

Capítulo 7

Uso e manejo da matéria orgânica para fins de fertilidade do solo

Marco Antonio de Almeida Leal

Fabiano de Carvalho Balieiro

Caio Teves Inácio

David Vilas Boas de Campos

José Guilherme Marinho Guerra

Everaldo Zonta

Luiz Rodrigues Freire

Os solos tropicais apresentam, em sua maioria, baixa fertilidade natural, ou seja, elevada acidez, baixos teores de matéria orgânica e de N, e baixos teores de Ca, Mg e K trocáveis e de P disponível. Essas características advêm de diversos fatores de formação do solo, como visto no Capítulo 2, mas, principalmente, da ação pretérita do clima, que proporciona condições mais intensas de reação com minerais (intemperismo) e de lavagem de nutrientes do perfil do solo.

Dessa forma, nesses solos predominam óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio e minerais de argila 1:1, com pouca reserva de nutrientes para as plantas. A composição química e o arranjo cristalino desses minerais conferem características que limitam a fertilidade química dos

solos, ou seja, a capacidade de provimento de nutrientes em quantidade adequada às culturas. Por isso, a matéria orgânica do solo (MOS) nesses solos assume papel importante na manutenção e na sustentabilidade dos ecossistemas naturais e agroecossistemas, pois é responsável por armazenar boa parte dos nutrientes do solo e é fonte de transformações diversas, intermediadas por organismos do solo.

Embora o Estado do Rio de Janeiro apresente pequena dimensão territorial, em comparação com outros estados da Federação, suas feições geológicas, geomorfológicas e pedológicas, e o tornam complexo em termos de ambientes. Decorre disso que os teores de carbono (C) e a própria fertilidade de seus solos variam muito, conforme a localização geográfica, a paisagem e a estratégia de manejo adotada. Em áreas das baixadas metropolitana e litorânea, por exemplo, encontram-se solos mais frágeis e também os que apresentam as maiores reservas de C em seus perfis, tais como os Organossolos, os Gleissolos, os Espodosolos e os Cambissolos Flúvicos. Nos relevos mais acidentados, típicos da Região Serrana e de parte das regiões Norte e Noroeste, encontram-se solos bem drenados, como os Argissolos, os Latossolos e os Cambissolos Háplicos, geralmente com cobertura vegetal, formada de pastagens. Esses ambientes, com reserva significativamente menor de C, também estão sujeitos a severos problemas de erosão, o que acarreta perda de solo superficial e de matéria orgânica.

Neste capítulo, é abordada a importância da MOS para a manutenção da fertilidade do solo, bem como são sugeridas práticas a serem adotadas para elevar seu teor nos agroecossistemas fluminenses. Para tanto, se faz necessário conhecer os compartimentos da MOS e suas características.

7.1 Compartimentos e características da MOS

De forma simplificada, a MOS pode ser dividida em dois grupos: substâncias não humificadas (SNH) e substâncias húmicas (SH). No primeiro grupo (SNH) estariam representadas as substâncias “reconhecíveis” quimicamente, como carboidratos simples, polissacarídeos, aminoácidos, proteínas, gorduras, lignina, resinas, pigmentos, ácidos orgânicos, entre outros. Esse grupo de substâncias, com exceção da lignina e das resinas, apresenta fácil degradação no solo, sendo utilizados

como substratos pela biota do solo. Já as SH são representadas por substâncias complexas e heterogêneas, com composição química indefinida, que apresentam recalcitrância no solo, o que significa alta resistência à degradação microbiana. Embora não seja o escopo deste capítulo, deve-se mencionar que é possível separar as frações orgânicas do solo por métodos químicos ou físicos e, assim, obter informações sobre a representatividade desses compartimentos. É possível, também, avaliar a qualidade de agroecossistemas por meio do monitoramento de frações ou dos compartimentos da MOS.

De modo geral, a ação antrópica de transformação de paisagem natural em agroecossistemas acarreta perda mais rápida de frações lábeis (matéria orgânica leve, C dissolvido na solução e C associado à biomassa microbiana do solo) do que de frações mais recalcitrantes, normalmente protegidas pela fração mineral do solo. Na Figura 1, ilustram-se esses compartimentos e os mecanismos relacionados à proteção e à suscetibilidade à decomposição.

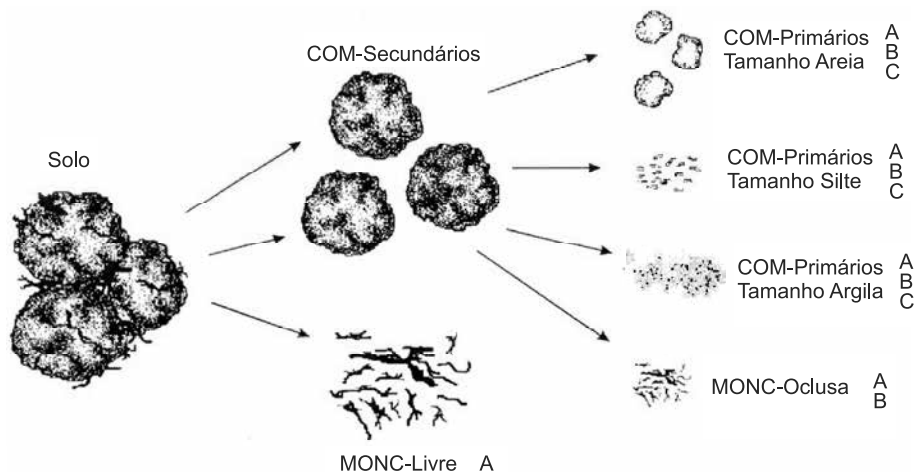


Figura 1. Modelo descritivo do arranjo espacial de partículas minerais e orgânicas do solo. As letras próximas de cada fração representam mecanismos de proteção contra a decomposição: A, recalcitrância; B, oclusão; e C, complexação/ligação com partículas minerais. COM: complexo organomineral; MONC: matéria orgânica não complexada.

Fonte: Roscoe e Machado (2002).

