



Ciclagem de nutrientes

Por Carlos Armênio Khatounian. Fonte: Dicionário de Agroecologia e Educação.

19/02/2025

Nutrientes minerais de plantas

Todos os seres vivos são compostos majoritariamente de três elementos químicos: carbono (C), oxigênio (O) e hidrogênio (H). Nas plantas, esses três elementos constituem ao redor de 95% da matéria seca, sendo que H e O provêm da água e C, do gás carbônico do ar. Nos 5% restantes, há um elenco de outros elementos químicos, coletivamente chamados de nutrientes minerais. Dentre os nutrientes minerais, três são necessários em maiores quantidades, o nitrogênio (N), o fósforo (P), o potássio (K), sendo designados como macronutrientes minerais primários, seguidos pelo cálcio (Ca), pelo magnésio (Mg) e pelo enxofre (S), chamados de macronutrientes secundários. As plantas precisam ainda, em quantidades sensivelmente menores, de boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), cobalto (Co), níquel (Ni) e zinco (Zn), que são ditos micronutrientes. O silício (Si) é também muito frequente, sendo considerado essencial para algumas plantas.

Para crescer e completar seu ciclo satisfatoriamente, as plantas precisam estar supridas de todo o conjunto. Como as plantas são fixas no solo, todos esses nutrientes precisam estar disponíveis no local em que se desenvolvem suas estruturas de absorção, particularmente as raízes. Para serem absorvidos, os nutrientes precisam estar dissolvidos na solução do solo que permeia os espaços



capilares. Dessa solução, passam às raízes e sobem até os sítios onde participam da fisiologia da planta.

Solos de diferentes regiões contêm diferentes quantidades de nutrientes minerais, e podem apresentar também elementos tóxicos, como o alumínio (Al) livre. Como as plantas são fixadas pelas raízes ao solo, elas tiveram de desenvolver, ao longo de sua evolução, mecanismos de adaptação às proporções em que os nutrientes minerais aí se apresentam, e também estratégias de convivência com elementos tóxicos.

Por essa razão, embora necessitem dos mesmos nutrientes minerais, as espécies vegetais diferem nas proporções dos elementos de que necessitam. Diferem também na capacidade de extração dos nutrientes do solo e na tolerância a elementos tóxicos. Por isso, plantas que evoluíram em diferentes ambientes, como o trigo em solos calcários sob clima semiárido temperado e o arroz em solos ácidos do trópico úmido, desenvolveram adaptações diferentes. Como consequência, pedem condições distintas para expressar plenamente seu potencial produtivo.

Particularidades da dinâmica de P, K e N no sistema solo-planta

Fósforo

Os nutrientes minerais apresentam comportamentos químicos muito distintos. Por sua importância, consideramos aqui os três macronutrientes principais.

Como regra, o P no solo não cultivado é derivado essencialmente da rocha matriz, fonte original para a absorção pelas plantas e incorporação em sua biomassa. Quando essa biomassa é decomposta, o P é liberado na solução do solo, na forma de ânions fosfato. Nessa forma, ele reage prontamente com cátions, particularmente com alumínio e ferro nos solos tropicais. Os fosfatos formados, de alumínio e ferro, são praticamente insolúveis, de modo que o fósforo se torna indisponível para a maior parte das culturas agrícolas. Esse processo é chamado de fixação do fósforo. Para não ser fixado, o P liberado precisa ser prontamente reabsorvido por uma planta em crescimento, o que requer raízes em atividade.

Quando o fósforo é aplicado como fertilizante mineral, ele sofre o mesmo processo de fixação, de modo que seu aproveitamento pela cultura normalmente é de apenas 5 a 10%. O P fixado pode ser recolocado em circulação por culturas que evolutivamente desenvolveram a capacidade de extraí-lo desses fosfatos insolúveis, como a mandioca, o feijão guandu, as mucunas e a fava mineira.

A exportação de P pelas colheitas normalmente é da ordem de algumas dezenas de kg por hectare. Como as concentrações de P na solução do solo são baixas, as perdas por lixiviação são pouco importantes na escala de tempo agrícola. A via mais importante de perda de P é a erosão do solo, no qual o P está associado ao material particulado, de modo que o controle da erosão é a principal medida para evitar perdas de P.



Potássio

Como para o P, a fonte original do K é a rocha matriz do solo. Liberado da matriz, o potássio se apresenta predominantemente como cátion K^+ , que forma sais muito solúveis, ao contrário do P. Depois do sódio (Na), o K é o metal que forma os sais mais solúveis em água, e por isso está presente em todos os líquidos das plantas.

