

Protocolo para coleta de amostras e quantificação do carbono no solo da agricultura de baixo carbono

A preocupação com as mudanças climáticas globais pelo aquecimento devido às emissões dos Gases de Efeito Estufa (GEE) oriundos das atividades humanas possibilita que diferentes segmentos produtivos e econômicos explorem mercados e negócios diferenciados, como aqueles que valorizam a produção agropecuária com menor saldo de emissão dos GEE.

Nesse contexto, está prevista a “agricultura de baixo carbono” nas agendas de promoção do desenvolvimento rural sustentável e políticas setoriais, como os planos ABC, ABC+ e Caminho Verde Brasil, contemplando tecnologias como estratégias ou práticas de manejo que visam aumentar os estoques de carbono (C) no solo e diminuir as emissões pelos cultivos.

Com essas estratégias, além de praticar uma agropecuária mais conservacionista, produtiva e adaptada às mudanças do clima global, agrega valor aos produtos com menor saldo de emissão dos GEE e com ganhos de C no solo como componente da matéria orgânica.

Assim, o teor de C do solo deve ser mensurado e monitorado, sendo, para isso, necessária orientação padronizada para a amostragem do solo e quantificação dos teores e estoques, considerando, sobretudo, a diversidade dos sistemas produtivos e dos ambientes de produção.

Esse protocolo tem potencial para ser aplicado ou subsidiar as metodologias para a determinação do teor e estoque de C do solo de diversos programas e das marcas-conceito já estabelecidos ou em desenvolvimento.

Ao iniciar o planejamento para execução sugere-se a leitura deste resumo e na sequência o texto completo na publicação *Protocolo para coleta de amostras e quantificação do carbono no solo da agricultura de baixo carbono*, disponível para download pelo QR code ao final deste documento.

1. Coleta de amostras do solo na agricultura de baixo carbono

Definir a época do ano e condições para a coleta das amostras de solo (Passo 1)

Passo 1

Escolher a época do ano com a maior umidade no solo (estado friável) e antes de qualquer operação de aporte de materiais ou resíduos orgânicos na superfície do solo e/ou revolvimento do solo, com ou sem a aplicação de calcário. Quando efetuado o revolvimento do solo e sem a aplicação de calcário, a coleta deve ser realizada após 90 dias. Com revolvimento do solo e aplicação de calcário, a coleta deve ser realizada após 1 ano. Com a aplicação de esterco ou material oriundo de compostagem, a coleta deve ser realizada após 1 ano.

As áreas de interesse ou cultivo são homogêneas?

Não (Passo 2) - Definir as áreas homogêneas

Sim (Passo 3) - Definir os componentes ou estratos vegetais

Passo 2

Uma área homogênea é obtida pela menor variação do relevo (forma, posição na encosta e exposição ao sol), classe de solo e/ou textura, sistemas de cultivo ou culturas, arranjos de cultivo (anuais, pastagens, árvores ou arbustos, sistemas integrados), histórico de cultivo, estado das culturas e manejo. Também são separadas as áreas com irrigação, especialmente, aquelas por aspersão ou inundação. Poderá englobar mais de um piquete ou talhão, ou qualquer outra forma de divisão.

Passo 3

a) Único componente ou estrato: São áreas com monocultivos, como as lavouras anuais, pastagens, cana-de-açúcar, frutíferas, cafezal, floresta natural ou plantada (espécies comerciais), assim como o sistema Integração Lavoura-Pecuária (ILP) em suas diferentes fases de cultivo.

b) Diversos componentes ou estratos: São áreas com cultivos consorciados ou integrados na condição de renques, linhas ou dispersas com árvores ou arbustos de espécies nativas ou exóticas, frutíferas. Inclui os sistemas Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) ou agrossilvipastoril, Integração Pecuária-Floresta (IPF) ou silvipastoril ou Integração Lavoura-Floresta (IPF) ou agroflorestal e, aqueles definidos como Sistemas Agroflorestais (SAFs).

Definir a área de referência ou linha de base (Passo 4)

Passo 4

A área de referência é aquela com vegetação natural preservada, enquanto, a área de linha de base é a condição de cultivo e manejo que terá aplicação de práticas ou tecnologias que preconizam o aumento do carbono no solo. A escolha e delimitação utilizará os mesmos critérios da definição da área homogênea.