Em contrapartida, muitas práticas de manejo podem incrementar os teores de C do solo (ver item 7.1). A adoção de técnicas conservacionistas, a exemplo do sistema de plantio direto – que é baseado no mínimo revolvimento do solo, com manutenção de palha sobre o solo – tem sido responsável pelo incremento da fertilidade de solos intemperizados em diversos ambientes. Nesse sentido, em trabalho desenvolvido em Paty de Alferes, região onde predominam Latossolos e Argissolos e relevo montanhoso, com atividade tipicamente agrícola e provedora de parte das hortaliças que abastecem a cidade do Rio de Janeiro, foi possível observar como o uso do solo e as práticas agrícolas adotadas podem alterar a estrutura do solo e reduzir o teor de C do solo (Tabela 1).

Tabela 1. Diâmetro médio dos agregados do solo (DMP) e teor de carbono orgânico na camada de 0 a 5 cm de um Latossolo Vermelho sob o efeito de distintos usos e manejos, em Paty de Alferes, RJ.

Sistema de manejo	DMP (mm)	C orgânico (g kg ⁻¹)
Cobertura com gramínea	4,2	21,8
Plantio direto	3,0	18,5
Tração animal	2,2	16,8
Plantio convencional	2,0	11,4
Solo exposto	1,7	6,9

Fonte: Pinheiro et al. (2004).

7.2 Ciclagem de nutrientes na unidade de produção agrícola

O teor de MOS varia conforme o balanço entre a quantidade de matéria orgânica que entra e a quantidade que sai do solo. As principais entradas ocorrem por meio da deposição de resíduos da vegetação que se desenvolve in situ e por meio da adição de adubos orgânicos ou de cobertura morta. As saídas estão associadas principalmente à erosão e à decomposição da matéria orgânica (via respiração microbiana), porém,

em solos arenosos, a perda de matéria orgânica, na forma de C dissolvido, pode ser significativa. Diversos fatores afetam a velocidade de decomposição dos resíduos orgânicos no solo. Materiais orgânicos com baixo teor de N, ricos em lignina e hemicelulose, apresentam decomposição lenta. Em adendo, solos argilosos, com elevada acidez, secos ou mal drenados, baixas temperaturas e o manejo do solo com pouco ou nenhum revolvimento também contribuem para uma reduzida velocidade de decomposição. Em contrapartida, resíduos orgânicos ricos em N, amido e celulose, principalmente em solos arenosos, com boa umidade e pH neutro, em condições de temperatura elevada, e manejo do solo com muito revolvimento representam condições favoráveis para a ocorrência de altas taxas de decomposição da MOS.

Em unidades de produção, podem ser realizadas diversas atividades produtivas, entre as quais ocorrem fluxos de energia e de nutrientes, que podem resultar em esgotamento do estoque de nutrientes em uma determinada atividade e acúmulo em outra. A sustentabilidade das unidades de produção está diretamente relacionada à realização de manejos que possibilitem transferir rapidamente nutrientes de atividades onde estão em excesso, como aviários e confinamentos bovinos, para atividades onde os nutrientes estão sendo demandados, por exemplo, as lavouras.

A técnica da compostagem é uma ferramenta muito importante nesse processo de gerenciamento de resíduos orgânicos, pois, quando feita corretamente, acelera a decomposição de resíduos vegetais e animais, reduz as perdas de nutrientes e intensifica o fluxo de nutrientes entre os diversos compartimentos do sistema de produção. A compostagem promove a distribuição de nutrientes para fora do ponto gerador do resíduo, especialmente dejetos animais (aviários ou confinamentos de bovinos e suínos). O uso contínuo e em quantidade muito elevada desses dejetos, como adubos orgânicos, pode trazer impactos ambientais negativos, tanto ao solo quanto aos recursos hídricos. Daí a importância de se dispor de um processo de tratamento que permita o armazenamento e o transporte para outras unidades agrícolas, não produtoras desses excedentes, mas demandadoras de nutrientes.

Nesse sentido, a integração que envolva produção vegetal e animal confere maior eficiência de manejo dos recursos naturais, menor dependência de insumos externos e menor geração de resíduos. Em contrapartida, pode aumentar a demanda por mão de obra. A compos-

tagem é um processo importante na integração das unidades de produção, pois acelera o fluxo de nutrientes entre os diversos subsistemas e reduz as perdas.

A compostagem consiste na biodegradação de resíduos orgânicos, em um processo predominantemente aeróbio (em presença de O_2), com uma fase termofílica longa (55 °C a 70 °C), favorecido por técnicas de montagem de pilhas ou leiras. Os diferentes tipos de resíduos devem formar uma mistura adequada para a compostagem, principalmente quanto à relação C/N (carbono orgânico/nitrogênio total), à porosidade (que influencia o fluxo de ar) e à umidade inicial. Por isso, na prática, essas misturas podem ser feitas com toda sorte de resíduos orgânicos disponíveis, como: restos vegetais das culturas agrícolas; estercos animais, que são fontes de nutrientes, principalmente de N; podas de árvores; e aparas de madeira, que são fontes de C e conferem porosidade à leira de composto. As temperaturas atingidas na compostagem, o tempo do processo e a alta atividade biológica são importantes para promover a eliminação de fitopatógenos e de outros patógenos comuns ao homem, além de reduzir a viabilidade de sementes de plantas concorrentes que estejam misturadas ao resíduo orgânico. Isso tem relação direta com a viabilidade agrônômica da utilização do adubo ou fertilizante orgânico. A duração da compostagem será determinada pelas características da matéria-prima, pela velocidade de decomposição e pelas especificações desejadas no produto final. A literatura científica apresenta períodos que variam de alguns dias a alguns meses. Quanto maior o período de compostagem, maior será o grau de estabilização e de maturação do produto final; todavia, o custo do processo e as perdas de massa e nutrientes, principalmente de N, serão maiores.