No solo, os minerais de argila e o húmus formam uma esponja química com cargas negativas, que é capaz de reter na sua superfície íons de carga positiva, como o K^+ . Em química do solo, essa retenção superficial é chamada de adsorção, e os íons adsorvidos podem ser posteriormente absorvidos pelas raízes das plantas. A capacidade de troca de cátions (CTC) é uma medida do poder do solo em reter nutrientes com cargas positivas.

Como o K tem muita afinidade por água, uma chuva intensa é capaz de retirar K das folhas e levá-lo ao solo, onde ele será absorvido pelo complexo argila-húmus. Se a quantidade de água for muito elevada, e a CTC reduzida, parte desse K pode ser carregada pela chuva, ou pela irrigação, e descer a camadas mais profundas do solo com a água de percolação. Esse arraste com a água de percolação é chamado de lixiviação. Se o K for lixiviado para uma profundidade além do alcance das raízes, ele estará perdido para efeito da nutrição mineral da planta.

Em climas úmidos, a lixiviação usualmente conduz à perda de uma fração importante do K. Quanto mais profundo e mais denso o sistema radicular, menor é essa perda.

A exportação de K no produto colhido normalmente varia entre várias dezenas e algumas centenas de kg por hectare, dependendo do tipo e da quantidade de produto colhido. Como o K tem muita afinidade por água, a exportação é sensivelmente menor em produtos secos, como grãos, do que em produtos úmidos como cana-de-açúcar, banana ou mandioca.

Nitrogênio

Ao contrário do P e do K, o N nos sistemas naturais não provém da rocha matriz do solo, mas do ar, do qual sua forma gasosa N_2 representa cerca de 80%. Sua incorporação ao solo pode se dar por meio de descargas elétricas e, sobretudo, por meio da atividade de organismos capazes de converter sua forma gasosa N_2 em formas orgânicas. Essa conversão é dita “fixação biológica” de nitrogênio (FBN). Observe que aqui o termo “fixação” tem significado diferente de quando é utilizado para o fósforo. Dentre os vários sistemas de fixação biológica de N, a associação de leguminosas com bactérias, ditas rizóbios, é o de maior expressão na agricultura.

Depois da água, o N costuma ser o fator que mais rápida e visivelmente promove o desenvolvimento das plantas. Juntamente ao C, H e O, o N é parte integrante das proteínas, que formam as enzimas, ferramentas que medeiam todo o metabolismo do mundo vivo, inclusive a fotossíntese. Uma vez incorporado à biomassa das leguminosas, o N vai participar do desenvolvimento da planta. No final do ciclo, parte dele será direcionado para as sementes, e parte ficará nos restos vegetais que serão trabalhados pelos decompositores.



Em ambiente bem arejado, o N nos restos vegetais é convertido em nitrato (NO_3^-), um ânion com extrema afinidade pela água, de modo que, como o K^+ , está sujeito a lixiviação. Contudo, por ter carga negativa, o nitrato não é retido no complexo de troca no solo, de modo que as perdas são muito elevadas, salvo se houver um sistema radicular denso o bastante para absorvê-lo antes que seja lixiviado. Como os terrenos submetidos ao uso agrícola passam por longos períodos sem nenhuma vegetação, as perdas de nitrato por lixiviação costumam ser muito importantes.

Em função dessa dinâmica química, repor os estoques de N no solo foi exigência natural para recuperar o potencial de produção dos terrenos agricultados ao longo da história da agricultura. Para essa recuperação, a principal estratégia foi o pousio ou “descanso”, que exigia deixar o terreno fora de cultivo por vários anos. Com a invenção dos adubos nitrogenados sintéticos, os longos períodos de pousio puderam ser dispensados, passando-se a ocupar o terreno ano após ano com culturas agrícolas. Essa foi a razão de o prêmio Nobel de Química de 1918 ter sido atribuído a Fritz Jacobus Haber, alemão de origem judia que desenvolveu o processo químico de fixação de N.

Esse processo, adaptado à indústria por Carl Bosch, é o mesmo hoje utilizado para a produção da ureia ofertada no mercado de fertilizantes. Com o tempo, a utilização continuada dos adubos nitrogenados sintéticos trouxe problemas não antevistos, de modo que hoje os nitrogenados sintéticos são evitados na agricultura de base ecológica e proibidos na *produção orgânica*. Mas esse assunto foge ao foco do presente verbete.

Voltando à dinâmica do N, tanto a ureia como outros adubos nitrogenados sintéticos são convertidos em nitrato se o ambiente for bem arejado, da mesma forma que o N em restos vegetais, de modo que as perdas por lixiviação são igualmente importantes.

