



O USO DE COMPOSTOS DE RESÍDUOS URBANOS DEVE TER EM CONTA A SUA COMPOSIÇÃO, A DOSE E AS CONDIÇÕES DE APLICAÇÃO



Margarida Arrobas¹,
Paulo Praça², M. Ângelo Rodrigues¹

¹ Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Instituto Politécnico de Bragança

² Resíduos do Nordeste, Empresa Intermunicipal, EIM, SA.

INTRODUÇÃO

A matéria orgânica tem um papel central na fertilidade do solo. Entre muitos outros efeitos benéficos, a matéria orgânica pode melhorar o arejamento de solos argilosos e a capacidade de retenção de água de solos arenosos. O seu contributo é também importante na atividade biológica dos solos e na ciclagem de nutrientes (Weil e Brady, 2017).

Em vastas regiões do globo, os solos têm teores baixos de matéria orgânica, devido a restrições ecológicas naturais à produtividade dos ecossistemas ou a práticas culturais que não promovem o incremento de matéria orgânica do solo e estimulam a sua mineralização. Na região mediterrânica, diversas culturas perenes, como vinhas, oliveiras e amendoeiras são cultivadas em solos pobres em matéria orgânica (Almagro *et al.*, 2016; Torres *et al.*, 2018).

No passado dominavam os sistemas agropecuários em que existiam estrumes

disponíveis que podiam equilibrar os teores de matéria orgânica dos solos. A especialização da agricultura reduziu os estrumes de pecuária disponíveis para a atividade agrícola. Em alternativa surgem outros materiais fertilizantes, como os compostados de resíduos urbanos (RU), que podem ser usados como corretivos orgânicos e ter um papel fertilizante equivalente aos estrumes (Leogrande *et al.*, 2016; Grau *et al.*, 2017; Murtaza *et al.*, 2019). Contudo, os compostados com origem em RU indiferenciados podem apresentar problemas de qualidade, sendo o mais preocupante o risco de conterem teores elevados em metais pesados (Deepesh *et al.*, 2016). Em Portugal, o Decreto-Lei n.º 103/2015 estabelece restrições à utilização destes materiais de acordo com o seu conteúdo em metais pesados.

«A aplicação do composto Ferti Trás-os-Montes aumentou a produção de uvas de forma significativa se considerados os três anos do estudo»

A Resíduos do Nordeste é uma empresa intermunicipal que gere os RU de 13 municípios no nordeste de Portugal. A partir da fração orgânica dos RU, a em-

presa produz um composto, denominado de Ferti-Trás-os-Montes que, de acordo com a legislação em vigor, se encontra classificado na classe IIA. Um corretivo orgânico da classe IIA pode ser usado em culturas perenes como vinhas, oliveiras e espécies florestais até 10 t ha⁻¹ ano⁻¹, mas não em espécies herbáceas comestíveis.

Neste trabalho apresentam-se os resultados de um estudo em que se aplicaram 20 t ha⁻¹ ano⁻¹ durante três anos do composto Ferti Trás-os-Montes numa vinha experimental da Escola Superior Agrária de Bragança. O objetivo do estudo foi estabelecer orientações para a utilização segura deste composto na agricultura regional.

MATERIAIS E MÉTODOS

A experiência decorreu em Bragança na Quinta de Santa Apolónia. A vinha que recebeu o composto Ferti Trás-os-Montes está plantada num Cambisolo eútrico de textura franco-arenosa (11,4% argila, 14,5% limo e 74,1% areia). O solo tem pH de 6,2 na camada 0-20 cm, teor baixo de matéria orgânica (8,7 g kg⁻¹ de carbono orgânico) e valores alto e muito alto de fósforo e potássio extraíveis, respetivamente.

A experiência foi organizada de forma completamente casual, com dois tratamentos (com RU e testemunha, sem RU) e três repetições com nove videiras contínuas.