7.3 Adubação orgânica

Para a realização de adubações orgânicas eficientes, é importante definir o objetivo da adubação, pois a matéria orgânica atua de duas maneiras simultâneas: como condicionadora, melhorando principalmente as características físicas do solo, e como fornecedora de nutrientes. Adubos orgânicos utilizados com a finalidade precípua de fornecer nutrientes devem possuir elevados teores de elementos

essenciais às plantas, apresentar susceptibilidade à decomposição, e liberação desses nutrientes em velocidade compatível à demanda da cultura. Adubos orgânicos com reduzidos teores de nutrientes, principalmente de N, não devem ser utilizados com esse propósito e podem até mesmo causar imobilização de elementos essenciais presentes na solução do solo, o que acarreta redução da disponibilidade para as culturas. Por exemplo: se o material orgânico tiver um teor relativamente elevado de N ($> 1,5\%$) e baixa relação C/N (< 20), será um bom fornecedor de nutrientes; caso contrário, agirá fundamentalmente como condicionador de solo, se aplicado em quantidade superior a 20 t ha^{-1} .

Os principais tipos de adubo orgânico encontrados no Estado do Rio de Janeiro são: esterco, compostos, resíduos urbanos, vinhaça e adubos verdes. Os esterco são formados pelos excrementos sólidos e líquidos dos animais, misturados ou não com materiais vegetais usados para a formação de cama, como palhas diversas e capins. A composição química dos esterco é variável e depende de alguns fatores, como: espécie, idade e manejo do animal, fonte alimentar, tipo de cama utilizada na manipulação do esterco antes de sua aplicação e condições climáticas. Por isso, é compreensível que os resultados de análise publicados variem consideravelmente (Tabela 2).

Os variados tipos de esterco são, geralmente, aplicados ao solo das seguintes maneiras: a) evacuação direta sobre pastagens ou outras áreas; b) aplicação direta do esterco puro ou na forma de cama; c) aplicação das partes líquidas e semissólidas diretamente no campo. A eficiência dos esterco, como adubo orgânico, depende dos métodos de coleta, preparo e armazenamento, época e método de aplicação, características do solo e padrão de crescimento e absorção de nutrientes da cultura a ser adubada. Os esterco substituem adequadamente os fertilizantes sintéticos industriais, principalmente quando estão disponíveis em quantidade suficiente e de fácil acesso.

Para diminuir as perdas de N e aumentar o teor de fósforo nos esterco, pode-se incorporar a ele de 30 kg a 50 kg de superfosfato simples por tonelada de material. É recomendável que o esterco não fique armazenado em local em contato direto com o solo, nem que fique exposto à chuva, pois, nessas condições, as perdas de nutrientes são maiores. Na Tabela 2, são apresentados teores de elementos essenciais comuns a alguns dejetos orgânicos usados como fontes de

matéria-prima para a compostagem, ou como adubos orgânicos aplicados diretamente no solo.

Em virtude da demanda de biodiesel, também estarão à disposição dos produtores as tortas dessas oleaginosas, cujos restos culturais (cascas e torta) são altamente recomendáveis para reúso na própria cultura, com vista a garantir a ciclagem dos nutrientes e a reduzir a competição por adubos minerais com as culturas produtoras de alimentos. Essas tortas também servem de potenciais adubos orgânicos para outras culturas, inclusive para as produtoras de alimentos. E já existem resultados favoráveis com o uso da torta da mamona.

A torta de mamona é produzida a partir da extração do óleo das sementes, e é um importante subproduto da cadeia produtiva da mamona. É um produto rico em nitrogênio, de baixa relação C:N, que tem mostrado, experimentalmente, bons resultados, inclusive quando utilizado em cobertura. Quando aplicado no plantio, alguns dados experimentais mostram que sua mineralização é rápida. A Tabela 2 indica os teores médios de nutrientes da torta da mamona.

A vinhaça é um subproduto da fabricação do álcool, produzido na proporção de 13 L a 14 L para cada litro de álcool. É também conhecida pelos nomes de vinhoto, calda, restilo, tiborna, garapão e caxixi.

Por conta da elevada demanda bioquímica do oxigênio (DBO) da vinhaça, a prática tradicional de despejo desse resíduo em curso d'água tem causado sério prejuízo ambiental. No Estado do Rio de Janeiro, diversos trabalhos de pesquisa foram conduzidos pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Departamento de Solos, no período de 1979 a 1985, visando a avaliar formas de aproveitamento da vinhaça como fertilizante e consequências de sua utilização sobre o sistema solo-água-planta.

A composição da vinhaça é muito variável (Tabela 3), porque depende principalmente da natureza e da composição da matéria-prima originária e do processo industrial de destilação. Como componente básico, a vinhaça contém cerca de 80% a 90% de água, e o restante é de material sólido.

A fração sólida é composta de material orgânico (cerca de 70%) e mineral; neste último, além do potássio, que é o nutriente que predomina, ocorrem nitrogênio, cálcio, magnésio e fósforo. Como, na

Tabela 2. Componentes de alguns adubos orgânicos de origem animal e compostos orgânicos (base matéria seca).