Além da lixiviação, o N pode ser perdido do sistema por outras vias. Quando os tecidos vegetais contendo N ou o próprio nitrato são submetidos a condições quimicamente redutoras, como é o caso de ambientes cobertos por água e com matéria orgânica abundante, o N é convertido em outras formas químicas, especialmente em amônia (NH_3) ou nitrogênio gasoso (N_2). Assim, em situações como lavouras de arroz irrigado ou lagoas de armazenamento de efluentes de criações de suínos, o N contido no material é perdido para a atmosfera por volatilização.

Outra forma de perda é por meio da urina dos animais. Em sistemas com população elevada de grandes animais, como bovídeos, essa pode ser a maior fonte de perdas de N. Os animais concentram o N digerido em sua urina, e, ao urinar, o depositam em uma área pequena, normalmente uma mancha circular com menos de um metro de diâmetro. No centro da mancha, a concentração de N pode exceder quinhentos kg por hectare, aplicada de uma vez, o que resulta em lixiviação, porque o pasto não é capaz de absorver tal quantidade de N imediatamente.

Em situação de seca, a perda de N tende a ser ainda mais expressiva. A alta concentração de N na forma de ureia, somada ao K e ao Na presentes na urina, criam um ambiente altamente salino, de modo que o pasto chega a queimar no centro da mancha. Do centro para as bordas da mancha, a concentração salina vai



se reduzindo; o pasto não chega a morrer, é fertilizado pelo N e irrigado pela água da urina, formando-se um halo verde azulado ao redor do centro queimado. No centro queimado, a ureia vai sendo convertida em NO_3^- , que aí se acumula. Com o retorno da chuva, os sais de K e de Na e o NO_3^- são dissolvidos e descem no perfil do solo com a água de percolação.

O resultado líquido desse processo é uma perda de N do sistema cada vez que uma rês urina. Essa é a principal forma de perda desse nutriente em pastagens, e leva a um empobrecimento contínuo. Os agricultores não veem essa perda, e a maioria dos agrônomos não sabe dela, mas o empobrecimento da pastagem é claramente percebido.

Essa contínua perda de N cria condições favoráveis ao estabelecimento de plantas capazes de realizar FBN, particularmente de leguminosas, que fazem a reposição no solo retirando o N do ar. Nos sistemas de pastoreio rotacionado convencionais, a reposição é feita com a aplicação de ureia cada vez que o gado é retirado de um piquete.

Em terrenos ocupados com a produção de lavouras, as subtrações de N são quantitativamente elevadas, seja pela exportação no produto colhido ou pelas perdas, especialmente por lixiviação. Por essa razão, a inserção de leguminosas na rotação/consorciação de culturas é essencial nos sistemas de base ecológica.

A essa altura, o leitor provavelmente percebeu que a dinâmica química do N é complexa, e que seu manejo adequado requer estudo e planejamento bem maior do que o dos outros nutrientes. Não há dicas. Esse verbete é apenas um estímulo à elaboração de um plano de manejo adequado ao seu sistema de produção, começando pelo mais simples e indo até o nível de complexidade exigido.

Comparando-se os movimentos de N, P e K nos ecossistemas, fica evidente que, na escala de tempo agrícola, apenas o N apresenta entradas regulares, que justificam falar em “ciclagem”. Para P, K e todos os outros nutrientes, na escala de tempo agrícola, o que de fato se observa é um movimento no sentido da terra para o mar. Esse movimento é um fluxo de perdas, que precisam ser de alguma maneira compensadas pela ação humana nos sistemas de agricultura permanente. Nos tópicos que seguem, tratamos de compreender melhor esses movimentos para reduzir as perdas, e assim reduzir a necessidade de reposição.

Ciclagem de nutrientes minerais em sistemas naturais e agrícolas

Os nutrientes minerais estão em movimento constante e complexo, e exigem que o agricultor os conheça bem para bem manejá-los. Esses movimentos se devem às características químicas de cada nutriente, aos fatores da natureza, como o clima e a fauna, e também à interferência humana. Por facilidade de exposição, dividimos esses movimentos em três categorias designadas como ciclagens natural, automática e intencional.

Ainda que o termo ciclagem possa ser inadequado do ponto de vista do fenômeno natural, ele é adequado para chamar a atenção do leitor para a necessidade de



reaproveitar todos os materiais local e regionalmente disponíveis para direcioná-los no sentido de otimizar a produção vegetal.