Demarcar as faixas representativas em cada área homogênea (Passo 5)

Passo 5

Servirá para a coleta de amostras de solo e monitoramento ao longo do tempo. De acordo com o tamanho da área homogênea, o número e tamanho de cada faixa representativa são definidos pelos seguintes critérios:

- a) até 5 ha: mínimo de 3 faixas de 50 x 50 m.
- b) 5 a 10 ha: mínimo de 4 faixas de 50 x 80 m.
- c) 10 a 25 ha: mínimo de 5 faixas de 100 x 100 m.
- d) 25 a 50 ha: mínimo de 8 faixas de 100 x 100 m.
- e) maior 50 ha: fracionar para incluir no critério "d".

f) menor 3 ha: tamanho das faixas pode ser reduzido ou ajustado (largura e comprimento), desde que contemple todos os estratos ou componentes.

g) áreas com limitação de formato (ex. curvas de nível/terraços, áreas estreitas): delimitar as faixas dentro do espaço possível, desde que contemple todos os estratos ou componentes.

Preencher a ficha de descrição geral (Passo 6)

Passo 6

a) Nome do proprietário; b) Número ou código da área; c) Data; d) Localização: município, estado e coordenadas geográficas; e) Histórico de cultivo na linha do tempo; f) Cultura anterior e tempo de cultivo; g) Cultura atual e tempo de cultivo; h) Práticas de adubação e calagem: tipo, frequência e quantidade; i) Sistema de manejo: sistema de plantio direto, cultivo convencional, cultivo mínimo (semeadura direta - pousio); j) Arranjo produtivo: anual, perene ou integrado; l) Sistema de pastejo: contínuo, rotacionado ou alternado; m) Pastagem: implantada, recuperada ou degradada; n) Resíduo vegetal: mantido ou removido; o) Espécie e raça animal; p) Tipo de exploração: pecuária de corte: cria, recria, engorda ou recria e engorda; pecuária leiteira; q) Irrigação: tipo e quantidade; r) Outras informações relevante.

Calcular a proporção de cada componente ou estrato (Passo 7)

Passo 7

Nas áreas consorciadas ou integradas, como definido no Passo 3b, pode-se calcular a proporção (% / 100) na faixa representativa e cada componente ou estrato (formas de cultivo), da seguinte forma: i) diretamente pela estimativa da proporção de cada componente ou estrato; ou, ii) determinar a área total da faixa e a área total de árvores, calculando a proporção do estrato arbóreo ($PEA = \frac{[\text{área total} - \text{área de árvores}]}{\text{área total}}$) e proporção do estrato não arbóreo ($PENA = 1 - PEA$). A proporção de cada componente ou estrato será utilizado no cálculo do estoque total de carbono (Passo 19).

Definir a espessura das camadas para a coleta do solo (Passo 8)

Passo 8

As camadas padrões são 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm. É opcional a divisão da camada 0-10 cm em 0-5 e 5-10 cm, ou em outras camadas. Também é opcional coletar até 100 cm de profundidade, com as camadas 40-60; 60-80 e 80-100 cm.

Marcar uma trincheira ou ponto de referência em cada faixa representativa (Passo 9)

Passo 9

Marcar em todas as faixas representativas locais para a abertura das minitrincheiras ou pontos de referência para a coleta de amostras do solo em geral, considerando os componentes ou estratos vegetais.

a) Monocultivos

Culturas anuais ou pastagens: Marcar a minitrincheira no ponto central. Esta situação se aplica também para áreas de vegetação campestre, pastagem natural ou campo limpo.

Árvores ou arbustos: Marcar a minitrincheira na parte central e entre as linhas de árvores ou arbustos. Na área de vegetação natural florestal ou arbustiva, evitar posicionar embaixo da copa isolada.

b) Cultivos consorciados ou integrados

Na parte com culturas anuais ou pastagens, seguir o mesmo que em monocultivo de culturas anuais ou pastagens (Passo 9a). Na parte com árvores em linhas duplas ou mais linhas, marcar a minitrincheira na parte central entre as linhas de árvores. Se for linha simples, marcar a minitrincheira entre as árvores.

Cuidados e observações (Passo 10)

Passo 10

Para marcação, abertura das minitrincheiras e coleta de amostras do solo evitar as áreas perturbadas (proximidades das cercas, bebedouros, cochos, manobras de equipamentos e máquinas, deposição e carregamento de fertilizantes, formigueiros, cupinzeiros, faixas de enleiramento ou montes em caso de destoca ou arranquio de pedras) e locais com grande quantidade de serapilheira (folhas, galhos e troncos). Caso tenha ocorrido incêndio ou queimadas, avaliar a presença de carvão, anotando o volume (%) após a separação manual.

O solo tem materiais grossos e endurecidos ou está solto? (Passo 11)

Não (Passo 12a) - Coletar amostras para a densidade do solo

Sim (Passo 12b) - Coletar amostras para a densidade do solo

Passo 11

Materiais minerais grossos resistentes ou endurecidos como o quartzo, fragmentos de rocha ou pedra, petroplintita (nomes comuns: canga, laterita, piçarra, couraça ou carapaça).

