9,0	4,8	11,8	--	4,2	29,8
3	D5-D6	9,0	4,8	11,8	--	4,2	29,8
4	E1-E2	9,0	--	--	--	4,2	13,2
5	E3-E4	9,0	4,8	--	--	4,2	18,0
6	H1 a H5	--	22,4	--	--	--	22,4

A digestão do material vegetal foi realizada de acordo com Malavolta et al. (1997). Os teores de B, Ca, Mg, B, Fe, Mn, Cu, Zn, Ni, nos extratos, foram determinados por ICP-OES; P, por colorimetria do molibdo vanadato; S, por turbidimetria do Ba₂SO₄; N, por semimicro-Kjeldahl; K por fotometria de chama.

Com base nos resultados das análises foliares, foi feita a avaliação do estado nutricional do cafeeiro, calculada pelo método DRIS (Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação). A população de referência usada nos cálculos dos índices DRIS foi estabelecida a partir de um grande número de dados sobre resultados de análises de folhas de cafeeiros, de cerca de 800 talhões comerciais de *Coffea arabica* representando regiões amplas.

As amostras de grãos de café cru foram colhidas nos anos agrícolas 2000/2001 e 2001/2002, nos dezessete talhões, com três repetições, no total de 51 amostras, com aproximadamente 3,6 kg cada. O tipo de colheita foi a derriça no pano, impedindo o contato dos grãos com o solo.

Os grãos foram colocados em sacos telados, proporcionando maior ventilação e impedindo a fermentação dos grãos e levados para o Instituto Agronômico de Campinas para a secagem. Para a secagem do café, as amostras foram acondicionadas em peneiras dispostas e colocadas diariamente ao sol e revolvidas várias vezes ao dia, garantindo uma seca homogênea, sendo recolhidas ao fim da tarde e cobertas com lonas. Depois de verificar se o teor de água dos grãos estava adequado (10-12%), os cafés em coco foram beneficiados, separando os grãos das cascas.

Para a análise estatística dos resultados referentes aos teores dos elementos no solo, nas folhas e produção, foi utilizada a análise da variância. As comparações entre médias foram feitas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

3 Resultados e Discussão

Os coeficientes de variação (CV) foram, em geral, elevados (> 30%) para a maioria dos atributos de fertilidade do solo avaliados (Tabela 3). Isto se deve à concentração desuniforme dos elementos no solo e à variabilidade espacial, o que é esperado quando se trata de experimento em condições de campo. Os lodos de esgoto aplicados eram ricos em P, porém, ao contrário do que se esperava, o P disponível não aumentou devido aos tratamentos com lodo (Tabela 3). Grande parte do P do lodo se encontra na forma orgânica e o aumento do P disponível ocorre, em geral, um ano após a aplicação com a mineralização do P. Além disso, observou-se que para os

talhões que compõem o tratamento 1 o teor de P foi baixo para plantas perenes, de acordo com Rajj et al. (1997). Isto se deve à ausência de aplicação de lodo, rico em fósforo, neste tratamento. Apesar de os teores médios de P disponível terem aumentado, a grande variabilidade do solo (medida pelo CV) não permitiu diferenciar os tratamentos com e sem adição de lodo.

No caso do K, Ca e Mg, também não houve diferença entre os tratamentos (Tabela 3). Apesar das baixas quantidades de K adicionadas ao solo com o lodo de esgoto, no geral, os tratamentos tiveram teores médios do nutriente no solo, conforme Rajj et al. (1997). Isto se deve à adubação mineral realizada normalmente, em todos os talhões, conforme análise de solo. Estes resultados reforçam a afirmação de Rocha & Shirota (1999) de que o lodo de esgoto não deve ser considerado um fertilizante orgânico substituto da adubação convencional, mas sim complementar desta, reduzindo o uso de fertilizantes químicos e consequentemente o custo da adubação.