Esterco	Local	Componentes											% de H ₂ O			
		Macronutrientes totais (g kg ⁻¹)					Micronutrientes (mg kg ⁻¹)							C (g kg ⁻¹)	C/N	pH
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Fe	Mn	B	Cu	Zn					
Bovinos																
Leiteiro ⁽¹⁾	RS	11	9	11	7	3	-	620	-	-	70	-	-	-	-	-
Curral ⁽²⁾	RS	17,6	7,1	25,7	12,6	6,1	4.106	510	-	31	64	-	-	-	-	11,4
Curral ⁽³⁾	MG	12,6	10,8	14,5	11,8	2,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50
Curral ⁽⁴⁾	RJ	21,1	4,3	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	7,2	-
Chorume (g/litro)	-	109	12	60	0,8	1,1	-	1,17 mg/L	-	-	0,46 mg/L	272	-	-	6,7	-
Galinhas																
Com maravalha ⁽¹⁾	RS	19	27,5	15,6	65	10	-	240	-	-	210	-	-	-	-	8
Sem maravalha ⁽²⁾	RS	27	54	43,2	67,1	6,1	2.300	837	-	-	590	-	-	-	-	-
Sem maravalha ⁽⁴⁾	RJ	40	12,1	21,1	-	-	-	-	-	-	-	172	-	-	8,4	-
Frango com maravalha ⁽⁵⁾	SC	32	38,9	13,2	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	16,5
Frango com maravalha ⁽⁶⁾	RJ	25,3	12,9	-	-	-	-	-	-	-	-	395	15,3	7,3	-	-
Frango com maravalha ⁽¹⁾	RS	25	36,6	24	22	5	-	300	-	-	270	-	-	-	8,4	-
Suínos⁽²⁾	RS	23,2	47,2	19,4	32,5	7,7	8.800	643	-	-	422	-	-	-	-	62
Composto orgânico																
Fazenda ⁽⁷⁾	-	14	13,7	8,5	6,4	2	5.480	1.272	35	260	182	-	-	-	-	-
Fazenda ⁽⁶⁾	RJ	8,7	28,1 ⁽⁸⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	180	21	7,6	52	-
Resíduo urbano ⁽⁹⁾	RJ	14	2,3	10,2	16	2	-	860	130	1.180	870	166	12	7	-	-
Resíduo urbano ⁽¹⁰⁾	RJ	15,2	12,1	6,7	54	4,7	-	-	-	-	-	126	8	7,9	19,4	-
Tortas																
Mamona ⁽¹¹⁾		30-60	27-37	5-14	5-18	1-2	-	-	-	-	-	280-300	6-12	-	-	-
Outros																
Composto de apara de grama ⁽¹²⁾	RJ	22,3	48,1	37,6	24,7	3,0	3.802	404	32	15	161	387	17	8,3	-	-

⁽⁸⁾O material foi enriquecido com farinha de ossos antes de ser composto.

Fonte: ⁽¹⁾Ernani e Gianello (1982); ⁽²⁾Holanda (1981); ⁽³⁾Aidar et al. (1976); ⁽⁴⁾Almeida et al. (1982); ⁽⁵⁾Scherer e Bartz (1981); ⁽⁶⁾Almeida, D. L. et al. (1982); ⁽⁷⁾Malavota (1976); ⁽⁹⁾Mazur et al.(1983); ⁽¹⁰⁾Peixoto(1984); ⁽¹¹⁾Freitas (2009); ⁽¹²⁾Benites et al. (2004).

Tabela 3. Composição média e algumas características de vinhaça de usinas do Estado do Rio de Janeiro.

Usina	Sólidos totais (mg L ⁻¹)	DBO (mg O ₂ L ⁻¹)	Condutividade elétrica a 25°C (mmhos cm ⁻¹)	% C	C/N	N total	N NO ₃ ⁻	N NH ₄ ⁺	P total	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Fe ⁺⁺	Na ⁺	pH
Usina 1 ⁽¹⁾	16.430	32.356	5,2	1,0	-	1.078	14,0	529	25,8	1.200	42,8	31,8	54,3	41,0	4,2
Usina 2 ⁽¹⁾	-	-	-	0,8	75,9	112	-	-	27,0	1.010	232,0	200,0	-	-	3,4
Usina 3 ⁽¹⁾	41.425	59.872	9,0	2,2	-	119	3,5	7,0	-	916	--	-	-	42,5	3,4
Usina 4 ⁽²⁾	55.220	65.960	18,0	2,0	-	714	3,5	10,5	168,5	3.800	333,2	269,1	74,3	130,0	4,2
Usina 5 ⁽²⁾	-	-	-	1,8	44,9	392	-	-	28,0	1.130	484,0	366,0	-	-	4,1
Usina 6 ⁽³⁾	27.380	71.326	6,3	-	-	539	3,5	10,5	29,0	128	100,0	107,1	85,7	70,0	4,0
Usina 7 ⁽³⁾	18.250	33.976	4,9	1,0	-	294	3,5	7,0	30,5	664	71,4	72,3	57,1	60,0	3,4

Tipos de vinhaça: ⁽¹⁾ caldo; destilação do álcool após fermentação alcoólica direta do caldo de cana; ⁽²⁾ melaço; após fermentação alcoólica do mosto de melaço, resultante do caldo de cana para a extração do açúcar; ⁽³⁾ mista; após fermentação alcoólica do mosto preparado pela mistura de melaço e caldo.

Fonte: UFRRJ (1981).

fração sólida, prevalecem a matéria orgânica e o potássio, a vinhaça pode ser considerada um fertilizante orgânico rico em potássio.

Dois aspectos devem ser considerados quanto à adição de vinhaça in natura ao solo, visando à fertilização: a) o manejo do resíduo, de forma a obter o máximo de vinhaça a ser aplicada sem prejuízo para o crescimento da cultura, para as características do solo, para a qualidade da água do lençol freático e para a taxa de escoamento superficial; e b) o nível de fertilidade do solo, de modo a estabelecer a quantidade de vinhaça a ser aplicada por unidade de área, visando a suprir as necessidades de potássio da cultura.

Para determinar a quantidade de vinhaça a ser aplicada, pode ser usada a curva de resposta à adubação potássica. Mas, como as concentrações de K e de N são altamente variáveis, esses elementos devem ser quantificados para determinar os teores supridos pela vinhaça. Se, no manejo dos resíduos, altas doses forem utilizadas, vários problemas poderão sobrevir, tais como dificuldade de maturação da cana-de-açúcar, baixa qualidade do caldo e salinização do solo – este último, principalmente nos solos da Baixada Campista, que já têm elevado potencial de salinização.

Vários resíduos urbanos têm potencial de uso como condicionadores de solo e fonte de nutrientes. O lodo de esgoto, por exemplo. Ele é um material sólido orgânico ou inorgânico, removido das águas residuais provenientes de residências e estabelecimentos comerciais e industriais, nas estações de tratamento de esgoto. A concentração de nitrogênio, fósforo e potássio no lodo depende das contribuições recebidas pelas águas residuais, do tipo de tratamento a que foram submetidas e do manejo do lodo, entre a sua produção e a sua aplicação ao solo. O principal inconveniente do uso do lodo é a possibilidade de ocorrência de metais pesados em sua constituição, a qual traz, como consequência, poluição ambiental e dos alimentos.