O composto Ferti Trás-os-Montes tem um pH próximo de 8 (média dos três anos), devido sobretudo ao elevado conteúdo em cálcio (~ 70 g kg⁻¹) e uma razão carbono/azoto próxima de 14. O produto tem sido incluído na classe IIA, a que correspondem valores máximos admissíveis de cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel e zinco de 3, 300, 400, 150, 3, 200 e 1000 mg kg⁻¹, respetivamente. Para efeitos experimentais usaram-se neste estudo doses duplas das permitidas por lei, 20 t ha⁻¹ ano⁻¹, uma vez que as uvas não são destinadas a consumo humano.

A aplicação do produto fez-se a meio do mês de março, tendo sido distribuído homogeneamente por toda a área experimental, incluindo linhas e entrelinhas. Após ser aplicado, o composto foi incorporado com escarificador a uma profun-



didade aproximada de 0 a 10 cm. Durante o período experimental a vinha foi mobilizada duas vezes ao ano, a primeira para incorporar o composto e a segunda, realizada no mês de maio, para controlar as infestantes. Durante o período experimental não foi utilizado qualquer outro fertilizante na vinha.

Anualmente foram avaliadas a produção de uvas e a lenha de poda e foram analisadas amostras de folhas inteiras e pecíolos colhidas ao pintor para avaliação da composição elementar, incluindo os metais pesados. Determinou-se a concentração de azoto (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), boro (B), ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn), níquel (Ni), cádmio (Cd), crômio (Cr) e chumbo (Pb). No último ano, amostras de uvas foram separadas em engaço, películas, sementes e polpa e analisadas para os elementos anteriormente referidos. Na primavera do último ano, antes da última mobilização, foi avaliada a produção de matéria seca da vegetação herbácea das entrelinhas e a sua composição elementar para os elementos referidos. Foram também colhidas amostras compostas de solos nas profundidades 0-10 e 10-20 cm e analisadas para diversas propriedades incluindo a conteúdo e metais pesados.

Os dados foram testados para normalidade e homogeneidade de variância e submetidos a ANOVA unidirecional ($P < 0.05$).

RESULTADOS

A aplicação do composto Ferti Trás-os-Montes aumentou a produção de uvas de forma significativa se considerados os três anos do estudo (Figura 1). A massa da vegetação herbácea nas entrelinhas mais que duplicou nos talhões que receberam o composto (Figura 2). Também se registou uma grande alteração da

composição botânica dos cobertos. Nos talhões que receberam RU surgiram em grande proporção *Erodium moschatum* (L.) L'Hér e *Stellaria media* (L.) Vill., enquanto nos talhões testemunha a espécie dominante foi *Senecio vulgaris* L.

«A aplicação do composto Ferti Trás-os-Montes durante três anos consecutivos causou um efeito positivo na generalidade das propriedades do solo, incluindo o aumento da matéria orgânica, da capacidade de troca catiónica e de P, K e B extraíveis»

O pH do solo aumentou de forma significativa com a aplicação de RU, bem como carbono orgânico, N total, P, K e B extraíveis e genericamente as bases do complexo de troca com destaque para o Ca de troca e a capacidade de troca catiónica (Tabela 1). O teor de Zn no solo também aumentou com a aplicação do composto, bem como o de Pb. Os teores no solo dos demais metais diminuíram com a aplicação do composto.

A composição mineral das folhas não variou de forma significativa para a maioria dos elementos analisados (Tabela 2). A concentração nas folhas de elementos essenciais como N, Ca, Mg, B, Fe, Cu, Zn e Mn não se alterou pela aplicação do composto. Contudo, a concentração de P reduziu-se significativamente e a concentração de K aumentou de forma significativa. A concentração dos metais pesados Ni, Cr, Cd e Pb também não variou com a aplicação do composto. A composição elementar da polpa (parte comestível) não sofreu alterações relevantes. Apenas foi registada redução significativa dos teores de Ni pela aplicação de RU.

TABELA 1. Propriedades do solo no outono de 2019 nos tratamentos testemunha e com o composto Ferti Trás-os-Montes (RU).