Mesmo nunca tendo recebido doses de lodo, o maior teor de matéria orgânica (29,5 g dm⁻³) foi observado no tratamento 1. Isto se deve ao fato dos talhões que compõem o tratamento 1 estarem em solo de maior fertilidade que os demais e, portanto, possuírem um teor de MO naturalmente mais elevado. A aplicação de 22,4 t ha⁻¹ de lodo de uma só vez no tratamento 6 pode ter afetado o teor de MO. Do mesmo modo, o tratamento 4 foi o único que recebeu lodo apenas no 2º ano, antes da amostragem de solo. Devido à baixa C/N do lodo, a decomposição da MO é rápida. Isto reforça a recomendação de que a aplicação de lodo no solo deve ser contínua para manter os níveis de MO. Resultados semelhantes foram obtidos por Melo et al. (1994), em que o tratamento com fertilização mineral e os que receberam até 8 t ha⁻¹ de lodo de esgoto não diferiram entre si, devido à rápida decomposição do C-orgânico adicionado com o lodo, apresentando um tempo de residência no solo muito curto. Por outro lado, Ros et al. (1993) verificaram que os valores de pH e MO não foram alterados pela adição de 80 e 160 t ha⁻¹ de lodo e Vaz & Gonçalves (2002) chegaram a observar redução dos teores de MO, com a elevação das doses de lodo.

A CTC do solo não aumentou com as doses de lodo em relação ao tratamento 1 (sem lodo) (Tabela 3). Oliveira et al. (2002) observaram que aumentos da CTC nos tratamentos com lodo foram melhor explicados por efeitos relacionados ao pH do solo do que pela carga orgânica do resíduo.

O teor de S no solo (Tabela 4) seguiu a mesma tendência da MO. Ou seja, nos tratamentos 4 e 6 houve redução em relação

Tabela 3. Composição química das amostras de solo coletadas no 4º ano agrícola.

Table 3. Chemical composition of soil collected in 4th growing season.

Treatamento	MO g dm ⁻³	pH	P mg dm ⁻³	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	H ⁺ + Al ⁺³	SB	CTC	V %
-----mmol _e dm ⁻³ -----										
1	29,5 a	5,0	5,5	2,6	19,0	4,0	43,7	25,6	69,4	36,5
2	28,5 a	5,2	19,5	2,6	26,5	5,5	36,5	34,6	71,1	48,0
3	24,5 ab	5,1	18,5	2,1	18,5	3,5	39,0	24,1	63,0	38,5
4	19,5 bc	4,8	10,5	1,2	10,0	2,0	40,0	13,2	53,4	25,0
5	25,0 ab	5,0	20,5	2,2	18,0	3,5	42,5	23,7	66,3	36,0
6	18,8 c	5,7	8,6	1,2	28,0	7,0	22,0	36,2	58,4	58,8
CV (%)	8,5	8,9	51,5	42,9	53,4	79,4	27,5	54,5	15,4	38,1

Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%; pH (CaCl₂ 0,01M).

ao tratamento 1. Apesar de os teores de S estarem mais baixos nestes tratamentos (4 e 6), em todos os tratamentos, os teores deste elemento estiveram muito além daqueles considerados altos, segundo Raij et al. (1997). Apesar de o tratamento 6 ter recebido aplicação de lodo de esgoto no mesmo ano que os tratamentos 2, 3 e 5, o lodo teve composição química diferente, sendo que o S apresentou teores muito baixo ($0,02 \text{ g kg}^{-1}$) em relação ao lodo aplicado nos demais tratamentos (7 g kg^{-1}). Isto explica a diferença de teores entre o tratamento 6 e os tratamentos 2, 3 e 5. No tratamento 4, só houve aplicação de lodo de esgoto no primeiro ano, o qual deve ter sido mineralizado a partir do resíduo e provavelmente absorvido pelas plantas de café, por isso o teor de S foi menor no tratamento 4, em relação aos demais tratamentos.

O boro (B) apresentou teores médios no solo, não sendo observada diferença entre os tratamentos. Os elementos catiônicos Cu e Zn tiveram teores altos e médios, respectivamente, conforme Raij et al. (1997). Para o Cu, houve diferença entre tratamentos (Tabela 4). Os tratamentos 2 e 3 apresentaram os teores mais altos do elemento e diferiram do tratamento 6. Apesar de a quantidade de lodo de esgoto aplicado no tratamento 6 ter sido alta ($22,4 \text{ t ha}^{-1}$) e em dose única, o teor de Cu no lodo foi mais baixo que nos tratamentos 2 e 3, por isso, considerando o teor de Cu no lodo e a dose aplicada, os tratamentos 2 e 3 receberam mais Cu proveniente do lodo do que no tratamento 6. Para o Ni, não houve diferença entre os tratamentos.