Ciclagem natural de nutrientes minerais

Em cada ponto da superfície do planeta, a vegetação natural ali presente está plenamente adaptada às condições de crescimento nesse local, posto que qualquer espécie pobremente adaptada é eliminada por outra de melhor adaptação. Cada planta germina, cresce, se reproduz, e para isso faz fotossíntese para gerar biomassa, captando CO_2 do ar, e água e nutrientes minerais do solo. Morta, a planta é decomposta, o CO_2 volta ao ar e os nutrientes minerais voltam ao solo, de onde serão absorvidos novamente por outra planta em crescimento. Esse processo ocorre continuamente nos ecossistemas naturais e é parte essencial do funcionamento da natureza.

Ao produzir biomassa por meio da fotossíntese, a partir de água e CO_2 , a planta absorve e incorpora os nutrientes minerais, que passam a fazer parte de si. A biomassa produzida é fonte de alimento para herbívoros e decompositores, e, quando decomposta, libera os nutrientes minerais simultaneamente à liberação de CO_2 e água. Os nutrientes sobem do solo à planta, e descem depois da planta ao solo. Assim, nos ecossistemas naturais, a ciclagem de nutrientes minerais está acoplada à ciclagem de biomassa e os nutrientes se movimentam predominantemente na vertical. Essa é a ciclagem “natural” de nutrientes minerais.

Ciclagem automática de nutrientes minerais

Nos ambientes manejados por humanos ocorrem os mesmos processos de fotossíntese, absorção de nutrientes minerais, produção e decomposição da biomassa. Contudo, na operação do sistema de produção agrícola acaba havendo na horizontal um intenso deslocamento da biomassa produzida, ao longo do terreno, e parte dessa biomassa é exportada como produto agrícola.

Além disso, os terrenos agricultados costumam permanecer sem ou com pouca vegetação na entressafra, de modo que nutrientes podem ser perdidos por erosão e por lixiviação. Por essas razões, a ciclagem nos terrenos agrícolas apresenta muito mais perdas, de modo que a reposição de nutrientes se torna uma necessidade, inclusive na agricultura de base ecológica. Nessa situação, a grande questão é como minimizar as perdas, para minimizar a necessidade de reposição.

Nos sistemas onde são criados animais, a biomassa e os nutrientes minerais são deslocados das áreas onde cresce sua alimentação para os espaços onde eles depositam seus dejetos, concentrando-se aí. Uma parte do terreno é fertilizada às custas do empobrecimento da outra parte. Retiros, mangueirões, pocilgas e galinheiros são espaços de concentração de nutrientes minerais. Esses nutrientes não têm utilidade na produção enquanto permanecerem nesse espaço, porque a presença constante das criações impede o desenvolvimento de plantas. Por essa razão, a forma como o esterco será coletado e transportado para as áreas de produção vegetal merece especial atenção do agricultor.

Nos sistemas de produção animal intensiva, para alimentar as aves ou porcos num barracão de 1 mil a 2 mil m^2 durante um ano, são necessárias duas a quatro



centenas de hectares de soja e de milho. Isso significa que a biomassa colhida nessas centenas de hectares terá de passar por um funil muito estreito, de modo que quaisquer perdas nesse funil são muito relevantes.

Uma das formas de deslocamento de nutrientes minerais mais usuais nos sistemas agrícolas, e que frequentemente passa despercebida, é sua concentração nas imediações da casa do agricultor. O agricultor traz lenha para seu fogão, depois joga as cinzas em algum lugar por ali. Traz milho para os animais, que são tratados e eliminam seus dejetos por ali. Traz frutas, hortaliças, palhas, cujos resíduos acabam ficando por ali. Com isso, ao longo do tempo, o entorno da habitação vai se enriquecendo em nutrientes e biomassa.

Essa movimentação que ocorre em função da operação da propriedade, usualmente sem que o agricultor perceba, é chamada de ciclagem automática. Ela se dá, sobretudo, na horizontal, empobrecendo os espaços de produção vegetal e enriquecendo os espaços onde se concentram animais e as cercanias da casa.

Ciclagem intencional de nutrientes minerais

Quando o agricultor aplica esterco, restos vegetais, cinzas etc. no ambiente de crescimento de plantas ele está intencionalmente direcionando a movimentação de nutrientes aos pontos do sistema que são de seu interesse. O ideal é que a ciclagem intencional potencialize a utilização dos nutrientes presentes no sistema, pré-existentes ou introduzidos, e que otimize seu aproveitamento para a produção biológica e econômica do sistema.