Adubos orgânicos geralmente são obtidos de resíduos e subprodutos agrícolas e industriais, que podem apresentar diversos graus de contaminação química e/ou biológica. Estercos podem estar contaminados com organismos patogênicos ao homem, aos animais e às plantas, com propágulos de plantas concorrentes, além de metais pesados e resíduos de medicamentos. Prova evidente disso é o aumento do número de ocorrências de contaminação de esterco bovino

por herbicidas, em virtude da crescente utilização desse produto. Resíduos industriais e urbanos também podem apresentar diversos tipos de contaminação química e biológica. Há evidentes esforços para se controlar a produção, o transporte, o armazenamento e a aplicação de fertilizantes orgânicos, os quais devem estar adequados às diversas normatizações, nos âmbitos federal, estadual e municipal, sobre vigilância sanitária, meio ambiente e agricultura.

7.4 Recomendações de adubação orgânica

A recomendação da quantidade de adubo orgânico a ser empregada pode ser calculada seguindo-se diversos critérios. Partindo-se do pressuposto que, geralmente, o N é o nutriente mais demandado em adubações, mas que é, também, o elemento que pode provocar maiores problemas de contaminação das fontes de água, recomenda-se basear as recomendações das adubações orgânicas nos teores de N dos adubos e na proporção do N presente, que será recuperado pela cultura após a realização da adubação, utilizando-se sempre a matéria seca como base para o cálculo.

O teor de N deve ser determinado em análise de laboratório. Se isso não for possível, o valor poderá ser estimado por meio de tabelas disponíveis em várias fontes, lembrando que, ao contrário dos adubos sintéticos, os adubos orgânicos não são materiais padronizados, e, assim, sua composição pode apresentar grande variação. A Tabela 2 mostra valores de teores de nutrientes para alguns dos principais adubos orgânicos.

A proporção do N presente no adubo orgânico, que é recuperada pela cultura logo após a adubação, depende de diversos fatores, como características do adubo, do clima, do solo e do ciclo da cultura. Em termos gerais, para o Estado do Rio de Janeiro, podemos estimar que a recuperação média de N pela cultura, logo após a adubação orgânica, está em torno de 30% para ambientes quentes, como ocorre na Baixada Fluminense, e em torno de 20% para ambientes frios, como é o caso da Região Serrana.

Deve-se evitar a utilização de adubos orgânicos com teores de N abaixo de 1,0, principalmente no caso de materiais pouco humificados. A recuperação do N contido nesses materiais é muito reduzida,

podendo ocorrer imobilização do N disponível no solo. Também se deve evitar a utilização de grande quantidade de adubo com elevados teores de matéria orgânica pouco humificada, pois isso pode causar problemas de anaerobiose temporária nos poros do solo.

É importante estar consciente que a determinação das recomendações de adubação orgânica é muito mais complexa do que a da adubação mineral, pois envolve materiais pouco padronizados, com desempenho muito mais sujeito à influência de fatores ambientais. Por isso, recomenda-se que o cálculo da quantidade de adubos orgânicos utilizados também deve considerar as doses geralmente empregadas desses insumos, e não ultrapassar as doses máximas recomendadas, conforme está apresentado na Tabela 4.

Tabela 4. Valores de doses geralmente empregadas e de doses máximas recomendadas para os principais adubos orgânicos.

Adubo orgânico	Doses geralmente empregadas	Doses máximas recomendadas
	tonelada de matéria seca por hectare	
Esterco de ruminantes	10	40
Esterco de aves	5	20
Torta de oleaginosas	1	4
Composto orgânico pouco humificado	10	40
Composto orgânico muito humificado	10	60

7.5 Maturidade e estabilidade

O principal requisito para que adubos orgânicos sejam utilizados de forma segura no solo é o seu grau de estabilidade ou de maturação, que implica matéria orgânica estável e ausência de componentes fitotóxicos, de sementes de concorrentes e de organismos patogênicos às plantas e aos seres humanos. Quando esses materiais são adicionados ao solo, isso pode resultar em impacto negativo sobre o

crescimento das plantas por causa da redução do oxigênio na zona radicular ou da presença de compostos fitotóxicos.

O termo “maturidade” é normalmente usado na avaliação do potencial de crescimento da planta ou da fitotoxicidade de materiais orgânicos, enquanto o vocábulo “estabilidade” geralmente está relacionado com a atividade microbiana. Entretanto, as duas palavras estão muito correlacionadas, pois substâncias fitotóxicas são produzidas por microrganismos em materiais orgânicos pouco estabilizados. A estabilidade é atingida quando a matéria orgânica de fácil biodegradação é totalmente degradada. A maturidade, que implica a ausência de limitações ao crescimento das plantas, é avaliada com mais eficiência por meio de bioensaios de crescimento vegetal.

A estabilidade é uma característica importante para se avaliar a qualidade de um composto, mas é de difícil mensuração. A maioria dos critérios utilizados na avaliação do processo de compostagem é baseada em parâmetros físicos e químicos do material orgânico, e seus comportamentos refletem a atividade metabólica dos microrganismos envolvidos no processo de compostagem. Esses parâmetros abrangem a redução da temperatura, o grau de autoaquecimento, o consumo de oxigênio, os efeitos fitotóxicos, a CTC, o conteúdo de MO e de nutrientes, e a relação C:N.