Para o Fe e Mn, observou-se diferença significativa entre os tratamentos. No caso do Fe, o tratamento 1 foi o único com teor médio do elemento, enquanto os demais tratamentos tiveram teores altos de Fe, segundo Raij et al. (1997). O aumento observado para o Fe se deve à grande quantidade na composição do lodo. Já no caso do Mn, o tratamento 2 diferiu dos demais tratamentos, com teor bastante alto do elemento, conforme limites de interpretação dos teores de micronutrientes em solos, segundo Raij et al. (1997). Porém, neste caso, não se tem uma explicação razoável para isto. Pois verificou-se um teor médio de Mn no tratamento 3 que recebeu as mesmas doses de lodo nos mesmos anos. Simonete & Kiehl (2002) também observaram aumentos nos teores de Fe, Mn, Zn e Cu no solo, com a aplicação de lodo de esgoto.

Não foram constatados sintomas visuais de deficiência ou toxidez nutricional nas folhas. As análises químicas das folhas diagnósticas demonstraram que os teores de macronutrientes,

no geral, estavam dentro da faixa adequada conforme Raij et al. (1997) (Tabela 5). O teor de P no 4º ano esteve adequado para todos os tratamentos, variando de $1,3$ a $1,4 \text{ g kg}^{-1}$ e não diferindo entre os tratamentos. No 5º ano, os tratamentos 1 e 6 tiveram o teor de P abaixo da faixa de teores adequados, notando que, no solo, estes tratamentos também apresentaram menor teor de P (Tabela 3). Comparando estes tratamentos com os demais, nota-se que os talhões do tratamento 1 nunca receberam lodo, e os do tratamento 6, receberam lodo em dose única no 2º ano agrícola ($22,4 \text{ t ha}^{-1}$), podendo esta ser uma das causas do menor teor foliar para ambos os tratamentos.

O teor de K nas folhas no 4º ano esteve adequado para todos os tratamentos, observando um teor um pouco abaixo da faixa adequada para o tratamento 3. No ano seguinte, alguns talhões apresentaram baixos teores de K, como aqueles dos tratamentos 3, 5 e 6. O teor de Ca no 4º ano esteve abaixo do adequado para os talhões dos tratamentos 5 e 6, mas, para os demais, esteve na faixa adequada, tanto no 4º ano como no 5º ano agrícola. De acordo com a análise de solo (Tabela 3), o teor de Ca esteve alto para todos os tratamentos, de modo que os baixos teores de Ca encontrados nas folhas dos talhões acima podem ter sido devido à idade da folha coletada, em virtude da imobilidade do elemento na planta.

O teor de Mg no 4º ano variou de $2,0$ a $2,9 \text{ g kg}^{-1}$ entre os tratamentos, todos abaixo do teor adequado. No 5º ano, também houve diferença entre os tratamentos, sendo que os tratamentos 4 e 6 tiveram teor de Mg inferior a 3 g kg^{-1} . Estes dados coincidem com os de Raij et al. (1997) e com o método DRIS, em que apenas os 2 tratamentos citados acima estiveram deficientes em Mg. O teor de S variou de $2,5$ a $2,8 \text{ g kg}^{-1}$ no 4º ano, estando acima do teor considerado adequado ($1,5$ a $2,0 \text{ g kg}^{-1}$), possivelmente devido aos altos teores encontrados na análise de solo (Tabela 3) e às adubações foliares realizadas antes da amostragem.

Os resultados das análises químicas das folhas diagnósticas demonstraram que os teores de micronutrientes, no geral, estavam dentro da faixa adequada conforme Raij et al. (1997) (Tabela 6). Porém, em alguns casos, os valores estiveram acima do adequado, mas sem causar toxidez à planta.

Os teores de Cu no 4º ano estiveram acima daqueles considerados adequados, devido à adubação foliar antes da amostragem. No 5º ano, os valores foram mais baixos, mas ainda estiveram acima dos adequados. No 4º ano, verificou-se que o teor de Mn foi mais alto para os tratamentos 1, 2 e 3.