A coleta de resíduos da produção vegetal e animal para aplicar em hortas e plantações é parte dessa ciclagem intencional. Mas há um grande potencial para melhorar o aproveitamento dos nutrientes no sistema. A realização desse potencial exige, como ponto de partida, que o agricultor identifique a oportunidade, para então ajustar o manejo e/ou a estruturação do sistema de modo a captar os benefícios.

O aproveitamento dos estercos muito frequentemente é baixo, devido à dificuldade de coletá-lo. Para melhorar esse aproveitamento, é preciso que as instalações sejam projetadas prevendo a utilização dos estercos e o manejo tome em consideração o padrão de eliminação da urina e das fezes. A situação mais difícil para a coleta de estercos ocorre quando os animais são criados completamente soltos. E a mais fácil quando são criados totalmente fechados. Em contrapartida, as criações completamente soltas requerem muito menos trabalho e alimentação, posto que os animais procuram por si mesmos atender suas necessidades, enquanto a criação fechada depende totalmente do cuidado humano.

Contudo, há também situações intermediárias. Acostumar as aves a dormir dentro de um galinheiro possibilita a coleta do esterco produzido durante a noite. Um plantel de 20 a 30 galinhas, número usual na produção para consumo doméstico dos agricultores, pode gerar esterco suficiente para uma horta de 50 a 200 m², eficiente para abastecer uma família de verduras ao longo do ano. De maneira análoga, o recolhimento do gado de maior ou menor porte à noite possibilita aproveitar com relativa facilidade o esterco produzido até a manhã seguinte.



Características e cuidados com os esterco

Como ponto de partida, é preciso conceituar o que o termo “esterco” significa. Quando se coleta esterco de gado ou de cavalo num pasto, mangueirão ou retiro, o material consiste essencialmente em fezes com diferentes quantidades de umidade e estágios de decomposição. As fezes são a fração não digerida do alimento, rica em celulose, e impregnada de pequenas quantidades de nutrientes minerais (N, P, K, Ca, Mg etc.) que o processo de digestão não foi capaz de extrair.

Quando os animais são mantidos presos, sobre pisos impermeáveis, e com cama, o termo esterco é utilizado para designar a mistura que inclui, além das fezes, o material da cama e a urina. Nesse caso, sua composição e dinâmica química e biológica são diferentes. Em primeiro lugar, há o material da cama, tal como a maravalha, cascas de amendoim, casca de arroz, palhas etc. Em segundo lugar, há a urina, uma solução para a qual o corpo do animal direciona os resíduos do seu metabolismo, particularmente os produtos finais da digestão de substâncias nitrogenadas e os excedentes de sais solúveis em água, especialmente o K da forragem e o Na do sal de cozinha. Ao contrário dos nutrientes nas fezes, que apenas são disponibilizados para as plantas ao cabo de semanas ou meses, à medida que elas são decompostas por microrganismos, os nutrientes na urina são prontamente disponibilizados. O principal composto nitrogenado na urina é a ureia, de modo que a urina diluída apresenta efeitos sobre as plantas semelhantes aos da ureia de origem industrial. Pura, a urina é muito salina e pode matar as plantas.

Os excrementos de porcos seguem o mesmo padrão dos de bovinos, sendo as fezes de ação mais lenta que a urina. Contudo, como a alimentação dos porcos é composta majoritariamente por tecidos vegetais ricos em amidos e proteínas, principalmente grãos, suas fezes se decompõem muito mais rapidamente que as de herbívoros, cujo principal componente são as fibras de celulose. Como no caso dos bovinos, o melhor aproveitamento dos nutrientes nos excrementos de porcos é obtido com piso impermeável e com cama alta de material celulósico (serragem de madeira, maravalha, palhas picadas etc.). Com o constante fuçar dos porcos, a urina e as fezes acabam misturadas com o material de cama.

Com o tempo, esse material vai se umedecendo, de modo que precisa ser removido antes de se transformar em uma pasta que suje os animais. O material retirado é uma mistura pronta para o desenvolvimento das bactérias termofílicas, de modo que, acumulado em pilha, se aquece imediatamente. Esse aquecimento é muito benéfico do ponto de vista sanitário, porque elimina os propágulos de organismos patogênicos comuns aos suínos e humanos. A eliminação é tanto mais eficiente quanto mais vezes a pilha é revolvida.

O tempo para a substituição da cama varia com a relação entre a capacidade de absorção de umidade do material utilizado e a quantidade de umidade excretada pelos animais nas fezes e na urina. Como referência, uma camada de 20cm de pó deserra em uma baía de 3 x 3 m² é o suficiente para uma leitegada desmamada por um a dois meses.

