



O nosso objetivo é **facilitar a conservação e a regeneração dos solos degradados.**

VERCOCHAR é um projeto Interreg MAC, cujo objetivo é melhorar a resposta das populações e ecossistemas aos efeitos das mudanças climáticas, através da adoção de ações de mitigação .



www.vercochar.com



Gestão do solo

Guia de campo e manual técnico



www.vercochar.com

Instituto Canário de Investigações Agrárias (ICIA)

Estación de Investigación Hortícola de Santa Lucia de Tirajana.

Lugar Finca San Antonio nº 3/ 35110 Vecindario/

Gran Canaria / Islas Canarias / España

Tlf.: +34 928 899637

Web: <https://www.icia.es/icia/>

<https://www.vercochar.com/>

Correo: vercochar@icia.es

Índice

Guia de campo

1. Indicadores da matéria orgânica	3
1.1. Coloração do solo	3
1.2. Estimativa da presença de matéria orgânica (MO)	4
2. Indicadores do risco de erosão.....	8
2.1. Cobertura e compactação do solo	8
2.2. Presença de sulcos e voçorocas.....	10
3. Indicadores da capacidade de infiltração	14
3.1. Porosidade	14
3.2. Estrutura	14
3.3. Textura	16
3.4. Velocidade de infiltração	18
3.5. Profundidade efetiva das raízes	20
3.6. Detecção do encrostamento do solo	21
3.7. Cobertura e compactação do solo	22
4. Indicadores biológicos	27
4.1. Minhocas (nº de minhocas/m ²)	27
5. Indicadores de salinidade e sodicidade	29

Manual técnico

1. Introdução a conservação do solo	31
1.1. Conceito e importância do solo	32
1.2. Conceito de qualidade do solo e indicadores	34
1.3. Degradação do solo e suas causas	36
2. Avaliação e diagnóstico do solo	41
2.1. Guia para a tomada de amostras	42
2.2. Avaliação mediante métodos diretos ou simples	46
2.2.1. Indicadores físicos	47
2.2.2. Indicadores químicos	52
2.2.3. Indicadores biológicos	60
2.2.4. Indicadores de produtividade nas culturas	64
2.3. Avaliação mediante métodos analíticos	66
2.3.1. Indicadores do solo que se determinam especificamente em laboratório	66
2.4. Avaliação mediante análises de imagem	68
3. Práticas de manejo para a sustentabilidade dos solos	71
3.1. Práticas sustentáveis de manejo de cultivos	72
3.1.1. Preparo do solo	72
3.1.2. Adubações orgânicas	74
3.1.3. Adubos verdes	77

3.1.4. Coberturas vegetais	79
3.1.5. Rotação de culturas	80
3.1.6. Barreiras vivas	81
3.2. Práticas sustentáveis em função do tipo de solo	82
3.2.1. Solos salinos, sódicos salino-sódicos	82
3.2.2. Solos áridos	88
3.2.3. Solos nas encostas	92

Revisão bibliográfica

1. Revisão bibliográfica	97
--------------------------------	----



Preencha os dados online digitalizando o QR
com seu telemóvel ou digitando o link abaixo
<https://forms.gle/e9yWCniqMcQn5UEe8>

Guia de campo

(Baseado em "Visual Soil Assessment – Field guide for annual crops." de Shepherd, T. G., Stagnari, E., Pisante, M. e Benites, J. (2008)).

Para conhecer a qualidade dos nossos solos deve-se avaliar todos os parâmetros, ou aqueles de interesse (em função do nosso solo) e preencher a tabela para cada indicador, levando em conta que a cada um corresponde a uma classificação visual (CV) e de acordo com uma escala numérica, sendo 2 = bom; 1 = moderado; 0 = pobre.

A atribuição destes valores a cada indicador, dependerá da qualidade do solo analisada na amostra tomada em cada parcela comparada com o solo das fotografias apresentadas neste guia de campo com os valores indicados nas tabelas correspondentes a cada parâmetro medido. A avaliação é flexível, de forma que se a amostra que se está avaliando não coincide com nenhuma das fotos, mas tem semelhança com alguma, pode atribuir-se uma pontuação intermédia.

O valor final obtido a cerca da classificação dos parâmetros de interesse nos permite conhecer que qualidades do solo constituem uma limitação produtiva e planificar as ações corretivas ou paliativas para corrigi-la (tais ações corretivas podem ser encontradas descritas no ponto 3 do Manual de Manejo do solo).

Recolha de amostras: Aspectos a ter em conta:

- O solo deve estar enxuto, sem excesso de humidade e nem extremamente seco).
- Selecionar um mínimo de 3 amostras em zonas representativas da parcela. Quanto maior for a variabilidade do solo maior será o número de medidas necessárias para conseguir um valor representativo da parcela.
- Anotar informação relevante da parcela: localização, aspectos a destacar ou informação crucial para localizar a zona de amostragem,

o histórico do seu manejo (usos, método de irrigação e fertilização, etc.), inclinação da zona de amostragem, informação climática, eventos climáticos recentes a destacar, etc.

- A amostragem pode ser feita em diferentes épocas (primavera e outono), e em diversos anos para poder comparar os resultados, ver a evolução dos parâmetros e se houve influência de fatores ambientais ou das práticas agrícolas. Se decidir fazer uma vez por ano se deve escolher a época com clima mais estável, sem condições extremas (preferencialmente a primavera) e em que o solo não foi alterado, como por exemplo, depois da colheita ou perto do final do cultivo.

1. Indicadores da matéria orgânica

A avaliação dos seguintes parâmetros pode dar uma ideia geral do conteúdo em matéria orgânica sob um determinado manejo do solo.

1.1. Coloração do solo

Para determinar a coloração do solo deve-se:

1. Pegar um torrão de terra (agregado do solo) do local de estudo.
2. Retirar um torrão do solo de referência. Se considera solo de referência aquele procedente de uma área protegida ou não perturbada.
3. Comparar a mudança de cor de ambos os torrões. Compare os resultados com a tabela abaixo.

Classificação visual	Tipo de coloração	Descrição
2 (Bom)	Solo escuro que se assemelha ao do solo tomado em local protegido.	Denota altos níveis de matéria orgânica (> 5%).
1 (Moderado)	A cor é um pouco mais clara que o solo de referência.	Solo com um nível médio de matéria orgânica (2-5%).
0 (Baixa)	A cor é significativamente mais clara que o do solo de referência.	Solo com muito baixo teor em matéria orgânica (< 0,5%).

1.2. Estimativa da presença de matéria orgânica (MO)

A presença de matéria orgânica pode ser avaliada tomando uma pequena quantidade de solo em um recipiente (bolsa, vaso, etc.). A técnica consiste em:

1. Adicione suficiente quantidade de água oxigenada para humedecer a amostra.
2. Observe a emissão, ou não de bolhas. Compare os resultados com a tabela a seguir.

Classificação visual	Tipo de efervescência	Descrição
2 (Bom)	Alta	Solo com alto teor em matéria orgânica, maior que 5%.
1 (Moderado)	Média	Solo com uma concentração intermédia de matéria orgânica, entre 2 e 5%.
0 (Baixa)	Baixa ou nula	Solo com baixo teor em matéria orgânica, menor que 0,5%.

Os níveis adequados de matéria orgânica se encontram entre 1-1,5% para cultivos de sequeiro e entre 1,5 a 3,2% para cultivos de regadio. Níveis de MO inferior a 0,5% são considerados muito baixos para o correto desenvolvimento das culturas.

Uma vez avaliados ambos os indicadores preencha a tabela seguinte com o valor obtido em cada amostra para ambos os testes.

Amostra 1

Indicador visual	Classificação visual (0, 1, 2)	Valor
Coloração do solo		
Presença de MO		
Soma de valores		

Amostra 2

Indicador visual	Classificação visual (0, 1, 2)	Valor
Coloração do solo		
Presença de MO		
Soma de valores		

Amostra 3

Indicador visual	Classificação visual (0, 1, 2)	Valor
Coloração do solo		
Presença de MO		
Soma de valores		

Compare o valor final obtido, ao fazer a soma de ambos os valores em cada amostra e obtendo a média, levando em conta o valor da tabela abaixo.

Tabela de referência

Indicador visual	Classificação visual (0, 1, 2)
Boa	> 2
Moderada	2
Baixa	< 2

Dependendo do índice de qualidade do solo obtido e desejado para a parcela, levar a cabo as práticas necessárias, como por exemplo, aplicação de corretivos orgânicos, adubação verde, etc.

2. Indicadores de risco de erosão

A medição do risco de erosão de uma parcela faz-se através de diferentes indicadores como: a cobertura do solo, a compactação e a presença de sulcos e voçorocas.

2.1. Cobertura e compactação do solo

1. Fazer um quadrado de 1x1m em um lugar representativo. A distância se pode medir em passos.
2. Avaliar o grau da crosta superficial e cobertura superficial comparando-as com as fotografias abaixo. A crosta superficial se avalia melhor depois de um período húmido seguido de seco.



Condição
boa CV = 2

Condição mo-
derada CV = 1

Condição po-
bre CV = 0

Classificação visual	Descrição
2 (Bom)	Não se aprecia compactação nem crosta superficial, ou a cobertura vegetal superficial é maior que 70%.
1 (Moderado)	Algumas sintomas de compactação ou crosta superficial. A crosta superficial apresenta uma espessura de 2-3 mm, rachada de forma significativa, ou a cobertura superficial está entre os 30-70%.
0 (Baixa)	O solo está compactado ou apresenta crosta superficial. A crosta superficial apresenta uma espessura > 5 mm, é quase contínuo com pequenas fissuras; ou a cobertura superficial é igual ou inferior a 30%.

2.2. Presença de sulcos e voçorocas

A avaliação desse indicador faz-se observando vários parâmetros tais como:

1. A erosão hídrica, para isso observa se há erosão laminar e por conseguinte formação de riachos e voçorocas.
2. A erosão eólica, se deve observar a presença de nuvens de poeira ao soprar do vento.
3. Comparar os resultados obtidos destas observações com a tabela a seguir:

Classificação visual	Descrição
2 (Bom)	Pouca ou nenhuma erosão hídrica: não existem riachos nem voçorocas. A profundidade do solo na zona alta de terrenos de encostas, tem uma diferença de menos de 15 cm com a profundidade na zona baixa da parcela. A erosão eólica não é um problema: só se levantam algumas partículas de poeira pequenas quando se fazem preparos em dias ventosos. O vento move o material, mas fica dentro do campo.
1 (Moderado)	A erosão hídrica é moderada, apresentando-se alguns riachos ou voçorocas. Diferença moderada na profundidade do solo (15-30 cm) entre a zona alta e baixa de solos em encosta. A erosão eólica é moderada, sendo significativa só em dias de muito vento, onde as partículas de poeira que se levantam ao fazer preparos podem ser transportadas.
0 (Baixo)	O solo está compactado ou com crosta superficial. A crosta superficial apresenta uma espessura > 5 mm, é quase contínua com pequenas fissuras; ou a cobertura superficial é igual ou menor que 30%.

Uma vez avaliados ambos indicadores, preencher a tabela seguinte com o valor obtido em cada amostra para ambos os testes.

Amostra 1

Indicador visual	Classificação visual (0, 1, 2)	Valor
Cobertura e compactação		
Presença de riachos e voçorocas		
Soma de valores		

Amostra 2

Indicador visual	Classificação visual (0, 1, 2)	Valor
Cobertura e compactação		
Presença de riachos e voçorocas		
Soma de valores		

Amostra 3

Indicador visual	Classificação visual (0, 1, 2)	Valor
Cobertura e compactação		
Presença de riachos e voçorocas		
Soma de valores		

Compare o valor final obtido, somando os valores em cada amostra calculando a média, com o valor da tabela abaixo.

Tabela de referência

Indicador visual	Classificação visual (0, 1, 2)
Bom	> 2
Moderado	2
Baixa	< 2

Dependendo do índice de qualidade de solo obtido e do desejado para a parcela, implementar práticas necessárias, como por exemplo, estalecimento de cobertura vegetal.

3. Indicadores da capacidade de infiltração

3.1. Porosidade

1. Com uma pá retire um extrato de solo ou pegue vários torrões.
2. Examine a porosidade da amostra.
3. Avalie a porosidade do solo, segundo o critério da tabela seguinte.

Classificação visual	Descrição
2 (Boa)	Os torrões ou agregados do solo se apresentam com muitos macroporos dentro e entre os agregados, e poucos microporos, o que se associa com uma boa estrutura do solo.
1 (Moderada)	A presença de microporos e macroporos, dentro e entre os torrões, diminuiu significativamente, mas ainda se observam ao aproximar os agregados consolidados.
0 (Pobre)	Os torrões não apresentam macroporos e predominam os microporos dentro do torrão, a superfície é lisa, maciça e com arestas ou ângulos visíveis ao quebrar-se.

3.2. Estrutura

A sua avaliação se baseia no tamanho, forma, porosidade e abundância relativa dos agregados do solo e dos torrões e se realiza mediante a sua fragmentação.

1. Pegue uma amostra de solo (um torrão ou um agregado grande, se pode usar o mesmo que o da avaliação da porosidade) e deixá-la cair no máximo três vezes desde um metro de altura sob uma base firme (por exemplo, o fundo de um balde de plástico).
2. Se os torrões grandes se separarem depois da primeira ou da segunda queda, deixa-os cair individualmente de novo uma ou duas vezes. Se um torrão quebrar e fragmentar em pequenos agregados na primeira ou segunda queda, não é necessário fazê-lo de novo.
3. Divide cada torrão a mão, através de qualquer fratura ou fissura
4. Transferir a terra para um saco de plástico grande. Mover os fragmentos mais grossos para o extremo superior e os mais finos ao extremo inferior. Isto fornece uma medida da distribuição e tamanho dos agregados.
5. Comparar a distribuição resultante dos agregados com as três fotografias e a tabela da página seguinte.



Classificação visual	Descrição
2 (Boa)	O solo apresenta uma estrutura pulverizável com predomínio de agregados finos, porosos, sem presença significativa de torrões (estrutura forte).
1 (Moderada)	O solo apresenta uma proporção significativa (50%) de torrões densos, firmes e de agregados facilmente quebradiços, finos (estrutura moderada).
0 (Baixa)	Estrutura do solo dominada por blocos grandes, densos, angulares ou torrões subangulares, com muito poucos agregados finos. É necessário muita força para fraccioná-los (estrutura débil).

3.3. Textura

1. Retire uma amostra pequena da camada superficial do solo que seja representativa do subsolo.
2. Humedeça a amostra com água até a plasticidade máxima, amassa-a entre os dedos indicador e polegar até destruir os agregados.
3. Avalie a textura do solo de acordo com o critério dado na tabela seguinte, tentando moldar a massa de solo ou o barro em uma bola.

Classificação visual	Classe textural	Descrição
2 (Boa)	Franco-limoso	Farinhenta, ligeiramente granular e pegajoso, sem fissuras. Pode-se moldar uma bola coesiva que racha quando se aperta.
1,5 (Moderadamente boa)	Franco-argiloso	Grânulos moderadamente pegajosos e plásticos. Pode-se moldar uma bola coesiva que se deforma sem fissura ao apertar-se.
1 (Moderada)	Franco-arenoso	Muito granulado e farinhenta, ligeiramente arenosa. Pode-se moldar uma bola pouco coesa que se fissura quando se aperta
0,5 (Moderadamente pobre)	Areia franca, argila	<u>Areia franca</u> : apresenta grão muito arenoso e áspero. Quase se pode moldar uma bola, mas se desintegra quando se aperta o solo entre os dedos. <u>Argila</u> : tacto muito liso, muito uniforme e muito plástica. É possível moldar uma bola coesiva que se deforma sem fragmentar-se.
0 (Baixa)	Areia	Grão muito arenoso e áspero, não permite moldar uma bola.