Tabela 4. Nutrientes disponíveis nas amostras de solo coletadas no 4º ano agrícola.

Table 4. Nutrient available in the soil collected in 4th growing season.

Tratamentos	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Ni
	----- mg dm ⁻³ -----						
1	318,7a	0,3	3,1ab	9,2 b	4,2b	0,5	0,04
2	178,5b	0,3	4,4a	16,0ab	12,6a	0,9	0,01
3	130,0b	0,4	3,5a	20,5a	4,2b	0,8	0,05
4	40,0c	0,3	2,4ab	17,5ab	3,4b	1,1	0,03
5	137,5b	0,3	2,7ab	23,5a	4,1b	0,7	0,02
6	47,2c	0,3	1,8b	15,2ab	2,1b	1,1	0,02
CV %	31,6	20,8	21,8	19,6	38,2	41,5	75,5

Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 5. Teores de macronutrientes na folha diagnóstica do café e valores nutricionais adequados para cultura do café.**Table 5.** Concentrations of macronutrient in diagnostic leaf coffee and nutritional values appropriate for coffee crop

Tratamentos	N (g kg ⁻¹) (teor adequado ⁽¹⁾ 26-32)		P (g kg ⁻¹) (teor adequado ⁽¹⁾ 1,2-2)		K (g kg ⁻¹) (teor adequado ⁽¹⁾ 18-25)	
	4º. Ano	5º ano	4º. Ano	5º ano	4º. Ano	5º ano
	1	31,2	30,6a	1,3	1,1b	20,1ab
2	32,0	31,1a	1,4	1,4a	18,5b	18,7ab
3	31,8	32,8a	1,3	1,3ab	17,7b	16,2ab
4	31,6	31,6a	1,3	1,2ab	20,4ab	18,9ab
5	28,3	27,9b	1,4	1,2ab	21,1ab	14,9b
6	30,9	27,9b	1,3	1,1b	21,7a	15,8b
CV %	4,2	2,7	6,8	5,5	5,3	7,5

Tratamentos	Ca (g kg ⁻¹) (teor adequado ⁽¹⁾ 10-15)		Mg (g kg ⁻¹) (teor adequado ⁽¹⁾ 3-5)		S (g kg ⁻¹) (teor adequado ⁽¹⁾ 1,5-2)	
	4º ano	5º ano	4º ano	5º ano	4º ano	5º ano
	1	12,0a	12,3ab	2,8a	3,6ab	2,5
2	11,0ab	14,1a	2,9a	3,5ab	2,6	1,8
3	11,4ab	12,8ab	2,9a	4,0a	2,8	1,8
4	10,4ab	11,5ab	2,6a	2,8c	2,5	1,7
5	8,4b	12,1ab	2,4ab	3,0bc	2,5	1,8
6	9,3b	11,3b	2,0b	2,5c	2,5	1,8
CV %	8,9	7,5	7,4	8,1	6,9	4,6

Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. ⁽¹⁾Faixas adequadas para a cultura do café (Raij et al., 1997).

Tabela 6. Teores de micronutrientes na folha diagnóstica do café e valores nutricionais adequados para cultura do café.**Table 6.** Concentrations of micronutrient in diagnostic leaf coffee and nutritional values appropriate for coffee crop.

Tratamentos	B (mg kg ⁻¹) (teor adequado ⁽¹⁾ 50-80)		Cu (mg kg ⁻¹) (teor adequado ⁽¹⁾ 10-20)		Fe (mg kg ⁻¹) (teor adequado ⁽¹⁾ 50-200)	
	4º ano	5º ano	4º ano	5º ano	4º ano	5º ano
	1	77,5	76,6c	305,8a	19,5a	118,5
2	59,5	75,0c	218,1ab	21,2a	88,0	86,5b
3	64,1	80,1c	287,0ab	23,4ab	98,0	123,5a
4	67,3	89,4bc	221,1ab	23,7ab	120,0	120,5ab
5	63,1	104,4ab	247,5ab	23,8ab	136,5	127,0a
6	73,2	112,3a	191,3b	34,6b	103,8	139,8a
CV %	8,8	8,1	14,5	17,2	14,0	9,0