Do ponto de vista da alimentação, porcos e galinhas são alimentados com os mesmos tipos de produtos, o que faria pensar em esterco com características semelhantes. Contudo, há duas particularidades no sistema digestório das galinhas



que tornam seu esterco diferente: a moela e o ácido úrico. Nas aves, a fragmentação dos alimentos ocorre na moela, uma diferenciação do estômago, com músculos potentes, que reduz o material ingerido a uma pasta muito mais fina do que os dentes dos porcos conseguem fazer. As aves e os répteis passaram por um ambiente muito seco durante seu passado evolutivo, que induziu um sistema de eliminação dos resíduos nitrogenados num composto insolúvel em água, o ácido úrico. Assim, enquanto os mamíferos precisam de muita água para eliminar a ureia, as aves não gastam água na eliminação do ácido úrico. Em uma placa de excrementos de galinha, as fezes são a placa maior, mais escura, e o ácido úrico é a parte clara, em forma de vírgula, em cima da placa. Essa vírgula clara é o equivalente à urina dos suínos e bovinos.

A fragmentação mais fina e a presença do ácido úrico tornam os excrementos de galinhas mais ricos em N e de decomposição muito mais rápida do que as fezes de suínos e bovinos. Por isso, se houver umidade, os excrementos de galinhas são rapidamente atacados por bactérias que desdobram o ácido úrico em água, gás carbônico, e amônia (gás amoníaco). O odor forte, pungente e tóxico dos barracões de frango é devido justamente à volatilização da amônia.

Para o bom aproveitamento do N dos excrementos de galinha, é preciso desidratar rapidamente o material, o que pode ser conseguido com uma cama seca. Quando o esterco de aves é armazenado úmido e puro para curtir, a maior parte do N se perde como amônia, de modo que o produto curtido é uma boa fonte de P e de K, mas não de N. As perdas de N são menores no esterco seco.

Por ser mais concentrado, o esterco de aves puro deve ser utilizado com mais cuidado, para não prejudicar as plantas. Em hortas, não convém ir além de um a dois litros de material seco por metro quadrado de canteiro. Comparativamente, o esterco de aves apresenta menores preocupações para a saúde humana do que o de suínos.

Uma questão que sempre se apresenta nessa temática é a do aproveitamento dos excrementos humanos como material fertilizante. Efetivamente, esse material tem sido utilizado há milhares de anos nos sistemas agrícolas centrados no arroz no Oriente, enquanto no Ocidente permanece como um tabu.

Do ponto de vista de sua composição e de riscos sanitários, os excrementos humanos são muito parecidos com os excrementos de suínos, valendo as mesmas considerações. A compostagem das fezes humanas sanitiza o material, tornando-o seguro como material fertilizante. A urina humana é de coleta muito mais fácil do que a de qualquer outro animal, e pode ser utilizada como fonte de N para quaisquer culturas. O cuidado é apenas diluí-la em água, para evitar a salinidade, sendo a diluição de 1:10 bem tolerada pela maioria das culturas.

No Oriente, os excrementos humanos tradicionalmente são aplicados diretamente nas culturas, particularmente nos tabuleiros de arroz, sem compostagem. Disso resulta uma contaminação ambiental generalizada por organismos presentes nas fezes humanas. Para contornar esse inconveniente, os povos orientais, particularmente os chineses, tomam a água fervida, na forma de chá, e as hortaliças sofrem algum tipo de tratamento térmico antes de serem consumidas.



Decomposição de biomassa e compostagem

Na operação de sistema de produção agrícola, sempre há movimentações importantes de biomassa na horizontal, e parte dessa biomassa pode acabar empilhada em determinados pontos do sistema. Esse material sofrerá a ação de organismos de tamanho variado, resultando num produto escuro, friável, de cheiro agradável, com elevado potencial fertilizante.

Quando o material empilhado é rico em substâncias de fácil ataque por microrganismos, como carboidratos simples e compostos nitrogenados, e a pilha é arejada, ocorre um rápido aquecimento até pouco acima de 60°C. Esse aquecimento seleciona bactérias termofílicas, que se tornam os principais agentes decompositores. O aquecimento da pilha não é uniforme; ocorre em uma calota abaixo da superfície da pilha. Na superfície, falta água, e no centro, falta arejamento. Ao cabo de poucas semanas, a calota esfria, porque o material aí presente atacável pelas bactérias termofílicas se esgotou. Se a pilha for revolvida, volta a se aquecer, em função de o material da parte externa e do centro da pilha, redistribuídos, realimentarem a calota. Assim, quanto mais frequente o revolvimento, mais rápida é a decomposição e mais efetivo o tratamento térmico sobre toda a massa da pilha. O material resultante desse processo é chamado de composto, apresenta elevado potencial fertilizante, reestruturador e recolonizador do solo.