3.4. Velocidade de infiltração

Pode-se realizar mediante dois métodos:

Método 1

Determinar o tempo que leva a desaparecer a água encharcada depois de um período chuvoso ou de rega prolongada e compará-los com os expostos na tabela seguinte.

Classificação visual	Nº dias com encharcamento superficial	Descrição
2 (Boa)	1	Nenhuma evidência de poças de água na superfície depois de transcorrida um dia caindo chuva ou rega intensa sobre um solo quase saturado ou já saturado.
1 (Moderada)	2-3	Encharcamento superficial moderado presente até três dias depois de transcorrida uma chuva ou rega intensa sobre um solo próxima da saturação ou já saturado.
0 (Baixa)	> 5	Encharcamento superficial significativo que se mantém mais de cinco dias depois de transcorridas uma chuva ou rega intensa sobre um solo próxima da saturação ou já saturado.

Se precisar saber o grau de infiltração mas não é possível a irrigação prolongada do solo em estudo, poderá ser determinado mediante o seguinte método simples:

Método 2

Necessita-se de um cronómetro, um cilindro (por exemplo, um tubo de aço ou PVC de 15 cm de diâmetro x 10 cm de comprimento), uma tábua de madeira um martelo, uma garrafa de 0,5 L e 1 L de água.

O procedimento consiste em:

1. Coloque o cilindro no solo com a tábua de madeira em cima. Martele suavemente a tábua para enterrar o cilindro no solo até 2 cm aproximadamente. Certifique-se de que o colocou o mais reto possível. Usar os dedos cuidadosamente, para, firmar suavemente o solo somente ao redor das bordas internas do anel, evitando desta forma vazamentos adicionais. Evite perturbar o resto da superfície do solo dentro do anel.
2. Despeje lentamente de forma suave, para não alterar o solo, os 0,5 L de água dentro do cilindro.
3. Espere infiltrar a água e despeje novamente 0,5 L de água anotando o tempo transcorrido até a água desaparecer*.
4. Repeta o processo anterior em outros pontos do terreno (com a mesma declividade e textura) para comparar as diferenças que possam existir entre as velocidades de infiltração. O teor de humidade do solo vai afetar a velocidade de infiltração. Por isso, se o solo está seco, se despeje água duas vezes. A primeira quantidade molha o solo, e a segunda dá uma melhor estimativa da velocidade de infiltração do solo. No caso do solo estiver muito húmido se contabiliza o tempo a primeira vez que se despeje os 0,5 L de água.

Comparar os valores obtidos com os descritos na tabela seguinte:

Classificação visual	Velocidade de infiltração	Descrição
2 (Boa)	Rápida (< 10 minutos)	Solos com alta infiltração. Estrutura forte.
1 (Moderada)	Moderada (10 a 30 minutos)	Solos que suportam clivas moderadas. Infiltração média com presença de escoamento. Estrutura moderada.
0 (Baixa)	Lenta (> 30 minutos)	Solos alagados com baixa infiltração e forte escoamento. Se formam poços ou charcos de água. Estrutura débil ou sem estrutura.

3.5. Profundidade efetiva das raízes

Se refere a profundidade de enraizamento máxima ou potencial, a que as raízes da cultura podem chegar em condições ótimas. O final da profundidade efetiva se deteta ao não se encontrar raízes ou canais radiculares antigos, o solo está muito compacto, sem presença de galerias de minhocas, fissuras ou fendas por onde as raízes possam desenvolver.

O procedimento consiste em:

1. Cavar uma pequena vala, com uma profundidade suficiente (em função do tipo de cultivo) para poder observar a profundidade a que atinge o solo até o aparecimento de uma camada limitante ou restritiva (compactação, pedras, transição abrupta para um material muito fino, etc.).
2. Meça com uma fita métrica a referida profundidade e compare o valor obtido com a tabela seguinte.

Classificação visual	Profundidade efetiva (m)
2 (Boa)	> 0,8
1,5 (Moderadamente boa)	0,6-0,8
1,0 (Moderada)	0,4-0,6
1,0 (Moderada)	0,2-0,4
0 (Baixa)	< 0,2

3.6. Presença de encrostamento do solo

1. Cave uma trincheira suficientemente larga para que se possa ficar de pé dentro dela.
2. Enfie rapidamente uma faca na lateral da trincheira para ir observando a sua resistência. Comece perto da superfície e vai descendo. Um encrostamento do solo é compacto e firme, pelo que será extremamente resistente à penetração da faca.
3. Uma vez identificada o encrostamento do solo, meça a sua altura e o seu desenvolvimento. Pegue uma amostra para determinar estrutura, porosidade, presença de raízes e outros parâmetros, como foi explicado anteriormente.
4. Compare os resultados obtidos com a tabela seguinte:

Classificação visual	Encrostamento do solo	Descrição
2 (Boa)	Nenhuma	O solo tem uma resistência baixa a penetração de uma faca. Raízes novas e velhas os canais de minhocas e fissuras são comuns. O solo superficial é quebradiço, com uma estrutura visível e uma classificação visual de porosidade boa (1,5).
1 (Moderada)	Moderadamente desenvolvida	Resistência moderada a uma faca. Solo firme, com uma estrutura débil e porosidade moderada (0,5-1). Há poucos canais de minhocas ou raízes velhas e novas, assim como poucas fissuras. Pode ocorrer algumas manchas laranja ou cinzas.
0 (Pobre)	Fortemente desenvolvida	Resistência alta a uma faca. Solo muito compacto e maciço (sem uma estrutura visível) e tem mínima porosidade (0). Não se observam canais de minhocas, raízes novas ou velhas, nem fissuras. Pode ocorrer alguma mancha laranja ou verde.

3.7. Cobertura e compactação do solo

O procedimento é o mesmo que o descrito na página 8.

Uma vez avaliados todos os indicadores, preencha a tabela seguinte com o valor obtido em cada amostra para todos os testes anteriores.

Amostra 1

Indicador visual	Classificação visual (0, 1, 2)	Valor
Porosidade		
Estrutura		
Textura		
Velocidade de infiltração		
Profundidade efetiva das raízes		
Presença de encrostamento do solo		
Cobertura e compactação do solo		
Soma de valores		

Amostra 2

Indicador visual	Classificação visual (0, 1, 2)	Valor
Porosidade		
Estrutura		
Textura		
Velocidade de infiltração		
Profundidade efetiva das raízes		
Presença de encrostamento do solo		
Cobertura e compactação do solo		
Soma de valores		

Amostra 3

Indicador visual	Classificação visual (0, 1, 2)	Valor
Porosidade		
Estrutura		
Textura		
Velocidade de infiltração		
Profundidade efetiva das raízes		
Presença de encrostamento do solo		
Cobertura e compactação do solo		
Soma de valores		

Realize a soma de todos os valores em cada amostra e obtenha a média, para comparar com o valor da tabela inferior.

Indicador visual	Classificação visual (0, 1, 2)
Boa	> 7
Moderado	5-7
Baixa	< 7

Em função do índice de qualidade do solo obtido e desejado para a parcela, adoptar práticas necessárias, como por exemplo, aplicação de corretivos orgânicos, adubos verdes, cultivo mínimo, instauração de cobertura vegetal, etc.

4. Indicadores biológicos

4.1. Minhocas (nº de minhocas/m²)

1. Cave e extraia um bloco de terra de uma superfície de 30x30 cm e 30 cm de profundidade. Coloque-o em um recipiente.
2. fragmente o solo e conte o número de minhocas presentes, anotando também as diferentes espécies ou grandes grupos observados (epígeicas, endogéicas e anécicas).
3. Opcionalmente, para contar as minhocas que se encontram em maiores profundidades, pode-se juntar na base da vala cavada, uma solução de mostarda (2 colheres de sopa de mostarda em 2 litros de água), procurando que o piso da vala esteja o mais nivelado possível. Depois de aproximadamente 5 minutos deve aparecer as minhocas que se encontravam em profundidade, o que facilita a contagem. Aconselha-se lavar as minhocas posteriormente com água para evitar danos.
4. Repita esta operação em 4 pontos representativos da parcela.
5. Multiplique o número de minhoca obtido em cada amostra x12, para obter o número de minhoca por m².
6. Calcule a média dos 4 valores.
7. Compare o valor final obtido com o valor da tabela abaixo.

Classificação visual	Nº de minhocas por m ²
2(Bom)	> 360 (preferencialmente com pelo menos 3 espécies).
1(Moderado)	180-360 (preferencialmente com pelo menos 2 espécies).
0(Baixa)	< 180 (predominantemente 1 espécie).

5. Indicadores de salinidade e sodicidade

O diagnóstico em campo da salinidade e sodicidade está descrito no ponto 2.2.2 a) e b), respetivamente do Manual de Manejo de Solos.

Classificação visual	Quantificação da presença de sais
2 (Boa)	Sem presença de sais ou sódio no horizonte A (superficial). Não se observam estruturas colunares. Não há lençol freático salino/sódico nas proximidades.
1 (Moderada)	Presença esporádica de sais. Lençol freático salino/sódico a mais de 1,20 m de profundidade.
0 (Baixa)	Sais na superfície do solo, presença de espécies vegetais indicadoras de salinidade. Estrutura colunar no horizonte B (subsuperficial). Solo massivo, sem estrutura.

Manual técnico

1. Introdução a conservação do solo

Para avaliar a importância do solo no ecossistema é necessário conhecer a natureza, as propriedades e funções do mesmo, de forma que sejamos capazes de compreender e avaliar o efeito que as diferentes atividades têm sobre ele. O solo constitui o suporte sobre o qual baseiam os restantes serviços ecossistêmicos, razão pela qual é considerado um componente crítico da biosfera, formado tanto por fatores bióticos como abióticos.

1.1. Conceito e importância do solo

Para avaliar a importância do solo no ecossistema é necessário conhecer a natureza, as propriedades e as funções do mesmo, de forma que sejam capazes de compreender e avaliar o efeito que as diferentes atividades têm sobre ele. O solo constitui o suporte sobre o qual baseiam os restantes serviços ecossistêmicos, razão pela qual é considerado um componente crítico da biosfera, formado tanto por fatores bióticos como abióticos.

O solo, pode ser definido como: *“um sistema natural vivo, dinâmico, organizado e complexo, que se formou na superfície terrestre composto de materiais orgânicos e minerais, resultado de processos formadores físicos, físico-químicos, químicos e biológicos, que ocorreu devido a ação de microorganismos e plantas sobre a rocha mãe”*.

Os principais fatores formadores de solo são a rocha mãe, o clima, a topografia, o tempo e os organismos vivos (plantas, animais, microorganismos e os seres humanos). A intensidade e duração que atuam esses fatores junto com a resistência do material original a sofrer essas mudanças, vão determinar as características e a profundidade do solo (desde poucos milímetros até vários metros).

Todos os solos são formados por três fases: i) sólida, constituída por matéria orgânica viva e morta (5%) e materiais inorgânicos ou minerais (45%); ii) líquida, constituída por água com quantidades variáveis de matéria mineral, de dióxido de carbono e oxigénio (25%) e iii) gasosa (25%).

Devido ao tempo necessário para a formação do solo (para se formar 1 cm de solo, é preciso centenas a milhares de anos), sua fragilidade e longa recuperação, o solo é considerado como um recurso natural não renovável

a escala humana, pelo que sua proteção face a degradação é fundamental para sua conservação e manutenção da sua qualidade.

Os solos são a base para a produção de alimentos e muitos serviços ecossistêmicos essenciais e desenvolvem funções ambientais básicas para a manutenção dos ciclos biogeoquímicos e da matéria orgânica:

- Constituem a maior reserva terrestre de carbono do mundo, ajudam a regular as emissões de dióxido de carbono (CO₂) e outros gases de efeito de estufa, os quais são fundamentais para a regulação do clima (ao absorver a radiação solar e intervindo na evaporação) e para a adaptação as mudanças climáticas e sua mitigação (ao sequestrar grandes quantidades de matéria orgânica durante muito tempo).
- Regula o ciclo hidrológico, ao controlar a entrada de água no solo (infiltração), seu armazenamento e transferência.
- Melhora a qualidade das águas ao controlar a filtração e as trocas iónicas
- Melhora a qualidade ambiental ao atuar na reciclagem de resíduos orgânicos e na atenuação de contaminantes e patógenos ambientais.
- É indispensável para a produção de biomassa, como alimentos (aproximadamente 95% dos alimentos são produzidos nos solos), forragens, fibras, biocombustíveis e material forestal, assim como para a obtenção de matérias primas (turfa, areia, argila, cascalho, alumínio, calcário, ferro, etc.).
- Constituem uma reserva da biodiversidade já que são o habitat de macro, meso e microorganismos (nele se encontra a quarta parte da biodiversidade do planeta). A fração biológica do solo é inferior a 1% do peso, porém em um solo agrícola de boa qualidade, 1 m³ de solo alberga aproximadamente 400 mil milhões de microorganismos.

- Serve de suporte físico para o desenvolvimento das atividades humanas (habitação, indústrias, atividades de lazer e recreativa, etc.).

Os serviços ecossistêmicos que os solos proporcionam aos seres humanos podem dividir-se em: i) de automanutenção ou suporte (processos físicos, químicos e biológicos necessários para que o solo possa desempenhar suas funções), ii) de extração e abastecimento (obtenção de alimentos, fibras ou pastos, entre outros), iii) de regulação (tratamento de águas, decomposição da matéria orgânica, etc.) e iv) culturais (assentamento de populações, modos de vida, conservação de vestígios arqueológicos, etc.).

1.2. Conceito de qualidade do solo e indicadores

O solo, sendo um sistema vivo, complexo e dinâmico, tem características próprias que dificultam dar uma definição de qualidade do solo que engloba a visão global do mesmo, integre as distintas disciplinas científicas que o estudam e compreenda a percepção que, desde os diferentes usos e manejos o tem.

Como primeira abordagem ao conceito de qualidade do solo alguns autores a definem como *“a capacidade (do solo) para funcionar”*. Esta definição, baseada na função, reflete a natureza viva e dinâmica do solo. A qualidade do solo se pode contextualizar como um tripé (banco de três pernas), cuja função e equilíbrio requer a integração de três componentes principais: produtividade biológica sustentável, qualidade ambiental e saúde vegetal e animal. O conceito tenta equilibrar múltiplos usos do solo (p. ex: para produção agrícola, desenvolvimento urbano, florestas, pastagens ou recreação) com foco na qualidade ambiental.

Embora não exista um acordo internacional, a nível científico, em relação a qualidade do solo, há avanços que nos permitiram aproximar de uma definição amplamente concensual. Neste manual usaremos o conceito de qualidade do solo de acordo com o Comité para a Saúde do solo da Soil Science Society of America, o qual o define como *“a capacidade do solo para funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou melhorar a qualidade do ar e da água, e sustentar a saúde humana e o habitat”*.