Propriedades do solo	T	RU
pH	7,1 b	7,4 a
¹ Carbono orgânico (g kg ⁻¹)	11,9 b	16,4 a
² Azoto total (g kg ⁻¹)	1,8 b	2,7 a
³ Fósforo (mg kg ⁻¹)	97,9 b	490,3 a
³ Potássio (mg kg ⁻¹)	313,3 b	545,3 a
⁴ Cálcio (cmolc kg ⁻¹)	7,7 b	12,1 a
⁵ CTC (cmolc kg ⁻¹)	14,4 b	17,2 a
⁶ Boro (mg kg ⁻¹)	0,5 b	1,3 a
⁷ Ferro (mg kg ⁻¹)	207,7 a	190,8 a
⁷ Cobre (mg kg ⁻¹)	47,8 a	35,6 b
⁷ Zinco (mg kg ⁻¹)	4,2 b	34,8 a
⁷ Manganês (mg kg ⁻¹)	336,6 a	248,1 b
⁷ Níquel (mg kg ⁻¹)	56,6 a	46,2 b
⁷ Cádmio (mg kg ⁻¹)	0,1 a	0,2 a
⁷ Crómio (mg kg ⁻¹)	0,3 a	0,3 a
⁷ Chumbo (mg kg ⁻¹)	2,3 b	8,4 a

¹ Walkley-Black; ² Kjeldahl; ³ Extraído com lactato de amónio; ⁴ Extraído com acetato de amónio; ⁵ Capacidade de troca catiónica (soma das bases de troca + acidez de troca); ⁶ Extraído com água fervente; ⁷ Extraído com acetato de amónio e EDTA. Para cada variável, médias associadas à mesma letra não são estatisticamente diferentes ($P < 0,05$).



DISCUSSÃO

As videiras tratadas com o composto Ferti Trás-os-Montes melhoraram a produtividade. Contudo, esse resultado não pode ser atribuído ao aumento da absorção de nutrientes, na medida em que a concentração da maior parte dos nutrientes nas folhas não sofreu alteração. Apenas os teores de K nos tecidos aumentaram. Ainda assim, os nutrientes nas folhas encontraram-se dentro dos intervalos considerados adequados para a videira (Bryson *et al.*, 2014). O aumento de produção terá sido devido aos múltiplos efeitos potenciais positivos da matéria orgânica nas propriedades físicas, químicas e biológicas solo, que vai para além da disponibilidade de nutrientes (Havlin *et al.*, 2017).

TABELA 2. Composição elementar das folhas colhidas ao pintor (resultados de 2019) e da polpa das uvas da colheita de 2019 nos tratamentos testemunha e com o composto Ferti Trás-os-Montes (RU).

Composição das folhas	Folhas		Composição da polpa	Polpa	
	T	RU		T	RU
Azoto (g kg ⁻¹)	23,6 a	23,4 a	Azoto (mg kg ⁻¹)	0,8 a	0,8 a
Fósforo (g kg ⁻¹)	2,1 a	1,4 b	Fósforo (g kg ⁻¹)	1,1 a	1,1 a
Potássio (g kg ⁻¹)	6,8 b	7,8 a	Potássio (g kg ⁻¹)	1,7 a	1,4 a
Cálcio (g kg ⁻¹)	11,4 a	8,9 a	Cálcio (mg kg ⁻¹)	0,1 a	0,1 a
Magnésio (g kg ⁻¹)	4,9 a	5,0 a	Magnésio (mg kg ⁻¹)	76,4 a	66,1 a
Boro (mg kg ⁻¹)	34,5 a	31,0 a	Boro (mg kg ⁻¹)	nd	nd
Ferro (mg kg ⁻¹)	199,2 a	215,6 a	Ferro (mg kg ⁻¹)	7,6 a	7,4 a
Cobre (mg kg ⁻¹)	9,1 a	10,1 a	Cobre (mg kg ⁻¹)	0,7 a	0,8 a
Zinco (mg kg ⁻¹)	53,4 a	48,5 a	Zinco (mg kg ⁻¹)	0,7 a	0,7 a
Manganês (mg kg ⁻¹)	187,1 a	135,7 a	Manganês (mg kg ⁻¹)	0,2 a	0,2 a
Níquel (mg kg ⁻¹)	47,9 a	36,0 a	Níquel (mg kg ⁻¹)	0,8 a	0,5 b
Crómio (mg kg ⁻¹)	5,7 a	5,8 a	Crómio (mg kg ⁻¹)	0,3 a	0,3 a
Cádmio (mg kg ⁻¹)	3,1 a	2,6 a	Cádmio (µg kg ⁻¹)	59,9 a	44,5 a
Chumbo (mg kg ⁻¹)	36,9 a	40,5 a	Chumbo (µg kg ⁻¹)	12,3 a	12,3 a

Para cada variável, médias associadas à mesma letra não são estatisticamente diferentes.