Alguns autores têm proposto índices de maturidade baseados no monitoramento das substâncias húmicas, tais como ácidos húmicos e ácidos fúlvicos. Entre os índices de maturidade propostos, os mais representativos são aqueles que medem a evolução dos ácidos húmicos (AH) comparada com a evolução dos ácidos fúlvicos (AF). A razão AH/AF é considerada o melhor indicador de maturidade e humificação. Bernal et al. (1998) apresentam os seguintes indicadores de maturidade e estabilidade para alguns materiais orgânicos, como composto de lixo urbano e lodo de esgoto:

- A maturidade dos compostos pode ser definida em termos de nitrificação. Quando a concentração de NH_4^+ diminui e o NO_3^- aparece, o composto é considerado pronto para ser usado. Um alto nível de NH_4^+ indica materiais pouco estabilizados, sendo determinado o valor de 0,04% como a concentração máxima para os compostos de lixo urbano serem considerados maduros. A relação C:N menor que 12 e

a relação $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$ menor que 0,16 também são aceitas como indicativos de maturidade. No entanto, em termos de relação C/N, valores abaixo de 12 para compostos orgânicos podem ser difíceis de ser alcançados, já que, geralmente, um processo de compostagem adequado necessita de materiais de mais alta C/N, o que se reflete na composição do produto final. Valores acima de 18 até 25 podem não ser limitantes para o uso do composto na prática. Algumas formas de manejo podem reduzir os efeitos negativos da imobilização de nitrogênio. Por exemplo, o composto pode ser aplicado na superfície do solo, sem incorporação, ou ser aplicado com maior antecedência em relação à data de semeadura, promovendo a sua biodegradação no solo sem afetar a cultura. Por sua vez, a relação C/N mais alta, ou seja, com mais carbono orgânico, traz benefícios para a estrutura do solo e para a formação da matéria orgânica, o que resulta em melhoria da maioria dos indicadores de qualidade do solo (Tabela 5) e em manutenção da capacidade produtiva a longo prazo.

- O processo de humificação produz grupos funcionais e aumenta a oxidação da matéria orgânica, levando a aumento da CTC. Valores maiores que $60 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ são indicativos da maturidade dos compostos de lixo urbano. A relação CTC/C-orgânico também é utilizada, sendo os valores de $1,7 \text{ mmol g}^{-1}$ e $1,9 \text{ mmol g}^{-1}$ os limites inferiores descritos para a maturidade de composto de lixo urbano e de lodo de esgoto, respectivamente.
- As frações carbono solúvel (Cw) e de ácidos fúlvicos geralmente diminuem durante a compostagem em virtude de seus elevados conteúdos de substâncias facilmente degradáveis (açúcares, aminoácidos, peptídeos, etc.). O valor de $\text{Cw} < 1,7\%$ é usado como um indicador de maturação. O índice de maturidade (Cw/N-orgânico) também é um indicativo, sendo aceitos valores maiores que 0,55.
- A relação AH/AF aumenta durante o processo de compostagem, sendo valores maiores que 1,9 propostos como indicadores de maturidade para compostos de lixo urbano e de lodo de esgoto.

Tabela 5. Indicadores de qualidade do solo.

Propriedades físicas	Propriedades químicas	Propriedades biológicas
Densidade do solo	pH	Carbono na biomassa microbiana
Profundidade de enraizamento	Condutividade elétrica	N na biomassa microbiana
Taxa de infiltração de água	Capacidade de troca de cátions	Minhocas
Capacidade de retenção de água	Matéria orgânica	Enzimas
Estabilidade de agregado	N mineralizável K trocável Ca trocável	Supressividade de doenças

Fonte: Mitchell (2000).

7.6 Fonte de nutrientes

Para os adubos orgânicos, principalmente o composto orgânico, a disponibilidade de nutrientes para as plantas depende do processo de decomposição biológica no solo dessa matéria orgânica (mineralização). A maior parte do nitrogênio (N) do fósforo (P) e do enxofre (S) está conservada na forma orgânica (matéria orgânica) e na biomassa microbiana. A exceção é o potássio (K), que estará mais prontamente disponível. A elevada capacidade de troca de cátions (CTC) permite também que os nutrientes aplicados ao solo fiquem em formas trocáveis e sejam aproveitados com mais eficiência pelas raízes das plantas, evitando perdas por lixiviação. Esse efeito é especialmente importante para o potássio (K^+), o cálcio (Ca^{++}), o magnésio (Mg^{++}) e o nitrogênio na forma de íon amônio NH_4^+ .

A literatura científica relata que a disponibilidade de nitrogênio no primeiro ano após a incorporação do adubo orgânico ao solo pode variar de 15% a 50% do total aplicado. A aplicação de fontes de matéria orgânica deve ser realizada periodicamente, para aumentar a quantidade

total de nitrogênio orgânico no solo e, conseqüentemente, o potencial de mineralização para a manutenção da capacidade produtiva.

O uso do adubo orgânico pode ser concomitante ao uso de fertilizantes sintéticos convencionais; nesse caso, podendo aumentar a eficiência da aplicação dos nutrientes solúveis presentes neste último. A duração dos efeitos benéficos do adubo orgânico no solo vai depender de fatores climáticos e das características do solo e do manejo, que influenciam a mineralização da matéria orgânica.

Adubos orgânicos são fontes também de micronutrientes (boro, cloro, cobre, ferro, manganês, molibdênio, níquel e zinco). Tais elementos atuam no metabolismo vegetal, especialmente na ativação de determinadas enzimas. O molibdênio, por exemplo, é fundamental para a fixação biológica de nitrogênio (FBN), pela associação entre rizóbio e leguminosas. A falta de micronutrientes pode limitar a capacidade produtiva do solo. Solos arenosos tendem a apresentar baixos teores de certos micronutrientes, o que torna mais premente a aplicação de adubos orgânicos. No entanto, como os teores de micronutrientes nos adubos orgânicos variam, é preciso recorrer à análise química para se determinar a quantidade de micronutriente a ser aplicada.

7.7 Condicionamento de solos

A MOS, representada por compostos de origem vegetal e animal em distintos estádios de decomposição, exerce diversas funções no solo: atua na formação e na estabilização da estrutura do solo, por meio do fornecimento de substâncias agregantes, como polissacarídeos, ácidos orgânicos e exsudados de raízes, ou mesmo pela ação mecânica exercida pelas hifas de fungos do solo.