Tratamentos	Mn (mg kg ⁻¹) (teor adequado ⁽¹⁾ 50-200)		Zn (mg kg ⁻¹) (teor adequado ⁽¹⁾ 30-80)	
	4º ano	5º ano	4º ano	5º ano
	1	219,0a	208,0a	80,5a
2	242,5ab	241,5ab	65,8ab	18,3c
3	344,0b	326,0b	72,1ab	15,8c
4	182,5a	187,5a	59,8ab	21,3bc
5	175,0a	229,5ab	67,1ab	23,8bc
6	178,2a	226,8a	51,7b	33,2ab
CV %	18,8	13,6	13,9	16,4

Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. ⁽¹⁾Faixas adequadas para a cultura do café (Raij et al., 1997).

No 5º ano, somente para o tratamento 4 o teor de Mn esteve dentro da faixa adequada, os outros tiveram o teor mais alto. O teor de Zn foi alto nos dois anos avaliados. Novamente a adubação foliar antes da amostragem pode ter sido a possível causa dos altos valores de Zn neste ano.

Observa-se que, no 5º ano agrícola, a média de produtividade dos talhões foi mais elevada, com média de 1325 kg ha⁻¹, do que

no ano anterior, com média de 520 kg ha⁻¹ (Tabela 7). A cultura do café é bastante exigente em nutrientes, extraindo e exportando quantidades variáveis deles do solo de um ano para o outro, em decorrência de sua bienalidade de produção, portanto, os teores foliares destes variam conforme a produtividade, pois, em ano de alta produção há um aumento de demanda da planta por nutrientes.

No 4º ano agrícola, houve uma baixa produtividade devido a um déficit hídrico no 3º ano (Tabela 7). Observando os dois anos agrícolas, notou-se que a vegetação no início do 4º ano foi prejudicada, em função de um déficit hídrico, possivelmente não havendo gasto de nutrientes em favor da vegetação. Depois desse período, as condições de precipitação foram favoráveis para a indução de gemas florais. O déficit hídrico que ocorreu no inverno do 4º ano não prejudicou a florada, pois, nesta fase, as gemas florais encontram-se em dormência. No final do 4º ano, as condições hídricas foram favoráveis para várias floradas, que significam vários estágios de maturação no momento da colheita. Devido a essas melhores condições hídricas no 5º ano, ocorreu um aumento na produtividade.

Com base no cálculo dos índices DRIS envolvendo todos os nutrientes (Tabela 8), observou-se que para todos os tratamentos o teor de N esteve na faixa adequada. Os resultados obtidos pelo DRIS diferiram da diagnose foliar, pois, no 4º ano, o teor de P esteve baixo para os tratamentos 1 e 4 e, no ano seguinte, o DRIS indicou teores deficientes para todos os tratamentos.

Pelo método DRIS, verifica-se que no 4º ano os tratamentos 2 e 3 tiveram teores de K considerados deficientes e, nos demais tratamentos, o teor esteve adequado. No 5º ano, todos

os tratamentos, com exceção do tratamento 4, tiveram baixos teores de K.

Os dados obtidos pelo DRIS indicaram que no 4º ano os talhões que compõem os tratamentos 4, 5 e 6 foram deficientes em Ca, os demais tiveram o teor de Ca adequado. No 5º ano, todos os tratamentos tiveram o teor de Ca adequado. Comparando estes dados com os obtidos com a diagnose foliar (Tabela 5), observa-se uma semelhança com o DRIS, também indicando deficiência de Ca para o tratamento 4, 5 e 6 no 4º ano.

No 4º ano, todos os tratamentos estiveram deficientes em Mg de acordo com o DRIS. Para o S, no mesmo ano, o teor esteve adequado apenas nos talhões do tratamento 1, conforme análise de solo (Tabela 3). Nos demais talhões, o teor esteve alto, muito provavelmente em função dos altos valores deste elemento encontrados no solo, pois, no ano seguinte, notou-se deficiência nos teores de S para quatro tratamentos (1, 2, 3 e 4).