O pH aumentou pela aplicação do composto. Em teoria, a aplicação de matéria orgânica deveria acidificar o solo devido à respiração microbiana, que aumenta os níveis de dióxido de carbono e a formação de ácido carbônico, mas também à formação de ácidos orgânicos (Weil e Brady, 2017). Contudo, o aumento de pH pode ter-se devido ao elevado efeito alcalinizante deste composto, por ter pH alcalino (~ 8) e teores de Ca muito elevados. Este aspeto ter-se-á sobreposto ao efeito habitualmente acidificante da aplicação dos corretivos orgânicos.

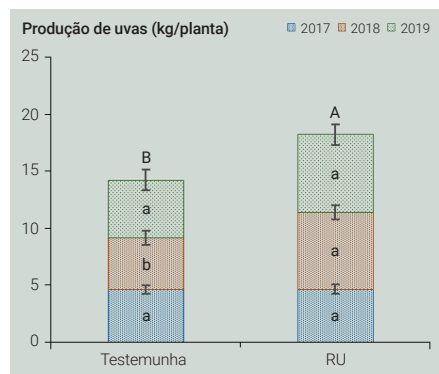


FIGURA 1. Produção de uvas ao longo dos três anos de ensaio nos tratamentos testemunha e com o composto Ferti Trás-os-Montes (RU). Médias associadas à mesma letra não são estatisticamente diferentes ($P < 0,05$).

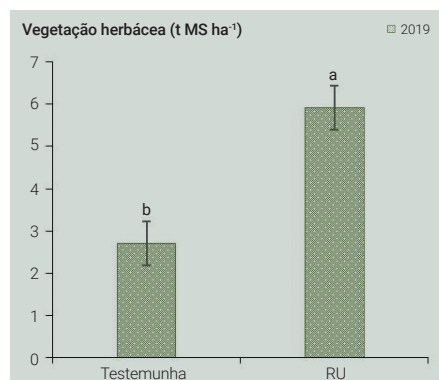


FIGURA 2. Produção de matéria seca (MS) pela vegetação herbácea das entrelinhas na primavera de 2019 nos tratamentos testemunha e com o composto Ferti Trás-os-Montes (RU). Médias associadas à mesma letra não são estatisticamente diferentes ($P < 0,05$).

O N não aumentou nos tecidos da planta. Em parte, devido a um efeito de diluição provocado pelo aumento da produção (Arrobas *et al.*, 2018). Por outro lado, parte do N aplicado ainda se encontra na fração orgânica, imobilizado, uma vez que o teor de carbono orgânico e N total no solo aumentaram. Adicionalmente, um conjunto de ineficiências podem ter ocorrido, como perdas de N por volatilização de amoníaco, devido à reduzida incorporação no solo (Huijsmans *et al.*, 2003), por desnitrificação, favorecida pela respiração do solo com diminuição de oxigénio e aumento da disponibilidade de eletrões (Coynne, 2008) e ainda pela lixiviação de nitratos e sobretudo de N orgânico dissolvido, uma fração importante da perda de N quando se aplicam, corretivos orgânicos (Weil e Brady, 2017).

O teor de P no solo aumentou de forma considerável. No entanto, os teores de P nos tecidos reduziram-se de forma significativa. A elevada quantidade de Ca que o corretivo orgânico introduziu no solo insolubilizou P em compostos cálcio-fosfato que tendem a ser muito estáveis em solos de pH muito alcalino (White, 2012).