Em se tratando de fertilidade do solo, a MOS é importante na geração de cargas do solo. Por sua vez, a matéria orgânica humificada, estabilizada biologicamente, é intrinsecamente associada à fração mineral do solo, graças a sua natureza coloidal e a grupos dissociáveis, como carboxílicos e fenólicos. Exerce benefícios variados para o agricultor e para o meio ambiente. Ela é responsável pela maior parte das cargas dependentes de pH do solo. Estudos mostram que a MOS representa de 25% até 97% da CTC do solo. Ademais, podem complexar elementos como Al e outros, formando quelatos, reduzindo o

efeito tóxico deles, ou as chances de contaminação de cursos de água de superfície e subterrânea. Pesticidas também podem ser adsorvidos a moléculas orgânicas, diminuindo sua mobilidade e elevando as chances de ser biodegradadas.

A MOS pode atuar de forma positiva também sobre o P, que normalmente é fixado (adsorvido) pelas argilas 1:1 e óxidos de Fe e Al encontrados nos solos. A imobilização temporária do P na biomassa microbiana do solo permite manter o P longe do contato com os óxidos, mas sua compartimentação vai variar conforme for o manejo da matéria orgânica. As substâncias húmicas, que são formadas paralelamente à decomposição dos resíduos do solo e que possuem normalmente peso molecular e recalcitrância mais elevados, assumem papel decisivo na diminuição da adsorção de ânions fosfato por óxidos de Fe e Al. Decorre disso que, seja pela introdução de adubos fosfatados solúveis ou não, seja pela mineralização do P da biomassa microbiana do solo, as culturas terão mais chances de absorver o ânion fosfato em solos com elevados teores de MOS, do que em solos com baixos teores.

As substâncias húmicas, presentes nos adubos orgânicos ou formadas em seu processo de decomposição, também são responsáveis por parte dos importantes benefícios da matéria orgânica, como o aumento da CTC do solo, favorecendo a produtividade agrícola. Segundo Canellas e Santos (2005, p. 224):

Além de indiretamente favorecer os processos de absorção de íons mediante a formação de complexos organometálicos solúveis, as substâncias húmicas ativam rotas bioquímicas específicas tal como fazem alguns hormônios vegetais.

Em virtude de sua diversidade biológica, a aplicação de adubos orgânicos pode ter efeito supressivo sobre certos fitopatógenos no solo. A diversidade microbiana contribui para a supressão de fitopatógenos, graças a quatro tipos de interação ecológica: competição, antibiose, parasitismo/predação e indução sistêmica da resistência do hospedeiro. A compostagem pode ser considerada um meio de multiplicação de agentes de controle biológico de fitopatógenos no solo, a exemplo de espécies de *Trichoderma* (*Trichoderma asperellum* e *Trichoderma hamatum*) e *Aspergillus* spp., reconhecidas como agentes no controle biológico, em virtude de sua alta capacidade de competição e indução de resistência sistêmica. Efeitos supressivos foram identifi-

cados em diversos gêneros de fitopatógenos, como: *Fusarium* sp., *Pythium* sp., *Phytophthora* sp. e *Rhizoctonia* sp.

7.8 Qualidade e valor do adubo orgânico

Adubos orgânicos são comercializados principalmente com base no volume, pois geralmente se comercializa a carga fechada de um caminhão. Mas os efeitos do fornecimento de nutrientes e de condicionamento do solo são dimensionados com base na massa seca do produto, pois os teores de nutrientes e de matéria orgânica são calculados com base na massa seca da amostra. Desse modo, para se avaliar a capacidade de fornecimento de nutrientes de um fertilizante orgânico, é necessário converter o volume da carga em quantidade de massa seca presente. Quando o objetivo é o condicionamento do solo, proporcionado pela matéria orgânica, deve-se também levar em conta o teor de carbono ou de matéria orgânica. É comum encontrar adubos orgânicos que, além de apresentarem muita umidade, estão misturados com solo ou areia. Como a densidade do solo ou da areia é aproximadamente 10 a 20 vezes maior que a densidade da matéria orgânica, basta misturar um pequeno volume desses materiais para reduzir significativamente o teor de matéria orgânica do material.

Quando o objetivo principal é o condicionamento do solo, deve-se basear no teor de matéria orgânica do material; mas também é importante levar em conta o grau de humificação do adubo orgânico. Materiais orgânicos frescos, com elevados teores de açúcares solúveis, amido, proteína e celulose, possuem menor capacidade de condicionamento do solo do que materiais estabilizados e maduros, com elevado grau de humificação.

7.9 Manejo da matéria orgânica para conservação da fertilidade

Vários sistemas de produção e de manejo permitem a preservação ou o retorno dos estoques de C do solo quanto à qualidade compatível com a obtenção de boas produtividades, pois é errôneo pensar que, obrigatoriamente, tem-se que atingir os níveis de C encontrados sob a

vegetação original da área. Neste item, são apresentados alguns exemplos de sistemas produtivos e de manejo da vegetação com potencial de ser replicados com sucesso em várias situações agrícolas fluminenses.

O componente arbóreo ou o arbustivo, em alguns sistemas conhecidos como agroflorestais, funcionam também como adubos verdes; porém, preferiu-se citá-los separadamente, como forma de evidenciar os benefícios adicionais do hábito de crescimento dessas plantas, em comparação com aqueles em que são utilizadas espécies herbáceas de hábito ereto ou escandente. São eles:

7.9.1 Adubação verde de sistemas de produção de culturas anuais

Esse assunto é abordado com detalhes no Capítulo 8.

7.9.2 Arborização de pastagem e de agroecossistemas

As espécies arbóreas plantadas com essa finalidade geralmente possuem algum valor comercial, além de proporcionarem ao solo ganhos de matéria orgânica e nutrientes, os quais beneficiarão também as espécies forrageiras, anuais ou perenes, plantadas em consórcio na mesma área. Várias são as alternativas de combinação de espécies a serem inseridas nesses sistemas, sendo a aptidão edafoclimática, a arquitetura de copa e do sistema radicular e a função ecológica da espécie os fatores determinantes da sua seleção.