Os tratamentos 1, 4 e 6 apresentaram excesso de B de acordo com resultados das análises do DRIS no 4º ano. No 5º ano, os tratamentos 1, 2, 3, e 4 estavam com excesso de B, já nos tratamentos 5 e 6 encontraram-se valores muito altos de B, considerados contaminantes, sendo eliminados das análises de DRIS.

No 4º ano, os teores anormais de Cu e Zn não foram determinados pelo DRIS, verificando que no ano seguinte os teores ainda estavam altos, mas foram calculados. Apenas o tratamento 3 apresentou teor adequado de Zn. Para efeito de teste, foram calculados valores de DRIS usando somente os macronutrientes (Tabela 9) e pelo método tradicional, envolvendo todos os nutrientes (Tabela 8), que apresentou valores de Balanço Nutricional (BN) mais baixos do que aquele calculado apenas com os macronutrientes. Como o BN é usado como parâmetro para identificar o estado nutricional de cada tratamento, o cálculo que envolve todos os nutrientes é o mais indicado, pois, além do diagnóstico para os macronutrientes, também fornece informações para os micronutrientes, garantindo maior segurança nos resultados. Contudo, faz-se necessário sempre eliminar nutrientes com teores elevados e considerados em nível de contaminação, como os altos valores de Cu e Zn encontrados no trabalho.

Tabela 7. Produtividade de grãos de café, no 4º e 5º anos agrícolas.

Table 7. Yield coffee beans, 4th and 5th growing seasons.

Tratamentos	Produção	
	4º. Ano	5º ano
	----- kg ha ⁻¹ -----	
1	937,7	2254,6
2	413,0	1401,8
3	640,0	1023,3
4	137,5	797,0
5	557,0	1330,1
6	435,6	1140,0
Média	520,1	1324,5

Tabela 8. Cálculo dos índices DRIS, envolvendo todos os nutrientes.

Table 8. Calculation of the Diagnosis and Recommendation Integrated System, using all the nutrients.

Tratamentos	4º Ano											
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	BN
1	1	-31	-20	-10	-43	22	34	ND	18	27	ND	23
2	15	-13	-27	-18	-32	33	15	ND	-6	33	ND	21
3	9	-22	-37	-15	-35	38	18	ND	2	42	ND	24
4	13	-25	-10	-26	-50	28	25	ND	23	22	ND	25
5	1	-1	-3	-54	-54	28	21	ND	35	21	ND	24
6	24	-14	13	-34	-93	32	36	ND	13	22	ND	31
	5º ano											
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	BN
1	-3	-42	-24	-8	-6	-35	28	24	-10	19	57	23
2	-5	-25	-31	8	-14	-30	26	31	-18	26	32	22
3	1	-33	-52	-11	1	-33	26	33	12	35	20	23
4	4	-32	-25	-17	-40	-30	38	37	13	14	38	26
5	-8	-30	-48	-3	-21	-18	ND	40	21	24	44	26
6	5	-33	-35	-1	-40	-11	ND	ND	33	27	55	27

BN: Balanço Nutricional; ND: Não Determinado. (-BN): Deficiente; (+BN): Excesso.

Tabela 9. Cálculo dos índices DRIS, envolvendo somente os macronutrientes.**Table 9.** Calculation of the Diagnosis and Recommendation Integrated System, using macronutrients only.

Tratamentos	4º Ano						
	N	P	K	Ca	Mg	S	BN
1	20	-23	-8	5	-41	46	24
2	29	-7	-26	-14	-33	50	27
3	27	-15	-34	-6	-33	60	29
4	34	-17	3	-18	-53	51	29
5	20	17	22	-56	-56	53	38
6	52	-1	36	-29	-115	56	48
	5º ano						
	N	P	K	Ca	Mg	S	BN
1	27	-36	-8	18	22	-22	22
2	18	-15	-23	36	5	-21	20
3	37	-20	-51	17	35	-18	30
4	45	-16	-4	11	-27	-9	19
5	22	-14	-45	29	1	6	20
6	35	-19	-24	26	-31	13	25

BN: Balanço Nutricional; (-BN): Deficiente; (+BN): Excesso.