Segundo Labrador (2008), *“o conceito de qualidade do solo engloba um conjunto integrado de aspetos, relacionados com características agronómicas, com a sua funcionalidade e com sua expressão lúdica e de serviço. Ao admitir que a qualidade do solo integra componentes diversos agronómicos, sociais, económicos e processos edáficos, o resultado é um balanço próprio para cada solo, podendo distinguir-se uma qualidade «inerente» e outra «dinâmica». A inerente como consequência das propriedades do solo determinadas por fatores formadores e processos da formação. A dinâmica como consequência de um manejo, uma história e uma situação socioeconómica específica”*.

O estudo da qualidade do solo, que se aborda no Capítulo 2, inclui a avaliação dos aspetos físicos, químicos e biológicos do solo e a seleção de diferentes indicadores que nos permitam realizar um diagnóstico do estado da sua qualidade em um momento pontual e, por sua vez, monitorar periodicamente a sua evolução e do efeito de certas práticas agrícolas e de manejo do solo sobre a sua qualidade. Em cada caso de estudo, serão selecionados os indicadores que se consideram mais significativos e que nos podem dar uma ideia da qualidade do solo, sendo conveniente sempre incluir indicadores para cada um dos aspetos do solo. Dependendo do tipo de solo, sua funcionalidade, condicionantes, manejos, etc., serão mais relevantes uns indicadores do que outros. Isto é, os indicadores selecionados para solos

com problemas de compactação serão diferentes a aqueles utilizados em solos sem esse problema.

Existem duas formas básicas para avaliar a qualidade do solo:

1. Fazer medições periodicamente, ao longo do tempo, para monitorar mudanças posteriores ou tendências na qualidade do solo.
2. Comparar os valores medidos com os de uma condição de solo standard ou de referência.

Neste manual, serão selecionados indicadores representativos do aspecto a ser estudado, facilmente mensuráveis, acessíveis a diferentes tipos de usuários e aplicáveis as condições de campo, reprodutíveis, de fácil compreensão e comparáveis.

1.3. Degradação do solo e suas causas

A degradação do solo refere-se a alterações sofridas (seja de natureza física, química ou biológica) cuja manifestação é a perda da fertilidade ou do seu potencial produtivo. Segundo a FAO, a degradação do solo se define como “*uma mudança na saúde do solo resultando em uma diminuição da capacidade do ecossistema para produzir bens ou prestar serviços para seus beneficiários. Os solos degradados contêm um estado de saúde que não podem proporcionar os bens e serviços normais do solo no ecossistema em análise*”.

A degradação geralmente ocorre devido a uma má gestão agrícola e de uso do solo ou em condições climáticas desfavoráveis e tem

consequências ambientais, sociais, económicas culturais. Por exemplo, uma perda da fertilidade resulta em uma diminuição do rendimento agrícola (até 60% no caso de compactação), impactando negativamente os rendimentos provenientes da agricultura.

A degradação pode ser física, química ou biológica.

1. A **degradação física** dá-se através da compactação e da erosão do solo. A compactação manifesta-se por uma diminuição da macro porosidade do solo, dificultando ou impedindo o desenvolvimento das raízes, a infiltração da água através do perfil do solo e as trocas gasosas, formando-se um encostramento que aumenta o escoamento superficial. Além disso, uma diminuição do ar no solo junto com um excesso de água conduz o mesmo a condições anóxicas (sem ou com muito pouco oxigénio), o qual afeta negativamente o desenvolvimento radicular e da edafofauna do solo (bactérias, fungos, insectos, minhocas, etc.).

Por outro lado, a erosão é a forma mais conhecida e comum de degradação do solo, seja pela ação da água (erosão hídrica) ou do vento (erosão eólica), porque acarreta a perda ou eliminação de finas camadas superficial do solo devido ao arraste de partículas a outras áreas adjacentes. Este arraste de partículas (férteis) irá produzir uma deterioração ou destruição da estrutura do solo (o que poderá causar a compactação do solo), perda da matéria orgânica e da biodiversidade do solo.

A degradação física pode ocorrer por várias causas (falta de cobertura vegetal, solos sódicos com fraca estrutura, baixo teor de matéria orgânica com agregados menos estáveis, solos com declives ou em zonas com fortes chuvas) ou ainda pela ação combinada de vários agentes de degradação. No caso das coberturas vegetais, estas protegem o solo da erosão ao

interceptar o impacto direto das gotas de chuva e do vento, reduzem a velocidade de escoamento e portanto a capacidade da água para arrastar solos e sedimentos, e as suas raízes ajudam a manter a estrutura do solo mediante a sua estabilização mecânica, através do desenvolvimento de um extensivo sistema radicular, além de facilitar a infiltração da água. Portanto, em solos descobertos ou com escassa vegetação, a superfície do solo está mais exposta a ação dos fatores naturais (água e vento). Por esse motivo, a chuva é capaz de arrastar as partículas do solo a medida que escorre pela superfície, enquanto que o impacto das gotas da chuva contra um solo descoberto leva a compactação, diminuindo a sua capacidade de infiltração e favorecendo com que a água escorra pela superfície arrastando no seu ritmo as partículas do solo que se encontram desagregados. A perda do solo é até 300 vezes maior em solos descobertos que em solos com vegetação.

2. A **degradação química** é um processo pelo qual as propriedades químicas do solo se alteram, quer pela presença de substâncias ou compostos estranhos ao solo (contaminação) ou por uma modificação nas concentrações de componentes habitual no solo (geralmente pelo seu aumento). Em ambos os casos, a modificação das propriedades químicas leva a um agravamento na qualidade do solo, um desequilíbrio na fauna do solo, afetando o ciclo biogeoquímico dos elementos e a cadeia trófica (provocando uma diminuição da fertilidade do solo e do crescimento vegetal).

A degradação química se dá, principalmente, pelo uso indevido de fertilizantes químicos e produtos fitossanitários e ao mau manejo da irrigação, que leva a um aumento a concentração de sais provocando a salinização, acidificação ou alcalinização do solo. Uma consequência das variações no pH do solo é que a disponibilidade dos nutrientes no solo é afetada. Elementos como fósforo ou magnésio não se encontram disponíveis em solos

ácidos, enquanto que o ferro e o manganês diminuem a sua disponibilidade em solos básicos.

Como consequência do aumento da concentração de sais, que normalmente está associado ao aumento do potencial osmótico do solo, o crescimento vegetal se reduz e a atividade dos organismos edáficos diminui alterando, por exemplo, o curso do ciclo dos nutrientes (a fertilidade do solo diminui).

3. A **degradação biológica** deve-se tanto a degradação física como química, bem como ao empobrecimento em matéria orgânica do solo. Este tipo de degradação se dá por uma redução da quantidade e diversidade dos organismos do solo responsáveis, entre outras funções, de transformar a matéria orgânica, intervir nos ciclos biogeoquímicos do solo ou prevenir a proliferação de pragas e doenças que afetam o desenvolvimento das plantas, reduzindo a sua produtividade.

Manual técnico

2. Avaliação e diagnóstico do solo

O solo ao ser um sistema vivo, complexo, organizado e dinâmico, formado pela integração da parte mineral com a fração orgânica, no qual vivem múltiplos organismos, deve ser avaliado mediante o estudo de um conjunto amplo de indicadores, que reflitam o estado dos diferentes aspectos do solo (físico, químico e biológico) e que nos podem fornecer informações relevantes do estado da qualidade do mesmo.

Para se ter uma visão sistêmica da qualidade de solo, não é apenas suficiente o estudo de alguns parâmetros de forma isolada, mas será necessário avaliar de forma holística, analisando as suas interações, para um diagnóstico mais acertado do estado do solo e da sua dinâmica e funcionalidade. Tudo isso, nos permite conhecer a quantidade de nutrientes, as condições de manejo (se é ideal para o cultivo), as características do terreno (pH, CE, textura, propriedades hídricas), detectar as necessidades de corretivos (calcário, orgânicos, etc.), o grau de estruturação do solo ou a atividade biológica do mesmo. Isto contribui para melhorar o manejo dos solos melhorando a rentabilidade dos cultivos estabelecidos, sendo consistente com o meio ambiente.

2.1. Guia para a tomada de amostras

Para a realização de uma análise físico-química de solo em um laboratório, o primeiro passo é a recolha de amostras adequadas. Para que o resultado de uma parcela seja confiável e representativo, as amostras têm que ser a mais homogêneas e representativas possíveis do material que se pretende analisar.

A coleta de amostras de solos para análise é determinado quando:

- Necessita de corrigir o solo antes do plantio.
- Há necessidade de realizar correções periódicas em terrenos com cultivos implantados.
- Se pretende esclarecer as causas de anomalias observados no cultivo (baixa produtividade, mudanças na coloração das folhas, etc.).

De forma geral, em cultivos de ciclo curto ou intensivos a frequência deve ser anual, enquanto que em cultivos de ciclo longo se pode amostrar a cada 2-3 anos. A coleta de amostra deve realizar-se 1 a 2 meses antes da sementeira ou plantio em cultivos anuais, ou da fertilização em cultivos permanentes e em pastos, depois do corte.

Antes de coletar a amostra, e sabendo que as características e propriedades do solo são influenciadas pela profundidade, diferenciação de horizontes, localização do solo ou o manejo do mesmo (sequeiro, regadio, cultivos herbáceos/árbores, etc.), se deve recorrer cuidadosamente a propriedade e observar se existem:

- Diversos tipos de solos.

- Coloração diferentes nos solos.
- Coloração anormal em folhas.
- Queimaduras em folhas.
- Zonas de menor crescimento.
- Zonas de menor produção.

A primeira coisa que se tem de fazer é dividir a superfície da propriedade a amostrar em parcelas ou zonas de amostragem com características similares em relação ao seu aspeto, altitude, coloração do solo, vegetação, orientação, irrigação, etc. Deve-se identificar os diferentes tipos de propriedades e seus limites (Imagem 1). Normalmente, os limites vêm determinados por mudanças em encostas, diferente tipo de uso (pasto/cultivo), diferente manejo (fertilização/sem fertilização). Coleta-se tantas amostras como zonas diferenciadas existem na propriedade em questão. Para cada propriedade ou zona de amostragem se deve obter uma amostra segundo o seguinte procedimento (Imagem 2):

- Deve-se escolher 3 ou mais pontos de amostragem aleatoriamente e avançar em zig-zag, evitando limites e zonas externas (deixar pelo menos uma margem de 50 cm). Esses pontos têm que estar bem distribuídos na propriedade abrangidos pelo centro, as margens, zonas de encostas, etc.
- Colher a mesma quantidade de solo em cada ponto e ir juntando as subamostras em um recipiente para homogeneizá-las posteriormente (descartar elementos grossos, paus, pedras, etc.).
- Eleger corretamente a profundidade de amostragem em função do tipo de cultivo (em geral, recomenda-se uma profundidade de 20 cm para a maioria dos cultivos agrícolas porque coincide com a

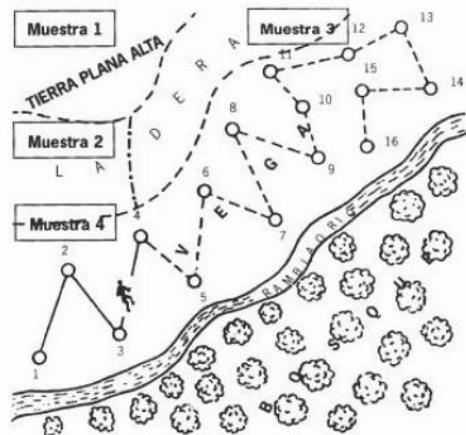


Imagem 1. Divisão da superfície de uma propriedade a ser amostrada em função das características do solo. Imagem de: López Rita e López Medina (1990).

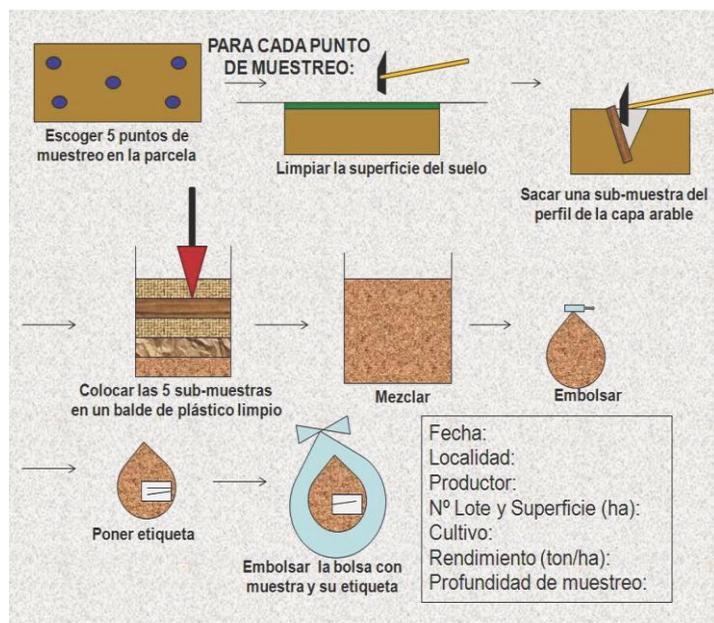


Imagem 2. Amostragem de solos. Imagem tomada de: <https://infoagronomo.net/>

maior concentração das raízes no solo. No caso das árvores, podem estar entre 50 e 100 cm de profundidade). As amostras podem ser coletadas nas seguintes faixas de profundidades: 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm, etc.

Para a coleta de amostras:

1. Raspe a superfície do solo com uma enxada para eliminar restos vegetais e fertilizantes. Evite não destruir a primeira camada do solo.
2. Cave um buraco até a profundidade que se deseja tomar a amostra e retire uma porção de solo. As amostras podem ser coletadas com trado, enxada, ou qualquer outro utensílio que não se contamine.
3. Coloque as porções em um balde ou em uma bolsa. Se as amostras vão ser coletadas em várias alturas, colocar as amostras separadas por 20 cm.
4. Ao terminar a recolha, misturar todas as subamostras extraídas a mesma profundidade, separando uma porção representativa da mistura resultante (de 0,5-1kg de solo aproximadamente). A amostra final, que se enviará ao laboratório, será obtida pela mistura homogênea das subamostras coletadas correspondentes a mesma profundidade (0-20 cm) com (0-20 cm), (20-40 cm) com (20-40 cm), etc.
5. Colocar a amostra composta em uma bolsa de plástico, com uma etiqueta identificadora por dentro e por fora com o número da parcela correspondente. As amostras devem ser enviadas ao laboratório no prazo de dois dias.

Em cultivos com rega gota-a-gota, a amostra é coletada a partir de uma distância de 5 a 10 cm do gotejador, dependendo do tamanho do bulbo húmido.

Deve-se evitar a coleta de amostra na região do referido bulbo já que é a zona de acumulação de sais. Uma vez conhecida as dimensões do bulbo húmido, economiza-se tempo e esforço caso a amostragem seja feita por trado.

¡CUIDADO! Nunca colete amostras de áreas recém fertilizadas, perto de residências, estábulo ou locais onde se armazenam produtos químicos, materiais agrícolas etc., perto de árvores ou lugares com queimas recentes. Além disso deve usar ferramentas e sacos limpos, sem resíduos de outros materiais, sem superfície oxidada e evitar comer, fumar ou manipular outros produtos durante a amostragem já que pode contaminar as amostras e obter resultados alterados.

2.2. Avaliação mediante métodos diretos ou simples

A avaliação do solo mediante métodos diretos ou simples se baseia em obter informação do solo mediante a observação visual, o odor e o tacto.