7.9.3 Plantio em aleias

Nesse sistema, as espécies arbóreas ou arbustivas formam corredores, onde são dispostas as linhas de plantio de culturas anuais. A principal finalidade do método é tornar perene a deposição de resíduos vegetais (senescentes ou oriundos de poda) no solo. Dessa forma, pretende-se manter ou aumentar a produtividade das culturas anuais a partir da melhoria da fertilidade e do microclima local, seja pela ciclagem de nutrientes, seja pelo controle de ervas daninhas, seja, por fim, pela adição de cobertura morta. Espécies como o feijão-guandu

(*Cajanus cajan*), a gliricídia (*Gliricidia sepium*), a leucena (*Leucaena leucocephala*) e o ingá (*Inga* spp.) têm sido utilizadas nesses sistemas, por possuírem copa mais aberta e proporcionarem a passagem de luz para outras culturas, além de apresentarem elevada capacidade de rebrota. Esse sistema permite uma cobertura constante do solo, reduzindo, assim, a intensidade dos processos erosivos.

7.9.4 Manejo do pousio

O sistema de agricultura migratória ou de pousio é aquele em que o agricultor rotaciona áreas de uso com áreas sem uso agropecuário, podendo essa ser uma área de vegetação nativa. Esse sistema permite que a área seja mantida com cobertura vegetal natural, diminuindo, assim, a exposição do solo aos agentes erosivos (vento e água), além de reduzir a pressão sobre os remanescentes florestais nativos, como fonte de madeira para uso local. A introdução de espécies pioneiras ou secundárias iniciais fixadoras de N₂ atmosférico – como o ingá (*Inga edulis*), o vinhático (*Plathymenia foliosa*), o mongolo-jacaré (*Parapiptadenea gonocanta*) e o angico-vermelho (*Anadenantera macrocarpa*) – pode contribuir para a diminuição do tempo de pousio, pela restauração antecipada da fertilidade de solos degradados. Vale ressaltar que se deve dar preferência a espécies nativas da flora brasileira nos programas de enriquecimento de capoeiras.

7.9.5 Plantio de contorno ou em terraços

Em áreas de relevo suave-ondulado e ondulado utilizadas para cultivo agrícola, espécies arbóreas, arbustivas ou mesmo gramíneas, como capim-vetiver (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash), capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) e capim-colonião (*Panicum maximum*), são plantadas em curva de nível, de modo a formarem barreiras contra o escoamento superficial da água e, assim, reduzir a erosão hídrica do solo. O plantio de árvores e arbustos nas cristas de terraços tende a estabilizar o solo por meio do seu sistema radicular profundo e da serapilheira depositada sobre o solo, além de protegerem a cultura intercalar contra os ventos excessivos e assim reduzir a perda de umidade do solo, que favorece a erosão eólica.

7.9.6 Cercas vivas e moirão vivo

Espécies arbóreas, arbustivas ou gramíneas e herbáceas podem ser inseridas em faixas, como cercas vivas, nos sistemas agropecuários de produção, preenchendo as funções de proteção, abrigo e quebra-vento. O cipreste-comum (*Cupressus lusitanica*) tem sido apontado por Manual... (2008) como espécie promissora no estabelecimento de cortinas de proteção, e é encontrado em várias propriedades da Região Serrana do Rio de Janeiro. Espécies selecionadas para essa finalidade devem ser plantadas perpendicularmente à direção dos ventos, em linhas únicas ou múltiplas, protegendo as culturas de ventos quentes, frios ou secos, da deposição de poeira, de aerossóis salinos (em regiões costeiras), entre outros. Geralmente, espécies de gramíneas e herbáceas são plantadas na base das cortinas de plantas arbóreas para proteger contra a ação de ventos, que transportam partículas de solo de áreas circundantes.

O sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia*) é uma espécie nativa com grande potencial de uso como cerca viva. Além de possuir acúleos, que impedem a passagem de animais, fixa o nitrogênio em associação com bactérias diazotróficas, é tolerante à queima e suporta a poda, ou seja, rebrota com facilidade, além de possuir flores melíferas e taxa de rápido crescimento, o que proporciona uma cobertura também rápida do solo.

O moirão vivo visa ao plantio de linhas de espécies arbóreas ou arbustivas dentro ou entre propriedades rurais, dividindo piquetes ou delimitando suas fronteiras. Espécies utilizadas para esse fim, como a *Gliricidia sepium*, também podem representar um bancos de proteínas em associação com o plantio de espécies herbáceas ou arbustivas fixadores de N_2 , para aumentar a qualidade das pastagens. Dessa forma, aumenta-se a capacidade de suporte das pastagens, retardando ou mitigando os processos de degradação associados à perda da produtividade do solo e do poder de resiliência do substrato.

Em todos esses sistemas, enfatiza-se a manutenção da cobertura do solo durante todo o ano, e não apenas no período de cultivo agrícola. Essa prática visa amortecer o impacto erosivo das chuvas, atenuar as variações de temperatura na camada superficial do solo, conservar sua umidade e aumentar a estabilidade das unidades estruturais do solo (os agregados). Dessa forma, aumenta-se a resistência das forças de coesão e adesão que mantêm, unidas, as partículas primárias do solo

(argila, silte e areia), contra as forças de natureza externa, como o impacto, a abrasão e o atrito, e as oriundas do escape do ar interno dos agregados.

A inserção de leguminosas herbáceas, arbustivas ou arbóreas, que se associam com bactérias diazotróficas (responsáveis pela fixação biológica de N_2 - FBN) e com fungos micorrízicos, tem sido apontada como uma alternativa ecológica e econômica para o manejo de solos tropicais. Ela permite que uma quantidade significativa de N seja incorporada aos sistemas agrícolas, diminuindo, assim, os gastos com fertilizantes e o passivo ambiental resultante do seu uso. Essa introdução adicional de N, em combinação com características bioquímicas da serapilheira (como os teores de polifenóis) dessas espécies, permite que o solo estoque mais C, com consequências positivas sobre a sua agregação na superfície, aumentando a percolação da água no perfil e diminuindo o escoamento superficial e a erosão.