Passo 12

Cavar minitrincheira de 30 cm x 50 cm para coleta de amostras de solo até a camada de 40 cm de profundidade e de 50 cm x 110 cm para a coleta de solo até 100 cm de profundidade.

a) Solo sem material mineral grosso ou solto

Delimitar as camadas com as espessuras definidas no Passo 8. Retirar a camada de serapilheira (folhas, galhos e matéria orgânica em decomposição) da superfície com cuidado para não revolver o solo. O volume mínimo de solo por camada deve ser próximo de 300 cm³. Para obter este volume com anéis de 100 cm³, coletar três anéis para cada camada, sendo 1 anel para cada uma das três paredes da minitrincheira, enquanto que, para o anel de 300 cm³, coletar 1 anel de cada camada na parede do perfil mais representativa.

b) Solo com material mineral grosso ou solto

O método da escavação é recomendado para solos com grande quantidade de materiais grossos como definido no Passo 11 ou solto (arenoso ou recém revolvido). Quando o volume de materiais grossos estiver entre 15 e 30%, abrir um buraco com volume mínimo de 400 cm³, de 30 a 50% o volume de 700 cm³ e com mais de 50% o volume de 1000 cm³. Para solos soltos, após a alocação das minitrincheiras, abrir um buraco de no mínimo 400 cm³ de volume. Procedimentos de coleta em cada camada, consultar o documento completo.

Coletar amostras de solo para o carbono e a granulometria (Passo 13)

Passo 13

Em todas as faixas representativas, na minitrincheira para a coleta da densidade do solo e no seu entorno. Coletar uma amostra do solo em cada camada na minitrincheira e no entorno com o mínimo de 5 amostras por camada e juntar no balde. Procedimentos de coleta em cada camada, consultar o documento completo.

Homogeneizar o solo de cada camada no balde e separar pelo menos 600 g em saco plástico. Identificar o ponto (piquete, gleba ou faixa) e a profundidade da coleta na parte externa do saco com fita (caneta permanente), acrescentando dentro do saco uma etiqueta de papel grosso com a mesma identificação.

- *OBS: manter todo o material coletado, incluindo raízes, pedras ou outros materiais que será avaliado nos Passos 15 e 16.*

2. Quantificação do carbono e granulometria do solo na agricultura de baixo carbono

Determinar a densidade do solo (Ds) (Passo 14)

Passo 14

a) Solo sem material mineral grosso ou solto

Obter o volume exato do cilindro metálico utilizado na coleta das amostras de solo denominado de volume de solo (vs). Repetir ao menos 3 vezes este procedimento.

Transferir a amostra de solo de cada camada obtida no Passo 12a para um recipiente metálico, enumerado e com massa conhecida e anotada. Levar o recipiente metálico contendo o solo para secar em estufa a 105°C por 24 horas. Retirar, esperar esfriar à temperatura ambiente e em balança semianalítica (precisão de duas decimais) e obter a massa do solo seco + recipiente. Na sequência, determinar a massa de solo seco ($M_s = [\text{massa do solo seco} + \text{recipiente}] - \text{massa recipiente}$) e a densidade do solo ($D_s = m_s / v_s$). Para maiores detalhes, consultar o documento completo.

b) Solo com material mineral grosso ou solto

Transferir a amostra de solo de cada camada obtida no Passo 12b para um recipiente metálico, enumerado e com massa conhecida. Levar o recipiente metálico contendo o solo para secar em estufa a 105°C por 24 horas. Retirar, esperar esfriar e em balança semianalítica (precisão de duas decimais) obter a massa do solo seco + recipiente. Na sequência, determinar a massa de solo seco ($M_s = [\text{massa do solo seco} + \text{recipiente}] - \text{massa recipiente}$). Buscar o volume ocupado pelo solo determinado na equação do Passo 12b e obter a densidade do solo e a densidade do solo ($D_s = m_s / v_s$). Para maiores detalhes, consultar o documento completo.

Preparo das amostras do solo para o carbono e a granulometria (Passo 15)

Passo 15

a) Amostra sem material mineral grosso

Destorroar manualmente a amostra de solo de cada camada obtida no Passo 13 e secar ao ar ou em estufa a 40°C. Esperar esfriar, macerar todo o solo (pode ter auxílio de rolo de madeira) e peneirar em malha de 2,00 mm e separar o solo fino. O material orgânico (folhas, galhos e raízes, carvão) retido na peneira pode ser descartado. Para maiores detalhes consultar o documento completo.