A avaliação visual de un solo, nos permite conhecer o estado de qualidade do mesmo através da observação de diferentes propriedades como a textura, estrutura, consistência, cor, porosidade, crostas superficiais, cobertura, presença de minhocas, etc.; já que estes indicadores são capazes de mudar sob as diferentes condições que ocorrem nos diferentes manejos do solo.

Embora esta avaliação seja muito subjetiva, porque os resultados obtidos variam em função da pessoa observadora, pode ser uma ferramenta muito útil para avaliar as mudanças que se produzem no solo, a tomada de decisões e o uso sustentável do mesmo.

2.2.1. Indicadores físicos

As propriedades físicas do solo são muito importantes para manter a produtividade. A degradação dessas propriedades tem efeitos sobre o crescimento das plantas, afetando o seu rendimento e a qualidade da produção.

a. Cor do solo

Alguns dos processos que ocorrem no solo, como por exemplo a degradação dos restos vegetais, dão lugar a colorações características. Portanto, através da visualização da cor de um solo podemos conhecer que características físico-químicas têm.

- Coloração escura nos indicam a presença de matéria orgânica, que é importante porque participa na maioria dos processos biológicos, químicos e físicos que ocorrem no solo, o que determina coletivamente a saúde deste;
- Coloração avermelhada é devido a presença de óxidos de ferro unidos as argilas e nos indica uma boa aeração do solo (não se produz encharcamento);
- Coloração branca do solo deve-se a perda da matéria orgânica, de óxidos de ferro, etc., como consequência de processos de lavagem do solo (neste caso a cor branca só se encontra na superfície) ou indica a presença de componentes de cor clara como os carbonatos de cálcio, gesso (a presença de ambos componentes no solo dá lugar a solos com um pH básico) ou de eflorescências salinas;
- Coloração cinza,, verdes ou mosqueados nos indicam solos com um excesso de água. A falta de oxigénio produzida pelo excesso de água, diminui o ferro (Fe) e manganês (Mn) o que dá uma coloração acinzentada ao solo;

A medida que diminui a quantidade de oxigênio, predominarão as manchas laranjas e depois as cinzentas. A abundância de manchas cinzentas indica um solo com deficiente drenagem e aeração em grande parte do ano. Além disso, a acumulação prolongada da água junto com uma baixa aeração do solo pode dar lugar a uma série de processos químicos e bioquímicos que produzem toxinas que danificam as raízes, diminuindo a produtividade vegetal ao reduzir a capacidade das plantas para absorver água e nutrientes; e também dar lugar ao desenvolvimento de fungos como *Rhizoctonia*, *Pythium* e *Fusarium* que levam a morte das raízes.

b. Capacidade de infiltração

Para um desenvolvimento adequado dos processos no solo, é necessário que este possua um equilíbrio adequado entre água, ar e a fração sólida do solo. Para isso, é importante verificar a infiltração da água no mesmo, avaliando a velocidade com que a água entra no perfil do solo.

- se a velocidade for baixa, significa que a maior parte da água que o solo recebe (por irrigação ou chuva) irá escorrer superficialmente e não haverá umidade suficiente para as plantas, além de aumentar o risco da perda do solo por erosão hídrica.
- se a velocidade de infiltração for alta, e não houver horizonte de solo com baixa permeabilidade, a quantidade de umidade do solo será suficiente para o crescimento vegetal.
- Porém, se a velocidade de infiltração for muito elevada e houver no solo algum horizonte subsuperficial pouco permeável (devido a compactação ou por elevada concentração de argilas, por exemplo), podem surgir problemas de excesso de água naquela zona do perfil, que pode provocar problemas de aeração, desenvolvimento de fungos, podridão das raízes, etc.

c. Estabilidade dos agregados do solo em água

Os agregados do solo são o agrupamento, de forma natural, das partículas do solo entre si e que possuem um caráter persistente. Os agregados podem distinguir-se porque se encontram separados por lacunas.

Um verdadeiro agregado tem que ser estável à água, ou seja, a união das suas partículas individuais deve manter-se depois de ter sido humedecido lentamente, mas totalmente, para que a água possa continuar a mover-se dentro do solo quando está totalmente húmido. Quanto mais estável à água forem os agregados, melhor será a circulação da água no perfil do solo.

Além disso, a durabilidade dos agregados é afetada por maquinaria agrícola, pisoteio do gado, trabalho contínuo, implantação de uma cultura, etc.

d. Textura

A textura do solo refere a proporção relativa do tamanho das partículas que o compõem (areia, silte ou limo e argila). A areia, tem um tamanho de partícula de 2-0,02 mm, o limo ou silte de 0,02–0,002 mm e a argila menor de 0,002 mm.

A textura do solo influencia a estrutura do solo, a retenção de água, a aeração, a drenagem, a temperatura, o fornecimento e retenção de nutrientes.

Em função da fração que predomine no solo (fração argila, fração limo ou fração areia) podemos encontrar solos arenosos, limosos, argilosos ou francos.

- Os solos arenosos se caracterizam por uma boa aeração, altíssima permeabilidade, baixa retenção de água, má estrutura, além de não

fornecerem nutrientes por carecer de propriedades coloidais (possui baixa capacidade de reter nutrientes na superfície de suas partículas).

- Os solos limosos, são solos que se caracterizam por terem características físicas e químicas intermédias entre os solos arenosos e argilosos, apresentando uma baixa fertilidade, uma média a baixa permeabilidade e capacidade de retenção de água e uma compactação e retenção de nutrientes média.
- Os solos argilosos se caracterizam por ter uma boa estrutura, ser muito ricos em nutrientes (são capazes de adsorver ions e moléculas). Têm a capacidade de reter grande quantidade de água, mas por serem pouco permeáveis, têm uma má aeração e uma alta compactabilidade o que dificulta a penetração e desenvolvimento das raízes das plantas.
- Os solos francos (têm um equilíbrio entre as diferentes frações, não predominando nenhuma delas) são, do ponto de vista agrícola, os mais adequados para o desenvolvimento vegetal porque as suas propriedades se apresentam de forma compensada.

e. Profundidade efetiva das raízes

A profundidade efetiva é aquela profundidade a que as raízes de um cultivo podem chegar e aproveitar os nutrientes presentes. A profundidade desejável dependerá de fatores como a chuva média anual, cultivo em sequeiro ou em regadio e o tipo de planta cultivada (uma árvore desenvolve raízes mais profundas que uma planta hortícola). Quanto maior for a profundidade de enraizamento, maior será a capacidade de retenção de água do solo, sobretudo nos períodos de seca onde as raízes podem aceder as reservas de água profundas, que aliviará o estresse hídrico, assegurando a sobrevivência dos cultivos sem irrigação. Além disso, os sistemas de raízes profundas

também permitem aceder a uma maior quantidade de macro e microelementos, favorecendo o crescimento, o rendimento e a qualidade colheita; ajudando a aumentar o conteúdo de matéria orgânica e a atividade biológica do solo em profundidade.

f. Compactação do solo

A compactação é o proceso pelo qual ocorre uma diminuição dos poros do solo, com a conseqüente diminuição do volume e aumento da densidade. Ocorre principalmente, de forma natural, pelo predomínio da fração limosa e fraca estruturação do solo e, de forma antrópica, pelo uso inadequado de maquinaria e veículos pesados. A perda da porosidade limita o crescimento das raízes, a passagem de água, o ar e os nutrientes.

Visualmente, a compactação pode ser notada pela resistência a penetração no solo, seja com pá, faca, enxada, etc. ou pelas mudanças de direção e forma das raízes, que podem indicar a presença de um horizonte compactado.

Se a compactação ocorre a nível superficial, é chamada de crosta superficial e além de reduzir a infiltração e armazenamento da água no solo, também reduz a aeração, provocando condições anaeróbicas.

g. Encrostamento de solo

O encrostamento do solo é a compactação de uma camada de solo a certa profundidade, normalmente justo abaixo da profundidade a que se trabalha habitualmente ao longo dos anos, devido ao peso do arado ou outros implementos agrícolas. Tem os mesmos efeitos negativos sobre as propriedades do solo que a compactação.

h. Perda de solo

A erosão é o processo através do qual ocorre a perda das partículas do solo, que são transportadas a outras zonas diferentes ao seu lugar de origem, perdendo-se dessa forma a camada superficial do solo. Esta erosão pode ser produzida pela ação do vento (erosão eólica) ou da água (erosão hídrica). A perda do solo através da erosão causa uma redução de nutrientes (devido a perda de matéria orgânica) e afeta a estrutura do solo, diminui a infiltração, permeabilidade da água através do perfil do solo e a capacidade de retenção da água disponível devido ao aumento do escoamento superficial e também reduz a profundidade do solo (as raízes têm menos espaço por onde desenvolver-se).

A perda do solo é um fenómeno facilmente visível, que se caracteriza, por exemplo, pela formação de sulcos, voçorocas efêmeras (sucos tão profundos que não podem ser atravessados pelos tratores), fluxos de barro, deslizamentos de terra, mudança imprevista da coloração superficial, exposição de raízes na superfície, afloramento de rochas, acumulação de sedimentos nas zonas baixas das encostas.

2.2.2. Indicadores químicos

a. Salinidade

Um solo salino é aquele em que houve acúmulo de sais mais solúveis que o gesso, em quantidade suficiente para interferir no crescimento e desenvolvimento da maioria dos cultivos e outras plantas não especializadas, seja pela alta concentração de sais ou pela toxicidade causada por íons específicos (como sódio, cloro, boro) sendo a diminuição do rendimento proporcional a concentração de sais. Predominam sais solúveis neutras: NaCl, MgCl₂, Na₂SO₄ e MgSO₄, e presença de íons de sódio, cálcio e magnésio na solução do solo.

Os solos salinos se formam pelo movimento, redistribuição e acumulação de sais em uma bacia de drenagem, sendo sua origem os processos de intemperismo das rochas. No entanto, as ações humanas têm dado origem a processos de salinização de solos importantes devido a uma inadequada atividade agrícola (mau uso de fertilizantes, conversão de terrenos em regadio que têm provocado um aumento do teor de sais ao molhar materiais com sais solúveis, irrigação com águas salinas, aumento do nível da camada freática, etc.) e por atividades industriais e minerais (por acumulação em superfície de materiais salinos e sódicos e por aumento do intemperismo devido a chuva ácida).

A medição da concentração da fase líquida do solo é feita através da condutividade elétrica (CE) em extratos líquidos do mesmo. O diagnóstico da salinidade é feita com base na sensibilidade da cultura específica considerado a salinidade:

- CEs* > 1,5 dS/m a 25°C solo salino para cultivos sensíveis.
- CEs > 3,0 dS/m a 25°C solo salino para cultivos moderadamente sensíveis.
- CEs > 6,0 dS/m a 25°C solo salino para cultivos moderadamente tolerantes.
- CEs > 10,0 dS/m a 25°C solo salino para cultivos tolerantes.

* CEs= condutividade elétrica em extrato saturado. Diagnóstico em campo da salinidade:

- Presença de vegetação halófitas: géneros Salicornia, Suaeda, Crithmum, Mesembryanthemum, Limonium, etc.

- Presença de aflorações salinas de cor branca na superfície do solo (de sabor salgado se forem devido ao cloreto de sódio ou amargo por cloreto de magnésio).
- Efeitos negativos sobre o crescimento das plantas:
 - Má germinação;
 - Crescimento retardado e menor área foliar;
 - Coloração verde mais escuro que em condições não salinas;
 - Pouca ou nenhuma produção: Os efeitos sobre o rendimento dependem da tolerância das culturas a salinidade;
 - Sintomas de toxicidade por excesso de ions específicos, em função da seletividade da planta na absorção de ions e das suas necessidades : i) queimaduras nas bordas das folhas por excesso de cloretos; ii) toxicidade por excesso de boro associado a solos de climas áridos relacionados a solos de zonas vulcânicas e águas de rega que contenham esse elemento; iii) sintomas de deficiência de cálcio por excesso de Mg e sulfato; iv) toxicidade por sódio induzida por excesso de sulfato; v) cloroses férrica por excesso de bicarbonatos.

b. Sodicidade

Um solo sódico caracteriza-se por apresentar uma percentagem de sódio trocável superior a 15%. Tem um efeito prejudicial para as propriedades físicas e químicas: pH elevado (pH pasta saturada > 8,2), dispersão de argilas, má estrutura, má aeração, impermeabilização e encrostamento do solo, diminuição da condutividade hidráulica, etc. Geralmente não há quantidades apreciáveis de sais solúveis neutros, mas se houver carbonato de

sódio domina o sódio, como cátion solúvel na solução do solo.

Ayers e Wescot (1987) e Chabra (1996), estabeleceram uma tolerância relativa das culturas a sodicidade de forma orientativa como:

- Sensíveis: culturas que toleram menos de 15% de sódio trocável no solo.
- Semi-tolerantes: culturas que toleram entre 15 a 40% de sódio trocável.
- Tolerantes: culturas que toleram mais de 40% de sódio trocável.

Diagnóstico em campo da sodicidade:

- Eflorescências pretas na superfície do solo, devido a matéria orgânica envolta a pH muito alcalino devido ao carbonato de sódio presente;
- Presença de vegetação especializada e zonas sem vegetação;
- Dispersão das argilas;
- Má estrutura do solo (impermeabilização e formação de crosta superficial) ;
- Reação fortemente alcalina do solo;
- Baixa percolação da água no solo;
- As culturas em solos sódicos são afetadas devido as propriedades físicas desfavoráveis do solo (baixa permeabilidade a água e ar) com um deficiente desenvolvimento radicular, toxicidade por excesso de ions específicos como sódio, carbonatos, molibdênio, etc., desequilíbrios nutritivos e carência de cálcio e magnésio por

precipitação dado ao elevado pH do solo.

c. PH do solo

Propriedade físico-química que faz referência ao grau de acidez, basicidade ou alcalinidade de um solo. O pH do solo é importante porque influencia na disponibilidade de nutrientes para as plantas, mobilidade, dissolução e precipitação de electrólitos; no hábitat dos microorganismos, etc.

Em função do seu pH, os solos podem se classificar em solos ácidos (pH inferiores a 6,5), solos calcários (pH na ordem dos 8,5), solos com gesso e sem sais solúveis (pH na ordem dos 7,8) e solos alcalinos (pH de 10-12).

- Os solos muito ácidos, com pH < 5,5 apresentam ácidos minerais livres, alumínio ocupando as zonas de trocas de solos, baixo teor em cátions divalentes (como cálcio ou magnésio) e fraca atividade bacteriana. Os rendimentos das culturas em esses solos é reduzida, já que as formas solúveis do alumínio inibem o desenvolvimento radicular, interagem com o fósforo e afetam a translocação de outros nutrientes, podendo aparecer deficiências em cálcio, potássio, nitrogênio, magnésio, molibdênio, fósforo, enxofre e sintomas de toxicidade por alumínio e manganês.
- Os solos com pH entre 5,6 e 7,3, são os adequados para a maioria das culturas, com máxima disponibilidade de nutrientes.
- OS solos calcários (pH entre 7,4 e 9), a apresentam elevados teores de carbonato de cálcio, embora em solos com pH 9 estes valores possam ser devido a carbonatos de magnésio, caso o sódio esteja ausente. As culturas podem apresentar clorose férrica devido aos bicarbonatos.