Quando a pilha é composta por materiais predominantemente celulósicos e com baixo teor de N, como as palhas de cereais, folhas senescidas de árvores e resíduos de serraria, o aquecimento não ocorre. Falta alimento para as bactérias termofílicas. Nesse caso, a decomposição envolverá outros organismos, ocorrerá a frio, e muito mais tempo será necessário para se chegar ao material fertilizante, semelhante ao composto. Uma variedade muito maior de organismos trabalhará sobre o material, de maneira similar à que ocorreria na serapilheira de uma floresta. Nesse caso, a eliminação de propágulos de patógenos é menos eficiente, porque não há tratamento térmico.

A dinâmica do N, do P e do K segue padrões diferentes nas pilhas, independentemente de a decomposição ocorrer a frio ou a quente. O N sempre é perdido, seja na forma de amônia volatilizada ou nitrato lixiviado. Pode-se tentar reduzir as perdas, mas estancá-las totalmente é impossível. O P se mantém no material, sendo as perdas de muito pequena monta. A situação com o K é em função da quantidade de água que percola através da pilha. Como o K é muito solúvel, a água de percolação o carrega para o solo abaixo da pilha, concentrando-o aí.

O resultado conjunto desses processos é uma mudança na proporção entre os nutrientes N, P e K. Em comparação com o material colocado na pilha, o composto pronto é proporcionalmente mais rico em P e mais pobre em N e K. Para o K, o empobrecimento é tanto maior quanto mais água tiver percorrido a pilha.

Disso resulta que a aplicação continuada de composto faz aumentar os teores de P no solo, mas não os de N ou de K. O mesmo fenômeno de aumento dos teores de P ocorre com qualquer outra forma de aplicação de biomassa, embora num ritmo mais lento.



Cinzas

Da biomassa seca das plantas, como referência, 95% são compostos por C, H e O, sendo os 5% restantes constituídos de nutrientes minerais. Do ponto de vista químico, queimar significa reagir com oxigênio, de modo que os elementos presentes na biomassa são convertidos em óxidos. Os óxidos que são gasosos volatilizam, como é o caso do gás carbônico (CO_2), da água (H_2O) e do óxido de enxofre (SO_2). Os óxidos que são sólidos permanecem no local da queima, e são coletivamente chamados de cinzas, sendo os principais o de cálcio (CaO), o de magnésio (MgO), o de potássio (K_2O) e a sílica (SiO_2). As proporções entre esses óxidos dependem do tipo de biomassa queimada.

A sílica é um material inerte que, na forma líquida, forma o vidro. Na palha da cana de açúcar, 70% das cinzas é sílica, de modo que se formam pedras de vidro nos fornos das usinas. Ao contrário da sílica, os óxidos de cálcio, de magnésio e de potássio são muito reativos. Quando umedecidos, formam os respectivos hidróxidos, de reação fortemente alcalina. Por isso, quando são aplicados no solo, não apenas aportam nutrientes como corrigem a acidez. Quando aplicados sobre plantas, desfavorecem o ataque de fungos, que, de maneira geral, preferem meios ácidos. Além disso, o K é o elemento de maior efeito protetor, contribuindo sobremaneira para a sanidade vegetal.

Por essas razões, as cinzas são um recurso valioso, cuja utilização merece uma atenção especial no sistema de produção.

Ciclagem de nutrientes, consumo doméstico e segurança alimentar

Um espaço privilegiado para a produção vegetal, mas pouco aproveitado, é o entorno da casa de moradia, a que aludimos na ciclagem automática. Além de biomassa e nutrientes minerais, há maior disponibilidade de trabalho e de água. Biomassa, nutrientes minerais, trabalho e água tornam esse entorno a área de maior potencial de produção na maior parte dos sistemas agrícolas.

Mas esse espaço costuma ser pouco aproveitado, devido a uma falha na percepção desse potencial, e devido à presença de criações soltas. Os agricultores percebem que as galinhas e porcos criados fechados não produzem bem como os criados soltos, e por isso relutam em fechá-los. Mas as criações soltas impedem o pleno aproveitamento do potencial de produção do entorno da casa.

Uma alternativa para conciliar o aproveitamento do potencial de produção com as criações soltas é cercar uma área nas proximidades da casa, e cultivá-la intensivamente. Para fertilizar esse cercado são conscientemente direcionados todos os resíduos trazidos para as proximidades da habitação, convertendo essa parte da ciclagem automática em uma ciclagem intencional. A proximidade da habitação permite transformar em produção vegetal qualquer pequeno período de tempo disponível. Uma pequena parte do cercado, a critério do agricultor, pode receber hortaliças que necessitem de irrigação.