4 Conclusões

Os atributos químicos do solo, com exceção da MO e do enxofre, e os teores de nutrientes nas folhas estiveram dentro de níveis normalmente encontrados para a cultura do café, independentemente das doses de lodo de esgoto usadas. Além disso, a produtividade não foi afetada pelo uso do lodo, confirmando a possibilidade de uso deste produto na cafeicultura como complemento para adubação.

Referências

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. *Lodo de esgoto: impactos na agricultura*. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2006. 349 p.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução no. 375 de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 30 ago. 2006.

COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M. *Uso agrícola de lodo de esgoto: avaliação após a resolução no 375 do CONAMA*. Botucatu: FEPAF, 2010. 407 p.

FARNEZI, M. M. M.; SILVA, E. B.; GUIMARÃES, P. T. G. Diagnose nutricional de cafeeiros da Região do Alto Jequitinhonha (MG): Normas DRIS e faixas críticas de nutrientes. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, v. 33, p. 969-978, 2009.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2. ed. Piracicaba: Potafós, 1997. 319 p.

MARTINS, D. R.; CAMARGO, O. A.; BATACLIA, O. C. Qualidade do grão e da bebida em cafeeiros tratados com lodo de esgoto. *Bragantia*, v. 64, n. 1, p. 115-126, 2005.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; SANTINATO, G.; CHELLI, R.A.; LEITE, S.A.S. Efeitos de doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações da matéria orgânica e CTC de um latossolo cultivado com cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, v. 18, p. 449-455, 1994.

OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E.; MARCIANO, C. R.; ROSSETO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em um latossolo amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, v. 26, p. 505-519, 2002.

PARTELLI, F. L.; MONNERAT, P. H.; VIANA, P. A. Estabelecimento de normas DRIS em cafeeiro conilon orgânico ou convencional no estado do Espírito Santo. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, v. 30, p. 443-451, 2006.

PAVAN, M. A. *Avaliação de esterco de bovino biodigerido e curtido na fertilidade do solo e na nutrição e produção do cafeeiro*. Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, 1993. 16 p.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2. ed. rev. atual. Campinas: Instituto Agrônomo; Fundação IAC, 1997. 285 p.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (Eds.) *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.

REIS JUNIOR, R.A.; CORRÊA, J.B.; CARVALHO, J.G., GUIMARÃES, P.T.G. Diagnose nutricional de cafeeiros da região sul de Minas Gerais: Normas DRIS e teores foliares adequados. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, v. 26, p. 801-808, 2002.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Eds.). *Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação*. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

ROCHA, M.T.; SHIROTA, R. Disposição final de lodo de esgoto. *Revista de estudos ambientais*, v. 1, n. 3, p. 1-25, 1999.

ROLIM, G. S.; CAMARGO, M. B. P.; LANIA, D. G.; MORAES, J. F. L. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o Estado de São Paulo. *Bragantia*, v. 66, n. 4, p. 711-720, 2007.

ROS, C. O.; AITA, C.; CERETTA, C. A. FRIES, M. R. Lodo de esgoto: efeito imediato no milho e residual na associação aveia-ervilhaca. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 17, p. 257-261, 1993.

SIMONETE, M. A.; KIEHL, J. C. Extração e fitodisponibilidade de metais em resposta à adição de lodo de esgoto no solo. *Scientia Agrícola*, v. 59, n. 3, p. 555-563, 2002.

United States Environmental Protection Agency – USEPA. *Test method for evaluating solid waste. Report number SW-846*. Washington, 1986.

VAZ, L. M. S.; GONÇALVES, J. L. M. Uso de biossólidos em povoamento de eucalipto: efeito em atributos químicos do solo, no crescimento e na absorção de nutrientes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 26, p. 747-758, 2002.

Contribuição dos autores: Daniela Ribeiro Martins: parte do material da sua dissertação de mestrado, realizou os experimentos e a escrita científica; Otávio Antônio de Camargo: orientador da dissertação de mestrado, contribuiu na revisão da escrita científica; Leônidas Carrijo Azevedo Melo: contribuiu com a revisão bibliográfica e a escrita científica; Victor Sanches Ribeirinho: contribuiu com a revisão bibliográfica e a escrita científica; Cristiano Alberto de Andrade: contribuiu com a revisão bibliográfica e a escrita científica.

Fonte de financiamento: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq.

Conflito de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.