- Os solos com pH > 9 apresentam altos teores de carbonato de sódio elevada percentagem de sódio trocável, péssima estrutura e baixa condutividade hidráulica. Sua atividade microbiana é baixa. Os cultivos em esses solos podem apresentar toxicidade por sódio e boro e deficiência em micronutrientes por sua baixa disponibilidade (excepto em molibdênio).

d. Matéria orgânica

A matéria orgânica é a reserva edáfica orgânica do carbono. É composta principalmente por carbono, oxigênio, hidrogênio, nitrogênio e, em menor proporção, por enxofre, fósforo, molibdênio e outros elementos. Segundo Labrador (2012), *“a matéria orgânica do solo é o material orgânico de origem biológico, que provém de alterações bioquímicas de restos de animais, plantas e microorganismos, e de compostos procedentes do metabolismo vegetal e microbiano. Pode-se encontrar no interior dos agregados e na solução do solo, acumulando-se na superfície e ao longo do perfil. Apresenta distintos estados de transformação e estabilização derivados da dinâmica da diversidade biológica, das interações com o meio mineral, dos fatores ambientais, do tipo de solo e das práticas de manejo”*.

Classificação da matéria orgânica (MO):

Do ponto de vista dinâmico, a MO pode se classificar como:

- a. MO viva: formada pela biomassa macro e microbiana e pelas raízes. Os organismos são componentes e ao mesmo tempo participam na decomposição e transformação dos restos orgânicos. É biodisponível, muita ativa e mais facilmente mineralizável (degradável).
- b. MO não viva: formada pela i) fração não húmica: constituída por componentes orgânicos em processo de decomposição. Está sujeita a

atividade biológica e associada aos macroagregados. É bioquimicamente identificável e facilmente biodegradável; ii) fração húmica: constituída por macromoléculas complexas que são resultado dos processos de humificação, denominadas substâncias húmicas. Formam parte integral do solo e não podem ser separadas por meios mecânicos.

Funções da MO no solo

- **Propriedades físicas:** os componentes orgânicos i) intervêm na formação e estabilização dos agregados do solo, mediante macromoléculas orgânicas permanentes ou produtos microbianos e das plantas como gomas formadas por polissacárideos, raízes finas, micélios de fungos, hemicelulose e substâncias húmicas; ii) as substâncias húmicas aumentam a capacidade de retenção de água do solo; iii) elevada porosidade e condutividade hidráulica; iv) menor risco de impermeabilização e encrostamento superficial e, portanto, de escoamento superficial e erosão hídrica; v) temperatura mais estável ao longo do ano.
- **Propriedades químicas:** as substâncias húmicas, dada sua carga elétrica e elevada superfície específica, i) atuam como reserva de nutrientes, pois intervêm nos processos de troca catiónica com os cátions da fase líquida do solo; ii) atua como filtro de moléculas contaminantes, como metais pesados na solução do solo, compostos orgânicos de baixa solubilidade como muitos herbicidas; iii) aumentam a capacidade tampão do solo frente a mudanças de pH e de concentrações na solução do solo, dada a carga variável das substâncias húmicas.
- **Propriedades biológicas:** a matéria orgânica do solo (MOS) é a fonte de alimento e energia (carbono) para a fauna do solo e ao mineralizar-se, torna-se fonte de nutrientes para as plantas. Contém substâncias orgânicas de uso e atividade biológica-funcional que

controlam as relações entre os organismos do solo, ou entre estes e as raízes. A relação Carbono orgânico total/Nitrogênio total (relação C/N) da MOS é um indicador de sua qualidade, já que os microorganismos do solo necessitam uma relação C/N em torno de 24. Valores acima deste nível resultam em um déficit temporal de nitrogênio (imobilização) e aqueles com uma relação C/N menor resultam em um superávit temporal de nitrogênio (mineralização).

A capacidade do solo para armazenar nutrientes, reter a humidade, mitigar a produção de gases de efeito de estufa, resistir a degradação física, química e biológica, e atuar como um meio ideal para a produtividade, dependem da qualidade e quantidade da matéria orgânica do solo.

e. Elementos contaminantes do solo

Podem ser compostos inorgânicos (metais pesados, não metais, sais, deposições ácidas da atmosfera, etc.) ou orgânicos (resíduos orgânicos animais ou humanos, agroquímicos e seus produtos de degradação, petróleo, etc.), introduzidos de forma incontrolada no solo pela ação do homem.

Seu comportamento no solo (mobilidade, acumulação, degradação, etc.) vai depender do pH, potencial redox, e do conteúdo em componentes adsorventes (argilas e componentes orgânicos) com os quais se pode formar complexos.

Efeitos:

- Inibem o crescimento das plantas;
- São tóxicos para a fauna do solo;

- Têm um grande alcance devido a sua introdução na cadeia trófica devido a safras contaminadas podendo contaminar outros nichos ecológicos como águas subterrâneas ou superficiais.

2.2.3. Indicadores biológicos

O solo, além de ser suporte e fonte de nutrientes para as plantas, deve reunir as condições adequadas para que a vida do solo possa habitá-lo e desenvolver a sua atividade corretamente. A presença e atividade dos organismos do solo é determinante para a manutenção da fertilidade, melhorar sua produtividade e assegurar a sua qualidade.

As funções essenciais para os ecossistemas que desempenham os diferentes tipos de organismos do solo são:

- Manutenção da estrutura;
- Regulação da dinâmica da água;
- Troca de gases com a atmosfera e sequestro de carbono;
- Eliminação de compostos tóxicos;
- Dinâmica dos nutrientes;
- Dinâmica da matéria orgânica;
- Supressão de pragas e doenças;
- Relação simbiótica e assimbiótica com as raízes das plantas;
- Controle do crescimento vegetal.

Os indicadores biológicos propostos permitem avaliar de uma forma simples diferentes aspectos do solo, não só os que fazem referência aos organismos do solo e suas funções, mas também aos aspectos físicos e químicos do mesmo, podendo nos informar sobre a incidência que as práticas agrícolas têm sobre a qualidade do solo.

a. Minhocas

As minhocas são um dos macroorganismos mais estudados a nível mundial para avaliar a qualidade e saúde do solo. Elas podem se desenvolver em diferentes tipos de solo e as suas populações podem variar com as características do local (disponibilidade de nutrientes e condições do solo), com a estação do ano e com as espécies de minhoca presentes. As populações são altamente variáveis em espaço e tempo, aí a importância de avaliá-las várias vezes e sempre nas mesmas épocas do ano, preferencialmente na primavera e outono.

Pode-se distinguir, em termos gerais, três tipos de minhocas:

- Epígeas: alimentam-se de restos de plantas que se encontram sobre a superfície do solo ou dentro das camadas de restos vegetais, raramente formam galerias ou tocas e são do tamanho pequeno a médio, geralmente apresentam coloração avermelhada, também denominadas de esterco ou de composto.
- Endógenas: são comedoras do solo, formam extensos sistemas de galerias horizontais e podem ser pequenas ou grandes.
- Anécicos: alimentam-se de restos de plantas e solo, vivem em galerias verticais e são de grande tamanho.

As minhocas são consideradas como construtoras da estrutura do solo e em geral melhoram a qualidade do mesmo porque:

- Aumentam a disponibilidade de nutrientes;
- Aceleram a decomposição da matéria orgânica;
- Melhoram a porosidade, capacidade de infiltração e ajudam na formação de agregados do solo, aliviando os problemas de compactação;
- Suas galerias favorecem a penetração de raízes, água, ar, nutrientes e outros organismos;
- Introduzem a matéria orgânica em profundidade.

As populações de minhocas podem ser afetadas por diferentes fatores:

- Cultivo do solo: as ações de trabalho no solo pode chegar a matar até 25% das minhocas;
- Temperatura: a temperatura ótima oscila, entre 10°C e 20°C; e limite superior letal é de 25°C a 35°C;
- Textura: solos de texturas médias são mais favoráveis para as minhocas que solos arenosos ou argilosos;
- O pH: a maioria das minhocas vivem em solos com pH entre 5 e 7,4;
- Alimento: a qualidade e quantidade de alimento (matéria orgânica) afeta a distribuição e abundância das minhocas;
- Perturbação do solo: as populações de minhocas em geral são maiores em solos não perturbados;
- Humidade do solo: restrições de humidade do solo geralmente determinam a distribuição das minhocas e sua atividade;

- Agroquímicos: a maior parte de herbicidas a base de triazina são ligeiramente tóxicos. Os fungicidas, os inseticidas, concretamente os organofosforados e a maioria dos inseticidas baseados em carbamato, e os nematicidas, são tóxicos para as minhocas. Além disso, o uso regular de sulfato de amônio e amoníaco anidro, e da ureia revestida com sulfato, faz diminuir as populações de minhocas.

b. Plantas bioindicadoras

O estudo das plantas bioindicadoras nos dá uma informação sobre o estado do solo de onde elas crescem em um dado momento. Este método baseia-se no facto de que a maioria das espécies vegetais necessitam de condições ambientais e de solo precisas para assegurar sua germinação e crescimento. Estas condições são conhecidas a partir do estudo do biótopo primário (zonas onde estas plantas crescem de forma natural sem a intervenção do homem). A presença de certas espécies nas parcelas agrícolas pode dar-nos uma informação relevante sobre o estado do nosso solo, indicando se o solo é calcário, ácido, salino, se há compactação, se há anaerobiose (falta de oxigênio), a disponibilidade de certos nutrientes, etc. Para identificar as espécies de plantas silvestres que crescem na nossa propriedade pode-se usar uma guia botânica. Além de ter em conta as espécies encontradas e sua abundância, é importante observar no estado do solo (textura, humidade, cor, compactação, etc.) e todas aquelas observações da parcela que podem ser úteis. A informação que estas plantas podem nos fornecer deve ser verificada com os resultados obtidos do estudo de outros indicadores do solo e das análises físico-químicos do mesmo, já que nem sempre a informação que se obtém dessas plantas é consistente. Esta informação verificada pode servir para melhorar ou corrigir certas práticas agronómicas.

Alguns exemplos da relação entre as plantas, que se encontram de forma natural, e a informação que estas podem fornecer são:

- Acerilla (*Oxalis* sp.) é encontrada em solos nus, muito cultivado e com má estrutura.
 - Amendoin bravo (*Euphorbia heterophylla*) causa desequilíbrio entre o nitrogênio e micronutrientes, como cobre.
- Beldroega (*Portulaca oleracea* L.) é encontrada em solos salinos ricos em nitrogênio.
- Cenizo (*Atriplex patula* L.) e Fumaria (*Fumaria officinalis* L.), é encontrada em solos com boa estrutura e ricos em nitrogênio.
 - A Urtiga (*Urtica dioica* L.), é encontrada em solos com abundante matéria orgânica e rico em nitrogênio, fósforo e potássio.
 - A samambaia (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn), a azedinha (*Rumex acetosa* L.), a Urze-molar (*Erica arborea* L.), a castanheira (*Castanea sativa* Mill.) o brejo (*Cytisus scoparius* (L.) Link) podem encontrar-se em solos ácidos.
 - A mostarda (*Sinapsis alba* L.), a camomila (*Matriarca recutita* L.) e a papoila (*Papaver rhoeas* L.) indicam solos calcários ricos em húmus.
 - O cártamo silvestre (*Centaurea jacea* L.) e a cenoura (*Daucus carota* L.) são típicos de solos calcários.
 - O picão preto (*Bidens pilosa*) normalmente indica solos de média fertilidade e solos desequilibrados nutricionalmente.

2.2.4. Indicadores da produtividade nas culturas

A redução do rendimento das culturas pode ser um indicativo da degradação do solo, mas não é o único fator determinante, já

que também influencia o clima, a qualidade das sementes, a incidência de pragas e doenças, o manejo da cultura, etc. Mesmo com índices de degradação do solo crescentes, os rendimentos podem manter-se ou aumentar ao adotar práticas de cultivo que, inicialmente podiam mascarar o problema, como as mudanças de espécies ou variedades dentro da mesma espécie mais tolerantes a processos de degradação, intensificação da produção através da adição de fertilizantes e implementação de sistemas de irrigação. Portanto, para associar as perdas de produtividade a degradação do solo, há que levar esses aspetos em conta.

Os efeitos nas culturas associados a processos de degradação e perda da qualidade do solo, podem ser:

- Aparecimento de zonas de menor crescimento e/ou com sintomas de carências.
- Redução do diâmetro do caule em culturas hortícolas.
- Menor altura de plantas (tendo como referência plantas da mesma variedade).
- Desenvolvimento radicular deficiente.
- Diminuição do número de espigas por superfície (em cereais), número de flores por planta ou número de flores por inflorescência (segundo a espécie em questão).
- Redução do tamanho ou calibre dos frutos coletados e, diminuição da produção de biomassa.
- Aumento da presença das pragas e das doenças no solo.

2.3. Avaliação mediante métodos analíticos

2.3.1. Indicadores do solo que se determinam especificamente no laboratório

Embora a avaliação visual do solo nos dá muita informação sobre suas características físicas, químicas e biológicas, a tomada de decisões sobre certos aspectos relacionados com o manejo do solo (por exemplo, o tipo de fertilizante a usar em função das necessidades do solo ou a quantidade de fertilizante) torna necessário realizar uma análise quantitativa dos solos, para conhecer com precisão suas características físicas, químicas ou biológicas. Em todo caso, as análises de laboratório devem ser em todos os casos um complemento da observação visual do solo.

a. Determinações físico-químicas

- Teor de água útil ou disponível: o solo é o principal fornecedor de água para as plantas, pela sua capacidade para armazená-la e liberá-la conforme a necessidade. Mas, não é toda a água presente no solo que pode ser absorvida pelas plantas, uma vez que, quando há escassez, as moléculas de água ficam fortemente unidas as partículas do solo, que as raízes não conseguem absorvê-la. A água útil, é aquela quantidade de água que pode ser armazenada no solo e que pode ser aproveitada pelas raízes das plantas permitindo o crescimento normal destas. O teor de água útil de um solo vai depender da sua textura, profundidade, densidade ou concentração da matéria orgânica.
- Textura: embora existem métodos visuais, para saber a textura de um solo, é necessário sua análise em um laboratório para poder conhecer a

proporção das diferentes partículas do solo (areia, limo e argila). Conhecer a classe textural do solo nos permite saber o comportamento do mesmo face as práticas culturais, as relações solo-água que nele ocorrem, etc.

- Capacidade de troca catiônica (CTC): as partículas mais finas do solo (argilas, húmus, óxidos hidratados de ferro, manganês e alumínio) possuem cargas elétricas na sua superfície que lhes permitem reter de forma reversível cátions (ions com carga positiva) do solo (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , etc.). Por exemplo, a CTC da areia é de 0 $cmol(+)/kg$, enquanto que a da matéria orgânica está entre 100-300 $cmol(+)/kg$.

A CTC de um solo, além da sua composição, também está influenciada por outros fatores como o pH (em pH ácidos as cargas predominantes na solução do solo são maioritariamente positivas, enquanto que em pH básicos são negativas).

Quanto maior for a capacidade de troca catiônica de um solo melhor será o desenvolvimento da estrutura deste e dos seus agregados do solo, maior será a disponibilidade de nutrientes para as plantas, aumentando a capacidade do solo para reter elementos contaminantes, etc.

b. Determinações biológicas

- Respiração dos microorganismos do solo: consiste em determinar a emissão de CO_2 do solo, que está relacionado com a atividade metabólica dos organismos do mesmo. Quanto maior o valor de CO_2 , maior o conteúdo de microorganismos.
- Micorrizas: associação de simbiose entre as raízes das plantas e os fungos formadores de micorrizas arbusculares. Esta união leva a uma melhoria do crescimento e do estado nutricional das plantas, já que o micélio externo dos fungos micorrízicos melhora a absorção de fósforo (maioritariamente no solo na forma não disponível para as plantas),

nitrito, amônio e micronutrientes, transferindo-os as espécies vegetais com as quais associa.