«Verificou-se que o solo acumulou uma grande reserva de nutrientes ao longo dos três anos, associada ao aumento da matéria orgânica e da capacidade de troca catiónica e às insolubilizações induzidas pela subida de pH»

Os níveis de K aumentaram no solo e nos tecidos das plantas com a aplicação do corretivo orgânico. O K não integra estruturas orgânicas (Hawkesford *et al.*, 2012) ficando logo disponível para as plantas após aplicação. Contudo, as análises de solos mostram que muito K ainda se encontra no solo, sobretudo adsorvido ao complexo de troca, que aumentou, encontrando-se protegido da lixiviação.

Os teores de B aumentaram no solo, mas não nos tecidos das plantas. A pH alcalino, o B é frequentemente adsorvido aos colóides orgânicos (Goldberg e Suarez, 2012), ficando menos disponível para as plantas até que ocorra mineralização do substrato orgânico.

Dos metais micronutrientes Fe, Mn, Cu e Zn, os teores de Mn e Cu no solo decresceram, os de Zn aumentaram e os de Fe não sofreram alteração. Nas plantas os

teores destes nutrientes não sofreram alteração. Ainda que a matéria orgânica tenda a quelatar estes metais catiões aumentado a sua solubilidade (Marschner e Rangel, 2012), em solos de pH elevado a sua solubilidade reduz-se (White 2012), tendo este aspeto prevalecido nesta experiência. O comportamento diferenciado do Zn poderá ter a ver com a forte interação deste nutriente com o P. O aumento/diminuição da disponibilidade de P no solo tende a induzir redução/aumento da disponibilidade de Zn (Broadley *et al.*, 2012).

Entre os metais pesados Cd, Cr, Pb e Ni, apenas aumentaram os níveis de Pb no solo, provavelmente devido a este elemento ser o que aparece normalmente em maior concentração no composto Ferti Trás-os-Montes. Contudo, os teores nos tecidos não aumentaram, tendo até decrescido os níveis de Ni com a aplicação do composto. A alcalinidade causa a dissociação de H⁺ dos grupos OH da matéria orgânica o que leva a maior adsorção dos metais e menor biodisponibilidade (Neumann e Römheld, 2012). De qualquer forma, os teores destes metais na polpa da uva estiveram sempre abaixo dos limites aceites como seguros em alimentos (FAO/WHO, 2018).

CONCLUSÕES

A aplicação do composto Ferti Trás-os-Montes durante três anos consecutivos causou um efeito positivo na generalidade das propriedades do solo, incluindo o aumento da matéria orgânica, da capacidade de troca catiónica e de P, K e B extraíveis. A concentração de K nos tecidos aumentou pela aplicação do RU e a de P reduziu-se, mas em geral a concentração dos nutrientes manteve-se dentro da gama de concentrações adequadas. A concentração de metais pesados nos tecidos tendeu a decrescer com a aplicação do composto e os níveis na polpa mantiveram-se dentro da gama considerada segura em alimentos. Verificou-se que o solo acumulou uma grande reserva de nutrientes ao longo dos três anos, associada ao aumento da matéria orgânica e da capacidade de troca catiónica e às insolubilizações induzidas pela subida de pH. Estes nutrientes tornar-se-ão disponíveis para as plantas à medida que se for mineralizando a matéria orgânica.

Contudo, a aplicação repetida de um RU com estas características num solo de pH neutro a alcalino parece não ser sustentável devido ao risco de surgirem ca-



rências nutricionais pela insolubilização de nutrientes. Com base nestes resultados pode inferir-se que os benefícios da utilização do composto Ferti Trás-os-Montes podem ser otimizados se este for aplicado em solos com um pH inicial ácido e não ultrapassando os limites legais de 10 t ha⁻¹ ano⁻¹. Sempre que possível, este composto orgânico deve ser aplicado em situações em que possa ser incorporado no solo. 🍇