- *OBS: quando aplicar o cálculo do estoque de C conforme Passo 18a: colocar o solo fino em proveta com marcação volumétrica e ajustar com batidas suaves no recipiente e obter volume do solo fino (v_{sf}). Do solo fino da proveta, obter a massa do solo fino (m_{sf}) em balança semianalítica (precisão de duas casas decimais) e a densidade do solo fino ($D_{sf} = m_{sf} / v_{sf}$).*

b) Amostra com material mineral grosso

Destorroar manualmente a amostra de solo de cada camada obtida no Passo 13 e secar ao ar ou em estufa a 40°C. Esperar esfriar e colocar em proveta com marcação volumétrica após o ajuste com batidas suaves no recipiente e obter o volume total da amostra (v_{ta}) que será utilizado no Passo 16. O material orgânico (folhas, galhos e raízes, carvão) retido na peneira pode ser descartado. Para maiores detalhes consultar o documento completo.

Determinar a proporção de materiais grossos e endurecidos do solo (Passo 16)

Passo 16

Macerar a amostra de solo do Passo 15b e peneirar em malha de 2,00 mm e separar o solo fino. Colocar o solo fino em proveta com marcação volumétrica, ajustar o solo fino com batidas suaves no recipiente e obter volume do solo fino (vsf). Obter o vta determinado no Passo 15 e calcular a proporção dos materiais grossos ($PMG = [vta - vsf] / vta$). Para maiores detalhes, consultar o documento completo.

- *OBS: quando aplicar o cálculo do estoque de C conforme Passo 18a, do solo fino da proveta, obter a massa do solo fino (msf) em balança semianalítica (precisão de duas casas decimais) e a densidade do solo fino ($Dsf = msf / vsf$).*

Determinar o carbono (C), frações granulométricas e textura do solo (Passo 17)

Passo 17

a) Carbono total (C total)

Diferentes métodos podem ser utilizados, como o método de combustão à seca - via seca (Método Dumas) do CHN-S e TOC. É possível utilizar os métodos que aplicam técnicas como o infravermelho próximo (NIR), infravermelho próximo-visível (Vis-NIR) e infravermelho médio (MIR); espectroscopia de quebra induzida por laser (LIBS); espalhamento inelástico de nêutron (INS), também conhecido como análise de raios gama estimulada por nêutrons ou espectroscopia. O teor de C total é obtido de forma automática em %, sendo necessário multiplicar por 10 para obter o resultado em $g\ kg^{-1}$. Para maiores detalhes, consultar o documento completo.

b) Carbono orgânico (C org)

O método de oxidação via úmida (Walkley-Black) não é recomendado, mas pode ser utilizado quando nenhum outro método estiver disponível. O teor do C org é obtido em $g\ kg^{-1}$. Caso tenha o valor em %, deve ser multiplicado por 10 para se obter em $g\ kg^{-1}$. Para maiores detalhes, consultar o documento completo.

c) Determinação das frações granulométricas e do grupamento textural

São obtidos os teores de areia total (2 a 0,053 mm), silte (0,053 a 0,002 mm) e argila total (< 0,002 mm). Assim como para o C, os teores são expressos em $g\ kg^{-1}$, sendo o valor em % multiplicado por 10. A partir dos teores das frações granulométricas é obtido o grupamento textural (arenosa, média, argilosa, muito argilosa e siltosa). Para maiores detalhes, consultar o documento completo.

Calcular o estoque de C de cada camada e total do solo (Passo 18)

Passo 18

Obtido para cada camada e total do solo, cada componente ou estrato e faixa representativa, tanto para as áreas de referência ou linha de base, quanto para as áreas de interesse ou cultivo com aplicação de práticas de manejo ou cultivo. Há diferentes fórmulas para o cálculo, sendo a escolha de acordo com as exigências ou expectativas, especialmente para aquelas com inclusão da correção por equivalência da massa do solo:

a) Estoque do carbono usando densidade do solo fino, proporção de materiais grossos e sem correção da equivalência da massa de solo. As fórmulas estão no documento completo do Cap 2 e item 3.1.

b) Estoque do carbono usando densidade do solo, proporção de materiais grossos e correção da equivalência da massa de solo. As fórmulas estão no documento completo do Cap 2 e item 3.2.

Estoque total de C do solo em faixas com cultivos consorciados ou integrados (Passo 19)

Passo 19

Em cada faixa representativa, multiplicar o estoque total de C do solo pela proporção (decimal) de cada componente ou estrato como definido no Passo 7. Somar o estoque de C do solo proporcional de cada componente ou estrato. As fórmulas estão no documento completo do Cap 2 e item 3.3.

Formas para representar o estoque total de C do solo (Passo 20)

Passo 20

O estoque total de C é obtido em $t\ ha^{-1}$ ou $Mg\ ha^{-1}$. Para obter em $kg\ m^{-2}$, dividir o estoque total do C por 10.



Fotos: Ademir Fontana

Este protocolo tem como base a série Documentos 243 produzida pela Embrapa Solos e que pode ser baixada pelo QR code a baixo.



Embrapa Gado de Corte, 2025