As plantas micorrízicas apresentam maior desenvolvimento radicular, tamanho e taxa fotossintética do que as não micorrízicas. Além disso, os fungos micorrízicos protegem as plantas contra a seca, salinidade, contaminação por metais pesados, aumentam resistência as plantas a doenças e parasitas, melhora a estrutura e estabilidade do solo e são capazes de interagir com outros microorganismos da rizosfera (por exemplo, bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico).

Em Canárias, tem-se desenvolvido trabalhos em solos de tomate, videira e bananeira, utilizando os fungos formadores de micorrizas como bioindicadores da qualidade dos solos.

- Análise dos microorganismos: Os microorganismos do solo estão envolvidos em todas as atividades que ocorrem no solo (ciclo de carbono, degradação da matéria orgânica, desenvolvimento radicular, etc.). Portanto, o estudo da abundância, atividade e biodiversidade taxonômica, metabólica, funcional ou genética dos microorganismos (bactérias, actinobactérias, arqueobactérias, fungos filamentosos e microorganismos endófitos), oferece uma avaliação integrada da saúde do solo.

2.4. Avaliação mediante análises de imagem

Análises de imagem mediante satélite, câmaras térmicas multi-espectral.

A avaliação mediante análises de imagem se realiza através do sensoriamento remoto, o qual faz uso de um conjunto de sensores e equi-

pamentos de transmissão, acoplados em aeronaves, naves espaciais ou outras plataformas, cujo objetivo é captar os eventos e processos que ocorrem na superfície terrestre, derivados da resposta da radiação electromagnética, bem como das substâncias presentes nas superfícies estudadas.

A principal vantagem do uso do sensoriamento remoto se refere a seu alcance no processo de monitorização, graças a possibilidade de cobrir grandes áreas com um custo relativamente baixo, permitindo também o estudo das mudanças temporais que ocorrem no meio ambiente.

Graças as inovações tecnológicas das últimas décadas, já é uma realidade o uso de veículos aéreos não tripulados ou drones, dotados de câmaras comuns (RGB), multi-espectrais, térmicas e hiper-espectrais, que captam a informação espectral muito mais além da capacidade do olho humano, permitindo as mais diversas análises. Existem inúmeras possibilidades de uso agrícola/ambiental das imagens resultantes do uso de drones, como a detecção de deficiências hídricas e nutricionais nos cultivos agrícolas, incidência de pragas e doença e mudanças na fisiologia das plantas.

No ISOPlexis – Universidade da Madeira têm utilizado o sensoriamento remoto para verificar a recuperação da vegetação nativa em uma área degradada com a aplicação de diferentes matérias orgânicas no solo (composto, lodos de esgoto e biochar). Os índices de vegetação obtidos mediante câmaras acopladas a um drone, foram relacionados com a produção de biomassa e a melhora dos parâmetros de qualidade do solo nas áreas de estudo. Se determinou o Índice de Vegetação Diferencial Normalizado (NDVI, de seus siglas em inglês), alcançando maiores valores nas parcelas com os aditivos orgânicos em relação ao controle, estando os efeitos da aplicação de biochar em vias de estudo.

Manual técnico

3. Práticas de manejo para a sustentabilidade dos solos

Através das práticas agrícolas convencionais (trabalho tradicional, queimadas, uso continuado de herbicidas e outros agroquímicos para o controle de pragas e doenças, fertilização inadequada, falta de aplicação de matéria orgânica, monocultivo, etc.), tem-se favorecido a degradação e erosão dos solos.

As práticas de manejo para a sustentabilidade dos solos buscam prevenir a degradação dos mesmos e a recuperação das propriedades físico-químicas e biológicas mediante modificações nas práticas culturais, que garantem uma produção agrícola sustentável.

3.1. Práticas sustentáveis de manejo das culturas

Entre as diferentes práticas sustentáveis de manejo de culturas podemos encontrar:

3.1.1. Preparo do solo

O preparo do solo pode ser definido como “*uma técnica de cultivo que permite manter o solo descoberto mediante uma sucessão de intervenções mecânicas cujo objetivo é remover o solo para eliminar a vegetação espontânea*”. Ele tem como finalidade deixar o solo em condições adequadas para a sementeira e o transplante. Dependendo do grau de profundidade, pode-se encontrar com três tipos de preparo: convencional, preparo mínimo ou plantio direto.

1. O preparo convencional consiste na inversão das camadas do solo, mediante o uso de arados de aiveca ou de discos, para incorporar a vegetação espontânea ou os resíduos da cultura anterior (preparo primário). Posteriormente são realizados outros tratamentos secundários que preparam as camadas mais superficiais para a implantação da nova cultura. A profundidade do preparo está entre os 30-40 cm. Porém, este sistema de preparo afeta todo o perfil do solo, destruindo os agregados e a sua estrutura, além de acelerar a taxa de decomposição da matéria orgânica (aumentando a perda de carbono, diminuindo a fertilidade, e afetando negativamente o desenvolvimento da fauna do solo). Portanto, hoje em dia, para evitar esse efeito nocivo se aconselha usar outras técnicas de preparo menos agressivas ao solo, como o preparo de conservação e o plantio direto.

2. Cultivo mínimo ou preparo de conservação, consiste em alterar de forma vertical o perfil do solo, mas sem revirá-lo, mediante um preparo primário com um arado tipo “Chisel”, diminuindo assim o risco de erosão. Os resíduos são incorporados a uma profundidade entre 15-20 cm.

O cultivo mínimo pode realizar-se de três formas distintas:

- Em faixa: são retirados somente os sulcos de 5 a 20 cm, onde serão colocadas as sementes, deixando o solo entre os sulcos intatos e coberto de resíduos orgânicos. Sistema especialmente útil para os solos frios e úmidos, pois os sulcos fornecem um ambiente mais quente e com melhor drenagem às plântulas.
- Em camalhões: os camalhões podem ser estreitos ou largos e os sulcos podem ser paralelos, e em curvas de nível ou com leve declinação (dependendo se o objetivo é drenar o excesso de umidade ou conservar a umidade). É menos conservador que em faixas.
- Vertical: remover, de forma circular, somente o solo ao redor do local da sementeira, deixando sem remover o espaço entre os círculos. Este tipo de preparo favorece o movimento da água no solo e um crescimento da raiz a maior profundidade. É recomendado para cultivos que necessitam de amplo quadro de plantio como a melancia, batata doce, fruteiras, etc.

3. Plantio direto ou sementeira direta, nesta modalidade, após a colheita os restos culturais são deixados na parcela e a sementeira é realizada diretamente sem necessidade de preparação mecânica ou alteração dos solos, simplesmente abrindo uma pequena faixa onde se depositam as sementes ou mudas. O controle contra as ervas daninhas se faz mediante controle químico ou manual, quando for necessário, e a palhada é mantida para controle da erosão. É útil em solos de

textura arenosa (areias e cascalho) e solos bem drenados, porque são menos susceptíveis a compactação.

As vantagens do cultivo mínimo e do plantio direto são :

- Protege a humidade do solo. Ao diminuir a evaporação na camada superficial e aumentar a infiltração aumenta a humidade da camada arável, o que favorece a germinação e desenvolvimento da cultura.
- Melhora o microclima do solo ao amortecer o calor e a radiação do ambiente, regulando a sua temperatura.
- Protege a estrutura do solo.
- Previne e diminui a erosão do solo.
- Aumenta a matéria orgânica do solo, e portanto a fertilidade, ao aumentar a sua taxa de decomposição.
- Melhora a estrutura do solo por estimulação da atividade biológica do solo (aumenta a microfauna, ácaros, minhocas, etc.) que promove, por exemplo, a formação de agregados do solo.

3.1.2. Adubação ou correção orgânica

A aplicação de adubos orgânicos no solo (estrume, composto, biochar, etc.) melhora as propriedades físico-químicas e biológicas do solo que determinam sua fertilidade, a diversidade e o crescimento dos diferentes organismos que o habitam (bactérias, fungos, invertebrados e plantas).

Entre as ações mais importantes destas adubações no solo

destacam:

- Aumento da água útil no solo, favorecendo a germinação. A incorporação da matéria orgânica ao solo favorece a formação de agregados estáveis que incrementam a aeração, a capacidade de infiltração e retenção hídrica e porosidade do solo.
- Prevenção dos processos erosivos.
- Fonte de nutrientes como N, P e K, que são liberados de forma progressiva (devido a sua descomposição). Além disso, favorece a retenção de certos nutrientes devido a sua alta capacidade de troca catiónica.
- Capacidade de amortecer as variações do pH do solo.
- Reserva de C e de energia para os microorganismos do solo.
- Diminui a incidência de pragas e doenças do solo ao favorecer o desenvolvimento da flora microbiana).
- Promove o desenvolvimento radicular.

A matéria orgânica usada como adubo ou corretivo provém de resíduos vegetais ou animais (que podem ser usados diretamente ou após ser transformados) ou dos produtos obtidos após sua transformação (principalmente mediante processos de compostagem, vermicompostagem e pirólises).

- Resíduos agrícolas: procedentes dos restos das colheitas.
- Resíduos agroalimentares: composto pelos restos de frutas e verduras e resíduos de seu processamento (ex: ossos, peles, cascas de frutos secos, resíduos de óleo etc.), e que se caracterizam pelo seu elevado

conteúdo em matéria orgânica e nutrientes.

- **Resíduos pecuários:** compostos por resíduos líquidos ou sólidos provenientes da pecuária (estrume e chorume). São ricos em compostos orgânicos solúveis.
- **Composto:** é um produto orgânico quimicamente estável e livre de patógenos com propriedades similares ao húmus. Possui um aspeto terroso e aroma a terra molhada. É produzida através da decomposição de materiais orgânicos biodegradáveis (restos de plantas e frutas, estrume, grama, etc.) mediante um processo estritamente bio-oxidativo ou aeróbico (ou seja, na presença de oxigénio) e termófilo (alta temperatura) realizado por microorganismos. É usado como fertilizante do solo ou como substrato para o cultivo.
- **Vermicomposto:** O vermicomposto, também chamado minhocultura, composto de minhoca ou ainda húmus de minhoca, é um produto orgânico obtido através de uma técnica denominada “vermicompostagem”, a qual consiste em um processo de bio-oxidação, degradação e estabilização da matéria orgânica mediante o uso de minhocas do solo e microorganismos. A minhoca ao alimentar-se dos materiais orgânicos e em interação com os microorganismos, os transforma em um produto estável com excelentes qualidades como fertilizante.
Em experimentos realizados no ICIA (Instituto Canário de Investigação Agrária), onde se aplicou composto e vermicomposto, de forma direta e em forma de substâncias húmicas solúveis (chá de composto) ao solo, verificou uma melhora tanto das propriedades químicas (fertilidade, retenção de água) como biológicas (aumento da comunidade microbiana) do solo após a sua aplicação.
- **Biochar ou biocarvão:** produto obtido através de materiais orgânicos após um processo de pirólise a altas temperaturas (entre 350-800°C) na ausência ou muito baixa concentração de oxigénio.

Embora as propriedades do biochar obtido vão depender do seu material de partida, tempo de pirólise ou temperatura alcançada, as características comuns que possui qualquer biochar são: i) alto conteúdo em carbono estável, pouco disponível para os microorganismos (pode permanecer no solo durante centenas de anos sem ser degradado, ajudando a diminuir as emissões de CO₂ a atmosfera); ii) baixo teor de nitrogênio; iii) pH alcalino; iv) baixa densidade, v) alta porosidade; vi) grande superfície específica. O biochar tem uma alta capacidade de adsorção que favorece a retenção tanto de nutrientes como de água no solo (evitando sua lixiviação até zonas mais profundas do solo) e serve de habitat para os microorganismos do solo.

Em experiências realizadas no ICIA com biochar obtido de folhas de palmeiras, verificou-se que a quantidade de água útil de um solo agrícola aumentava após a incorporação de biochar, e que sua aplicação melhorou alguns indicadores biológicos do solo.

Porém, embora a aplicação de biochar aumenta a relação C/N do solo, este não fornece nutrientes ao mesmo. Portanto, para fornecer estes nutrientes ao solo, se requer a mistura de biochar com materiais ricos em nutrientes (processo denominado pré-carga) antes de sua aplicação ao solo. Neste sentido, a pré-carga pode ser feita tanto com fertilizantes sintéticos, como fertilizantes orgânicos (composto, vermicomposto, estrume, etc.) ou lixiviados de diferentes procedências (por exemplo de vermicompostera).

Para ver o processo de composto, vermicomposto e biochar, visite: vercochar.com/documentos/ e vercochar.com/videos/

3.1.3. Adubos verdes

Os adubos verdes são coberturas vegetais espontâneas ou de sementes selecionadas e semeadas, que se cortam e se incorporam

no mesmo lugar onde foram semeadas, antes da floração ou em floração.

As espécies elegidas como adubo verde, devem cumprir certas qualidades:

- Ter ciclos curtos;
- Fornecer matéria orgânica abundante;
- Possuir uma relação C/N adequada;
- Ser fixadoras de nitrogênio para enriquecer o solo (muitas são leguminosas);
- Reduzir o desenvolvimento de plantas daninhas;
- Possuir capacidade para formar micorrizas.

Entre as espécies mais utilizadas como adubo verde estão as leguminosas, juntamente com as gramíneas e crucíferas.

A adubação verde aumenta a atividade microbiana do solo e melhora a sua estrutura. Entre os efeitos mais importantes destacam:

- A melhora das características físico-químicas do solo: aumento da formação dos agregados e da porosidade, diminuição da densidade aparente, favorece a capacidade de retenção da água e de infiltração, protegem o solo contra a erosão, etc;
- Ativam os processos biológicos no solo: os produtos exudados pelas raízes e sua ação mecânica, propiciam a mineralização do húmus. A massa radicular ao decompor-se favorece o aparecimento do húmus;

- Enriquecem o solo com elementos nutritivos: as leguminosas favorecem a fixação do nitrogênio, as crucíferas são capazes de recuperar o potássio de zonas profundas e incorporá-las a zona da rizosfera após sua morte, evitando a lixiviação dos elementos fertilizantes, etc.;
- Algumas espécies usadas como adubos verdes contêm substâncias alelopáticas (como, por exemplo, ácidos) que podem limitar o crescimento de ervas daninhas e de nemátodos patógenos; também podem solubilizar elementos como ferro e fósforo tornando-os disponíveis para as raízes, etc.

Além disso, o uso de adubos verdes tem também uma vantagem econômica uma vez que se eliminam os custos associados ao seu transporte e gestão fora da propriedade, é mais barato que outros adubos, evitando assim os gastos com mondas, etc.

3.1.4. Coberturas vegetais

A cobertura vegetal consiste em cobrir a superfície do solo com material vegetal (vivo ou morto) de forma permanente. O solo, ao ter uma cobertura de forma contínua vai ter uma série de vantagens em relação aos solos descobertos, tais como:

- Estar menos exposto a influência direta do sol (diminui a temperatura e a evapotranspiração), do vento e da água (diminuindo a sua degradação por erosão).
- Maior taxa de infiltração de água, pelo efeito combinado do sistema radicular e da cobertura vegetal. Isto, juntamente com a diminuição da evapotranspiração aumenta a retenção da humidade no solo.