Um cercado com 1 mil a 2 mil m^2 , com 20 a 100 m^2 irrigados, assim localizado e manejado, pode abastecer a maior parte da alimentação de uma família de três a cinco pessoas ao longo do ano. Na parte sem irrigação pode-se cultivar produtos como mandioca, milho verde, pipoca, amendoim, abóboras, feijões, batata-doce,



quiabo, gengibre, pimentas etc. Na pequena fração irrigada podem ser produzidos, de acordo com a estação do ano e a região, couve, repolho, alface, cenoura, vagem, cheiro-verde, cebola de cabeça etc. O entorno dessa área e a cerca em si são um espaço privilegiado para plantas como o guandu e trepadeiras, como a orelha de padre (*Dolichos lablab*), as favas, o maracujá, o chuchu etc. Na experiência pessoal do responsável por esse verbete, uma hora de trabalho por dia pode ser o suficiente para conduzir um cercado desse tipo, dependendo das dimensões e da complexidade das plantas cultivadas e do conhecimento e habilidade das pessoas envolvidas.

Uma visão de conjunto

À luz dos variados aspectos trazidos à tona nesse verbete, compreende-se como e porque a organização da propriedade e o manejo das lavouras e criações afetam o aproveitamento dos nutrientes minerais disponíveis no sistema de produção.

Na agricultura de base ecológica, uma parte significativa do sucesso está no conhecimento pelo agricultor de como cada nutriente se comporta, de forma que as quantidades presentes de cada nutriente possam ser utilizadas da melhor maneira possível. Por exemplo, envidando esforços para evitar as perdas de potássio sob as pilhas de biomassa, manejando as criações de modo a otimizar o aproveitamento de esterco e disciplinando o destino dos resíduos do material trazido para a residência para fertilizar o cercado.

O conhecimento potencializa a utilização dos nutrientes, mesmo quando eles estão em quantidades limitadas. Isso não quer dizer, no entanto, que é indesejada a incorporação de material fertilizante, químico ou orgânico, de fora do sistema. Um solo pobre em fósforo, como é usual no Brasil, pode produzir bem mandioca, arroz e guandu, por exemplo. Mas se ele for fertilizado com esse nutriente poderá produzir bem uma maior variedade de culturas. De forma análoga, a aplicação de calcário para neutralizar o alumínio livre pode ampliar o leque de espécies cultiváveis no sistema.

Nas últimas duas décadas, houve notável expansão do uso de pós de rocha, além dos tradicionais calcário e fosfatos naturais. Os pós de rocha, aplicados adequadamente, podem promover a remineralização dos solos, engrossando o caudal de nutrientes em circulação no sistema. Também a adubação dita “química” pode contribuir nesse mesmo sentido.

No entanto, o ponto central desse verbete é chamar a atenção do leitor para os processos envolvidos, de modo que, qualquer que seja o tamanho do estoque de nutrientes no sistema, o agricultor tenha elementos para gerenciá-lo com a maior eficiência possível.

Para saber mais:

Com o objetivo de permitir ao leitor um voo mais alto e ao mesmo tempo um mergulho mais profundo no assunto, comentamos a seguir três obras, sem a pretensão de esgotar o assunto.



[1] JENKINS, J. The humanure handbook. White River Junction, VT, Chelsea Green Publishing, 1999. 301p. É um texto prático e bem-humorado de um autodidata em compostagem, que desde o final da década de 1970 vem compostando os excrementos de sua própria família e utilizando o composto para produzir alimentos.

[2] KHATOUNIAN, C. A. A reconstrução ecológica da agricultura. Botucatu: Editora Agroecológica/ Instituto Agrônomo do Paraná, 2001. 345p. Texto de base sobre a agricultura de base ecológica, que tem servido como âncora para a estruturação e manejo de sistemas de produção orientados para esse paradigma. Baseado em experiência em primeira mão do autor.

[3] NOVAIS, R. F. et al. (ed.) Fertilidade do solo. Viçosa (MG): Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p. Livro organizado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, cobre um amplo espectro de aspectos da química de solo, dinâmica de nutrientes e nutrição mineral de plantas.

Republicado do livro “Dicionário de Agroecologia e Educação”, 1ª edição: setembro de 2021. Editora Expressão Popular LTDA / Idioma original: Português. Editado pela RAÍZES. Disponível em: https://www.epsjv.fiocruz.br/sites/default/files/dicionario_agroecologia_nov.pdf