BIBLIOGRAFIA

- Almagro M, de Vente J, Boix-Fayos C, García-Franco N, Aguilar JM, González D, Solé-Benet A, Martínez-Mena M, 2016. Sustainable land management practices as providers of several ecosystem services under rainfed Mediterranean agroecosystems. *Mitig Adapt Stratag Glob Change* 21:1029–1043.
- Arrobas M, Ferreira IQ, Afonso S, Rodrigues MA, 2018. Sufficiency ranges and crop nutrient removals for peppermint (*Mentha x piperita* L.) established from field and pot fertilizer experiments. *Commun Soil Sci Plant Anal* 49(14):1719–1730.
- Broadley M, Brown P, Cakmak I, Rengel Z, Zhao F, 2012. Function of nutrients, micronutrients. In: Marschner P (Ed.), *Marschner's Mineral Nutrition of Higher plants*. Elsevier, London, p. 191–248.
- Bryson G, Mills HA, Sasseville DN, Jones Jr, JB, Barker AV, 2014. *Plant Analysis Handobook III. A Guide to Sampling, Preparation, Analysis and Interpretation for Agronomic and Horticultural Crops*. Micro-Macro Publishing, Inc., Athens, GA.
- Coyne MS, 2008. Biological denitrification. In: Schepers JS, Raun WR (Eds.), *Nitrogen in Agricultural Systems*. Agronomy Monograph n.º 49. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI, USA, p. 201–253.
- Decreto-Lei n.º 103/2015. Diário da República, 1.ª série - N.º 114 - 15 de junho de 2015. Ministério da Economia.
- Deepesh V, Verma VK, Suma K, Ajay S, Gnanavelu A, Madhusudanan M, 2016. Evaluation of an organic soil amendment generated from municipal solid waste seeded with activated sewage sludge. *J Mater Cycles Waste Manag* 18:273–286.
- FAO/WHO (Codex Alimentarius Commission) 2018. Joint FAO/WHO food standards programme, codex committee on contaminants in foods. *Food. CF/12 INF/1*: 1–169.
- Goldberg S, Suarez DL, 2012. Role of organic matter on boron adsorption-desorption hysteresis of soils. *Soil Sci* 177:417–423.
- Grau F, Drechsel N, Haering V, Trautz D, Weerakody WJSK, Drechsel P, Marschner B, Dissanayake DMPS, Sinnathamby V, 2017. Impact of fecal sludge and municipal solid waste co-compost on crop growth of *Raphanus sativus* L. and *Capsicum annum* L. under stress conditions. *Resources* 6:26.
- Havlin JL, Tisdale SL, Nelson WL, Beaton JD, 2014. *Soil Fertility and Fertilizers, an Introduction to Nutrient Management*, 8th edition. Pearson, Inc, New Jersey, USA.
- Hawkesford M, Horst W, Kichey T, Lambers H, Schjoerring J, Skrumager M, White P, 2012. Function of macronutrients. In: Marschner P, (Ed.), *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Elsevier, London, UK, p. 135–189.
- Huijsmans JFM, Hol JMG, Vermeulen GD, 2003. Effect of application method, manure characteristics, weather and field conditions on ammonia volatilization from manure applied to arable land. *Atmos Environ* 37:3669–3680.
- Marschner P, Rangel Z, 2012. Nutrient availability in soils. In: Marschner P (Ed.), *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. London, UK, Elsevier, p. 315–330.
- Murtaza B, Zaman G, Imran M, Shah GM, Amjad M, Ahmad N, Naeem MA, Zakir A, Farooq A, Ahmad S, Murtaza G, 2019. Municipal solid waste compost improves crop productivity in saline-sodic soil: A multivariate analysis of soil chemical properties and yield response. *Commun Soil Sci Plant Anal* 50(8):1013–1029, DOI: 10.1080/00107049.2019.1648888.
- Neumann G, Römheld V, 2012. Rhizosphere chemistry in relation to plant nutrition. In: Marschner P (Ed.), *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. London, UK, Elsevier, p. 347–368.
- Torres MAR-R, Ordóñez-Fernández R, Giráldez JV, Márquez-García J, Laguna A, Carbonell-Bojollo R, 2018. Efficiency of four different seeded plants and native vegetation as cover crops in the control of soil and carbon losses by water erosion in olive orchards. *Land Degrad Dev* 29:2278–2290.
- Weil RR, Brady NC, 2017. *The nature and properties of soils*. 15th edition, Pearson, London, UK.
- White PJ, 2012. Ion uptake mechanisms of individual cells and roots: Short-distance transport. In: Marschner P (Ed.), *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. London, UK, Elsevier, p. 7–48.