Além disso, se a cobertura for feita com material vivo, plantas como por exemplo aveia e cevada, a manutenção da vegetação espontânea,

favorece a atividade biológica do solo (ao servir as plantas de fonte de alimento, hábitat para os organismos do solo, etc.) e permitem o desenvolvimento de organismos benéficos para o controle de pragas, diminuindo a necessidade de praguicidas.

Se a cobertura vegetal implantada é feita com espécies da família das leguminosas (por exemplo, a ervilha) além dos benefícios anteriores, também se promove a fixação biológica de nitrogênio atmosférico o qual fica disponível para as raízes das plantas.

O uso de cobertura de material orgânico morto (palha, resíduos de pinheiro, cascas de árvores, etc.) se denomina cobertura morta ou mulch e entre suas vantagens destaca a simplicidade de implementação (não requer conhecimentos especializados), sua obtenção é fácil mediante material a nível local e, embora a matéria orgânica de uma cobertura demora mais a decompor-se em comparação com aquela incorporada ao solo, produz um aumento no teor de matéria orgânica no mesmo.

3.1.5. Rotação de culturas

Técnica que consiste no plantio em um mesmo terreno de diferentes espécies, realizada de forma sucessiva e em uma sequência determinada. A finalidade da rotação de cultura é o desenvolvimento de sistemas de produção mais diversificados que ajudam a manter a fertilidade do solo visando, também, reduzir os processos de degradação de solos por erosão.

Durante a rotação deve-se realizar períodos de descanso (pode durar de 1 a 2 anos) para que o solo recupere sua capacidade de produção (conhecido como pousio), embora nem sempre seja necessário se for feita uma boa planificação da rotação. Algumas recomendações para a escolha das espécies a introduzir em uma rotação são: i) que sejam de

famílias botânicas distintas: ii) com sistemas radiculares diferentes para que explorem distintas zonas do perfil do solo; iii) introduzir alguma leguminosa: iv) combinar plantas exigentes em matéria orgânica e que admitem a matéria orgânica fresca ou menos decomposta com plantas menos exigentes e que necessitam de matéria orgânica mais decomposta.

Os benefícios que se obtêm com a rotação de cultura são, entre outros:

- Melhor distribuição dos nutrientes no perfil do solo já que as raízes alcançam diferentes profundidades.
- Ajuda a diminuir a presença de ervas daninhas, pragas e doenças (quebra os seus ciclos biológicos devido a falta de plantas que o servem de hospedeiro), o que se traduz em um menor uso de pesticidas e prevenção da problemática de contaminação dos solos.
- Ao melhorar a fertilidade do solo aumenta o rendimento das culturas, além de reduzir as necessidades de fertilizantes sintéticos.

3.1.6. Barreiras vivas

Plantio em fileiras de vegetação, principalmente árvores e/ou arbustos preferencialmente adaptados a região e de crescimento limitado e a distâncias relativamente próximas, com o intuito de controlar a erosão do solo, atenuar a ação do vento e possíveis pragas. É feita principalmente nas encostas e as plantas usadas podem ser pastos, leguminosas arbustivas (favorece a fixação de nitrogênio), plantas medicinais e com flores (aumenta a presença de polinizadores na região e o estabelecimento da fauna auxiliar), etc.

Os principais benefícios da implantação de barreiras vivas são:

- Diminuem a velocidade da água de chuva e retêm os sedimentos que são arrastados, ajudando a modificar o desnível através da formação

de terraços naturais. Tudo isso se traduz em uma diminuição da perda do solo e da fertilidade do solo.

- Reduzem a velocidade do vento, portanto, os riscos de erosão diminuindo a evapotranspiração.
- Aumentam a diversificação dos agroecossistemas.
- Diminuem a incidência de pragas e conseqüentemente o uso de inseticidas e fungicidas uma vez que constituem barreiras físicas para populações imigrantes de pragas, ao mesmo tempo que oferecem serviço de abrigo e alimentação as populações de inimigos naturais, em especial parasitóides e predadores.
- Requerem pouca manutenção, mas no caso de ter que realizar podas de manutenção, os restos vegetais são fonte de matéria orgânica que se podem incorporar ao solo.
- Controlam o movimento de animais e humanos, protegendo as culturas do pisoteio dos animais.

3.2. Práticas sustentáveis em função do tipo de solo

3.2.1. Solos salinos, sódicos e salino-sódicos

A salinidade é uma das causas mais importantes do estresse agrícola, limitando a produção das culturas nas regiões áridas e semiáridas, devido a um alto teor de sal no solo e precipitações insuficientes para a sua

lixiviação. Mais de 10% da superfície terrestre (1.000 milhões de hectares) é afetada pela salinidade.

A presença dos sais nos solos salinos afeta a atividade microbiana do solo e a absorção dos nutrientes pelas plantas, com efeitos negativos em seu desenvolvimento vegetativo por diminuição do crescimento e a divisão celular, na germinação e emergência das plantas. Nos solos sódicos o desenvolvimento das plantas se vê limitado, também, pela dispersão das argilas e degradação da estrutura do solo devido ao excesso de sódio.

Práticas de manejo em solos salinos:

A produtividade em solos salinos depende de diversos fatores como as condições da região, espécies cultivadas, tipo de solo, qualidade da água de rega, comportamento de sais existentes, técnicas de cultivo, etc.

Nos solos afetados pela salinidade, o primeiro passo antes da instalação de uma cultura, é o estudo da viabilidade do cultivar e espécies de interesse tolerantes a salinidade. A sensibilidade das plantas a salinidade do solo é muito variável e em muitos casos a exposição a condições salinas pode induzir as plantas a certo grau de tolerância. Entre as plantas cultivadas, as de beterraba, tomate, arroz, etc. são conhecidas como relativamente tolerantes a salinidade. Por outro lado, leguminosas, plantas de cebola, etc., são muito sensíveis.

Porém, quando não é possível o cultivo de espécies tolerantes, é necessário fazer uma série de atuações de melhora para corrigir a acumulação excessiva de sais na região radicular, como:

- Lavagem de sais do solo. Como medida corretiva deve-se realizar uma lavagem de sais com água de boa qualidade mediante um sistema de rega localizado. A lavagem deve efetuar-se até que a condutividade elétrica seja compatível com o cultivo de interesse. Portanto, a quantidade de água e o tempo de lavagem depende do teor inicial de

sais, do nível de salinidade desejado, a qualidade de água aplicada e as características do solo, entre outros. A aplicação desta lavagem é mais eficaz quando a rega se realiza nos momentos de baixa demanda evaporativa, por exemplo, durante a noite quando a humidade ambiental é elevada e a temperatura é baixa ou fora da temporada de cultivo.

Havendo recursos financeiros suficientes, recomenda-se instalar um sistema de drenagem enterrado para, mediante drenos ou desagues subterrâneos ou sub-superficiais (dependendo do nível freático e grau de saturação da água), dar saída a água de lavagem; evitando desta forma, a contaminação de outras zonas de cultivo localizadas em níveis mais baixos.

Uma vez alcançado um grau de salinidade aceitável deve-se aplicar estratégias de manutenção. Dado que todas as águas de rega têm um teor de sais em maior ou menor quantidade, quando a água é absorvida pelas plantas ou se evapora, os sais dissolvidos na fase líquida vão-se concentrando no solo dando lugar a acumulação de sais. Para evitar isso, a água de rega deve ser fornecida em uma quantidade suficiente para poder compensar as necessidades hídricas da cultura e a demanda evaporativa da atmosfera, além de um excedente (fração de lavagem) para arrastar parte dos sais acumulados fora da zona radicular.

Como orientação, recomenda-se uma fração de lavagem de 0,5 (aumento de 50% a quantidade de rega) em solos salinos e, um valor de 0,1 é considerada insuficiente na maioria dos casos.

- Manejo da irrigação. Para evitar o acúmulo de sais na região radicular, principalmente quando se usam águas de pouca qualidade, deve-se tomar uma série de precauções nos solos de regadio. Com a utilização da rega localizada, se gera um bulbo húmido que, junto com o próprio movimento da água, faz com que se acumulem os sais na periferia do referido bulbo, portanto as raízes desenvolvem no

interior dessas com menor concentração de sais. Porém, há que levar em consideração que, de vez em quando, é necessário lavar os sais acumulados nas bordas dos bulbos (precisa de água de qualidade e boa drenagem). Além disso, as chuvas podem mover os sais até o interior do bulbo, por isso deve ser regado nesse momento.

Em sistemas de irrigação por aspersão, é necessário uso da água de muita boa qualidade para prevenir danos a folhagem como consequência da concentração de sais, especialmente cloretos e sódio, sobre a superfície das folhas. Contudo, se não houver água de qualidade, utiliza-se algumas técnicas complementares para evitar o dano foliar, como regas noturnas, uso de aspersores pequenos e de rápida rotação, movimentação das tubulações seguindo a direção do vento e o uso de aspersores com um ângulo de aspersão pequeno.

É por isso que para evitar problemas de salinidade é crucial a escolha do sistema de irrigação.

Outras práticas culturais que se recomendam fazer em solos salinos ou com risco de salinização são:

- Nivelamento. Para favorecer uma boa lavagem é necessário que o solo tenha um bom nível de infiltração, para isso, um bom nivelamento contribui para uma melhor distribuição no lençol freático, para a redução de perdas e eliminação do acúmulo de sais como resultado da distribuição irregular das mesmas.
- Na preparação do solo, o movimento da água deve ser uniforme, tanto em profundidade como em superfície, facilitando a drenagem e o deságue, tarefas que eliminam o solo compactado e atuam sobre os limites abruptos entre horizontes. Para isso, podem ser realizados trabalhos profundos com subsolador que melhore a

velocidade de infiltração da água, permitindo uma melhor penetração das raízes, melhore a aeração e facilite o controle da salinidade. Estas práticas são mais efetivas quando o solo está em condições temperadas, pois se obtém uma maior rotura das camadas endurecidas ou densas.

- O cultivo mínimo, ao fomentar a melhora da estrutura do solo, reduzindo o tráfico de maquinaria, se evita a compactação do solo aumentando a drenagem, a penetração da água, a aeração e o desenvolvimento das raízes, ao mesmo tempo que se pode realizar eficientemente as práticas de controle da salinidade.
- A aplicação de matéria orgânica favorece diversas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Entre outras, o aumento da matéria orgânica nos solos melhora a estrutura do solo, aumenta a capacidade de retenção de água e facilita seu movimento através do perfil. Em solos salinos este efeito adquire uma importância fundamental para melhorar a lavagem.

Deve-se levar em consideração a salinidade dos corretivos orgânicos aplicados, evitando aquelas com altas concentrações de sais e/ou ajustando as quantidades aplicadas.

- Cuidados na germinação e trasplante: durante os primeiros estádios de crescimento, a planta é mais sensível aos danos causados pela salinidade. É nesse período, que as práticas de manejo da salinidade devem ser mais eficientes para evitar o acúmulo de sais no perfil radicular. Assim, durante a germinação se pode optar por uma rega que permita a lavagem dos sais nos primeiros centímetros do solo, onde se localizam as sementes. Também pode optar-se por maior número de sementes do que o habitual, contrariando a redução da percentagem de germinação por efeito dos sais.

Além das ações anteriores, recomenda-se também:

- Fertilização das culturas com base as análises preliminares do solo e água;
- Monitorização da CE do solo a cada ciclo de cultivo;
- Um bom sistema de drenagem do solo;
- O controle e monitoramento de fontes de água para assegurar e prevenir a salinidade dos solos;
- Ter em conta a tolerância de cada espécie vegetal antes de começar o seu cultivo.

Práticas de manejo de solos sódicos:

Em solos onde predominam o ion sódio, é necessário substituir o referido sódio trocável por cálcio para conseguir uma maior estabilidade do solo. Para isso, se incorporam corretivos ricos em cálcio como gesso, carbonato de cálcio, calcita, nitrato de cálcio, cloreto de cálcio, etc. Porém, se o solo é rico em cal (carbonato de cálcio) pode-se aplicar ácido sulfúrico ou enxofre elementar em grau fino para dissolver a cal, aumentando a concentração de cálcio disponível na dissolução do solo. Também a aplicação de matéria orgânica, ao aumentar a concentração de CO₂ (pela ativação da atividade microbiana) e reduzir o pH, aumenta a solubilidade do calcário, o que reduz os riscos de sodicidade.

Em solos sódicos é necessário ter precauções com a aplicação de matéria orgânica, pois sob certas condições a produção de ácidos húmicos ou fúlvicos (humificação) pode dar origem a formação de complexos com o sódio que podem contribuir para a dispersão de argilas como a montmorilonita.

Depois da aplicação de corretivos de cálcio, os solos devem ser regados com água de boa qualidade e dispor de desagues para recolha dos sais de lavagem. A granulometria do gesso influencia na quantidade de água necessária para sua dissolução. Quanto mais fino for o gesso, se requer menos água para dissolvê-lo, porém é mais caro e causa dificuldades na sua aplicação pela ação do vento.

Além disso, se as águas de lavagem têm alto teor de bicarbonatos, pode precipitar o cálcio e aumentar o risco de sodificação. Para avaliar o risco de precipitação de carbonato de cálcio se pode aplicar o índice de Langelier e a diretiva da qualidade da água de rega proposta por Ayers e Wescott (1985).

Práticas de manejo em solos salinos-sódicos

Nestes solos produzem-se dois efeitos contrapostos, a salinidade favorece a floculação ou estruturação, enquanto que a sodicidade favorece a dispersão ou destruição da estrutura. Para melhorar esses solos é conveniente manter níveis altos de salinidade tolerados pela cultura (que ajudam a manter a estrutura) para que a condutividade hidráulica seja alta durante o processo de melhoria com uma adição de cálcio, ao substituir o sódio pelo cálcio.

3.2.2. Solos áridos

As regiões áridas se caracterizam por uma baixa e errática precipitação que se refletem em níveis de produção agrícolas relativamente baixos e amplamente imprevisíveis. Normalmente as terras áridas recebem menos de 200 mm anuais de chuva em inverno ou menos de 400 mm de chuvas no verão (dependendo da estação chuvosa). No entanto, a característica principal para a sua secura não reside tanto na precipitação, mas no balanço negativo entre a precipitação e a evapotranspiração.

Portanto, as terras áridas podem ser definidas como regiões onde a precipitação média anual é menor que a metade da evapotranspiração potencial. O balanço negativo entre a precipitação e a evapotranspiração tem como resultado um período curto de crescimento das culturas, que é o critério elegido pela FAO (dias de crescimento) para definir as terras áridas como regiões com um período de crescimento menor de 120 dias.

Entre 40 a 50% das terras a nível mundial podem catalogar-se como terras áridas e algumas áreas das Canárias podem considerar-se como áridas. Em geral, os solos de zonas áridas, tendem a apresentar problemas de salinização, uma estrutura muito débil e um nível baixo de matéria orgânica, pelo que as práticas agrícolas que favoreçam a melhoria da estrutura do solo, sua capacidade de infiltração, a capacidade de retenção de água, e evitem a evaporação, o escoamento e ajudam a melhorar sua qualidade. Entre essas práticas, pode-se citar a aplicação de matéria orgânica (esterco, restos de cultivos, composto, biochar, adubos verdes,...), a cobertura morta, o culturas mínimo, evitar a compactação do solo, o uso de barreiras vivas e o manejo eficiente da irrigação.

Ao longo dos anos, os agricultores em Cabo Verde têm utilizado diferentes métodos de captação e armazenamento de água, de acordo com as políticas públicas, para amortecer os efeitos da escassez da chuva, para terminar o ciclo das culturas e obter melhores colheitas que, de outra forma, não poderia ser possível. Assim, pode-se destacar algumas infraestruturas hidráulicas utilizados ao longo dos tempos tais como:

Poços

São estruturas hidráulicas, feitas através de perfurações subterrâneas para a captação de água para a agricultura e para o uso doméstico. Construídas normalmente no leito das ribeiras e ou relativamente próximo das zonas litorâneas, onde existe algum lençol freático a ser explorado, são das mais antigas formas de exploração da água subterrânea para agricultura. Estas perfurações são feitas normalmente por máquinas

simples e são apenas de algumas dezenas de metros de profundidade, cujo diâmetro maioritariamente varia entre os 3 e 5 metros de diâmetro. A água mobilizada nestas estruturas é geralmente bombeada para reservatórios para depois fazer a irrigação por gravidade. Quando a profundidade ultrapassa os 7 a 8 metros são geralmente construídas plataformas para a colocação da bomba. Em Cabo Verde, os poços geralmente são construídos em alvenaria mista (pedra e argamassa nas camadas superficiais e alvenaria de pedra seca nas paredes nas camadas mais abaixo). Também existem muitos poços construídos de alvenaria e pedra seca. Atualmente tem-se recorrido também a poços de anéis de betão normalmente usados nos esgotos, cujo diâmetro é relativamente inferior de 1,2 a 1,5 metros maioritariamente. Exemplos concretos podem ser observados nas albufeiras de grandes diques nas ilhas do Maio e Boavista ou em barragens subterrâneas no concelho de São Domingos.

Furos

Infraestruturas hidráulicas com alguma semelhança com os poços na forma de obtenção da água. Contudo as máquinas utilizadas nas perfurações são especializadas nesse processo, e as perfurações ultrapassam por vezes, as centenas de metros de profundidade e com maior potencial de produção e distribuição da água, mas normalmente o diâmetro é muito inferior variando dos 180 a 500mm. São melhores equipadas com tubulações desde a profundidade e ao contrário dos poços, são protegidos com estrutura de betão devido a maquinaria mais complexa.

Diques de captação e retenção

São infraestruturas hidráulicas e de captação de água e de proteção dos solos que para além de servirem de suporte para proteção dos solos, atenuando o efeito da erosão, a principal função consiste na captação, retenção e distribuição de água, sendo que na maioria das vezes, estar sempre associado aos reservatórios ou tanques como são tradicionalmente chamados, os quais recebem a água captada desde os diques através da gravidade. Essas estruturas são normalmente construídas nas ilhas ou regiões de relevo acentuado, no fundo dos vales, onde tendencialmente escorrem as águas das chuvas. Os diques de captação são construídos onde existe uma nascente, ou então onde ocorre

escoamento de água subsuperficial durante uma boa parte do ano. Para a sua construção são geralmente escolhidas seções da bacia hidrográfica mais estreitas onde as rochas têm uma permeabilidade muito reduzida.

Diques de correção Torrencial

São infraestruturas de correção torrencial construídas no leito das ribeiras, para retenção do solo e impedir o seu arrastamento a jusante, bem como promover a infiltração da água das cheias para recarga do lençol freático. A sua construção é feita com o intuito de: diminuir o declive do leito das ribeiras e consequente redução da velocidade da água facilitando a infiltração e subsequente recarga dos lençóis freáticos, diminuição do escoamento superficial e do potencial erosivo das águas das chuvas, proteção das margens das ribeiras, retenção dos sedimentos, aumentando a área disponível para as culturas irrigadas ou não, temporariamente ou em permanência. São geralmente construídas de pedra seca de pedra argamassada ou pedra gabionada. Normalmente são compostos pelo corpo do dique com um descarregador, uma bacia de dissipação e a montante uma camada de enrocamento de pedra para proteger o dique do chamado boca de cheia e que ajuda na estabilidade do dique quando os mesmos estiverem assorriados, ajudarem a absorver o peso das terras na albufeira.

Reservatórios ou tanques

Infraestruturas hidráulicas construídas exclusivamente para armazenamento de água em uma primeira fase e depois a sua distribuição até as parcelas agrícolas. São de diferentes dimensões e muitas vezes dependem do caudal de água a ser mobilizada e da área a ser irrigada. Armazenam desde dezenas a milhares de toneladas de água e estão sempre associadas as outras infraestruturas hidráulicas devido a sua função.

Barragens

As barragens assemelham-se aos diques em forma, porém de dimensões muito maiores. São construídas com o objetivo de armazenar água das chuvas de escoamento superficial e subterrânea. Essas grandes infraestruturas têm capacidade para armazenar milhões de toneladas de água e irrigar grandes perímetros agrícolas. A primeira barragem a ser construída em Cabo Verde, foi na ilha de Santiago e teve uma grande importância para a produção agrícola local.

Dessalinizadoras

Estruturas responsáveis para a transformação da água salgada em água com índices qualitativos para a produção agrícola e para o consumo humano. As características agroclimáticas de aridez e seca levaram as autoridades a pensar a dessalinização como uma alternativa para a obtenção de água para a satisfação das necessidades básicas para as populações. Contudo, devido as secas severas que vem afetando o país de forma contínua, as fontes de água para a agricultura têm escasseando, ameaçando a sustentabilidade da atividade agropecuária. Daí a estratégia de melhorar a disponibilidade de água através de uma fonte mais adaptada as condições de aridez. Já existem algumas dessalinizadoras produzindo água para a agricultura sendo que há uma tendência para a adoção cada vez mais dessa tecnologia para a disponibilização e o aumento da área irrigada no país.

3.2.3. Solos nas encostas

Os solos nas encostas, são solos que estão expostos em um maior grau a erosão (quer seja eólica ou hídrica), a qual se pode ver acentuada tanto por fatores naturais (tipo de solo, inclinação da encosta, cobertura, etc.) como por práticas agronômicas (manejo do solo e métodos de cultivo principalmente). A erosão destes terrenos, leva a perda de solo cujas consequências mais graves são, entre outras, a formação de sulcos e voçorocas. Sua presença nas propriedades agrícolas é um grave problema, já que dificulta ou limita o acesso as propriedades e seu manejo agronômico, além de deixar as raízes das árvores expostas (podendo ser danificadas pela passagem da maquinaria ou inclusivamente favorecer a queda dos mesmos).

Para evitar esta degradação e consequente perda do solo e da sua fertilidade, existem diferentes mecanismos que atuam encurtando o comprimento da encosta.

Mediante estes sistemas, se consegue diminuir a velocidade do fluxo de água favorecendo sua infiltração, evitando o arraste das partículas do solo e favorecendo a sedimentação das partículas do solo que foram arrastadas pelo escoamento. Esses mecanismos são:

- Cultivo paralelo as curvas de nível: o preparo do solo e sementeira se faz seguindo as curvas de nível (de forma perpendicular a encosta). Se a encosta é muito acentuada, necessita combinar o preparo junto com a construção de terraços, de valas e/ou uso de barreiras vivas.
- Cultivo mínimo ou sementeira direta: ao não realizar nenhuma atividade de preparo se evita deixar o solo descoberto e assim reduz o risco de erosão.
- Construção de muros. Este método se baseia em um empilhamento de pedras (muros de pedra) ou em construções de aterros (muros de terra) ao longo das curvas de nível.

Tipos:

- Terraços são amplamente utilizados em todo o mundo e, em Canárias, estão muito presentes em todas as ilhas (em menor medida em Lanzarote e Fuerteventura) em Cabo Verde em todas as ilhas de vocação agrícola, embora com maior presença em Santo Antão. São muito eficazes para a conservação do solo e água através do controle do escoamento e da erosão (quanto menor é a separação entre os terraços menor será a erosão) e proporcionam importantes serviços ecossistêmicos, além de paisagísticos e culturais. Os terraços, também, reduzem a perda de nutrientes e sementes e permitem o aproveitamento de terras com muita encosta, mantendo a produtividade, tanto em termos de rendimento das culturas agrícolas como da fertilidade do solo.

- Barreiras vegetais: devem ser implantadas perpendiculares a encosta. São usados em terrenos íngremes e conduzem a terraços progressivos a medida que o solo que é arrastado, pelo vento ou pela água, se deposita na barreira.
- Revegetação ou reflorestamento de encostas: consiste na sementeira direta de espécies vegetais que possuem um grande desenvolvimento radicular, o objetivo de manter unidas as partículas do solo e evitar que estas possam ser arrastadas.
- Valas de infiltração. as valas são canais que se constroem seguindo as curvas de nível para favorecer a retenção e infiltração da água proveniente das partes mais altas do terreno. Mediante este sistema se consegue proteger as encostas da erosão além de favorecer o estabelecimento de barreiras vivas que ajudam a estabilização dessas encostas.
- Controle da erosão das voçorocas: mediante a construção de muros (para estabilizar a voçoroca e evitar que siga crescendo), uso de coberturas vegetais (para estabilizar a encosta e diminuir o escoamento), uso de barreiras permeáveis (para que a água circule mais lentamente no centro da voçoroca).

Revisão bibliográfica

Agencia de Recursos Verdes del Japón (J-Green). 2004. MANUAL DE TÉCNICAS. Estrategia de Intervención: “Desarrollo Rural Sostenible, basado en la conservación de suelos y aguas”. Sucre (Bolivia).

Arco-Lázaro, E., Raya, V., Haroun, J.A., González, M. y Álvarez, C. 2021. Efecto de la aplicación de biochar en suelo sobre cultivo de lechuga. Congreso SECH, Córdoba 17-21 de octubre de 2021.

Ayers, R. S., y Westcot, D. W. (1985). Water quality for agriculture (Vol. 29, p. 174). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Ayers, R. y D. Westcot. 1987. La calidad del agua en la agricultura. Roma. Estudio FAO Riego y Drenaje 29. 174 p.

Badia Villas. D. 1992. Suelos afectados por sales. Butll. Soc. Ct. Cien., Vol. III: 609-629.

Batistella, M. Moran, E.F. 2008. Geoinformação e monitoramento ambiental na América Latina. São Paulo, SP: SENAC. 283 p.

Bautista Cruz, A., Etchevers Barra, J., del Castillo, R. F., Gutiérrez, C. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 13(2).

Benites Jump, J.R. 2014. Evaluación Visual de Suelos (EVS). Una Guía de Campo. *Revista de Agricultura*, Nro. 53 – Abril 2014.

Bernal, M.P., Alburqueque, J.A., Moral, R. 2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology*, 100, 5444-5453.

Bolan, N., Kunhikrishnan, A., Thangarajan, R., Kumpien, J., Parke, J., Makinof, T., Kirkham, M.B., Scheckel, K. 2014. Remediation of heavy metal(loid)s contaminated soils – To mobilize or to immobilize?. *Journal of Hazardous Materials*, 266, 141– 166.

Bracamontes Nájera, L.; Fuentes Ponce, M. Rodríguez Sánchez, L. M. Macedas Jiménez, J. 2018. Manejo de indicadores biológicos de la salud del suelo. Unidad Autónoma Metropolitana.

Carlesi, S., Barberi, P. 2017. Las malas hierbas como bioindicadores del suelo: Cómo muestrear y usar los datos. 9 p.

Chhabra, D. 1996. Soil salinity and water quality. Brookfield, USA A. A. Balkema Publishers. 284 p.

Doran, D. C. 1999. Guía para la evaluación de calidad y salud del suelo. EUA: USDA. 88 p.

Doran, J. W., Zeiss, M. R. 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied soil ecology*, 15(1), 3-11.

FAO 2017. Directrices voluntarias para la gestión sostenible de los suelos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia.

FAO, M. 2018. Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Bogotá DC, Colombia. 144 p.

García-Jaramillo, M., Trippe, K. M., Helmus, R., Knicker, H. E., Cox, L., Hermosín, M. C., Parsons, J.R., Kalbitz, K. 2020. An examination

of the role of biochar and biochar water-extractable substances on the sorption of ionizable herbicides in rice paddy soils. *Science of the Total Environment*, 706, 135682.

Guanche García, A. 2015. Las lombrices y la agricultura. AgroCabildo cabildo de Tenerife. Información Técnica, 14 p.

<http://edafologia.ugr.es/> <http://tramce.com/2021/04/07/guia-final-del-proyecto/>

<http://www.climagri.eu/index.php/es/rotacion-de-cultivos>

<http://www.rinconesdelatlantico.com/num2/lanzarote2.html>

<http://www.soilmontana.com/wp-content/uploads/2012/11/FI-CHAS-CARPETA-OK-traz.pdf>

<https://docplayer.es/15622074-Memoria-final-proyecto-capacidad-agricola-de-los-suelos-de-la-reserva-de-biosfera-de-lanzarote-y-elaboracion-de-una-base-de-datos.html>

<https://docplayer.es/50270594-Muestreo-de-suelo-para-evaluar-fertilidad.html>

<https://guadianalisis.es/toma-de-muestras-de-suelo/>

<https://synergynuts.upct.es/labores-mecanizacion/laboreo-suelo/>

<https://tecnicrop.com/blog/prevencion-y-recuperacion-de-suelos-salinos>

https://www.agr.una.py/descargas/triptico_muestra_de_suelo_2011.pdf

<https://www.eweb.unex.es/eweb/edafo/GCSP/GCSL3DegQim.htm>

<https://www.fao.org/3/i6473s/i6473s.pdf>

<https://www.fao.org/common-pages/search/es/?q=definici%C3%B3n%20tier-ras%20aridas>

<https://www.fao.org/soils-portal/soil-biodiversity/en/>

<https://www.grab.fr/wp-content/uploads/2020/02/Fiche-ferti-maraich.pdf>

<https://www.lanzarotebiosfera.org>

Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F., Schuman, G. E. 1997. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). *Soil Science Society of America Journal*, 61(1), 4-10.

Labrador J., Porcuna J. L., Jaizme-Vega. 2020. Vivificar el suelo. Conocimientos y prácticas agroecológicas. 455 p.

Labrador Moreno, J. 2020. El papel de la vida en el suelo, en la generación, protección y estabilización de la materia orgánica. En: Vivificar el suelo. Conocimientos y prácticas agroecológicas. Ed. Juana Labrador, Jose Luis Porcuna y María C. Jaizme-Vega. Tenerife- Islas Canarias. 455 p.

Labrador, J. 2008. Manejo del suelo en los sistemas agrícolas de producción ecológica. SEAE-Sociedad Española de Agricultura Ecológica. 47 p.

Labrador, J. 2012. Avances en el conocimiento de la dinámica de la materia orgánica dentro de un contexto agroecológico. *Agroecología*, 7, 91-108.

Laich, F. 2020. Comunidades microbianas rizosféricas: interacciones y funcionalidades. En: Vivificar el suelo. Conocimientos y prácticas agroecológicas. Ed. Juana Labrador, Jose Luis Porcuna y María C. Jaizme-Vega. Tenerife- Islas Canarias. 455 p.

López Ritas, J., López Mélida, J. (1990). El diagnóstico de suelos y plantas (métodos de campo y laboratorio). Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 363 p.

Luters, A.; Salazar, J. C. 2000. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. EUA: USDA.

Moreno Ramón, H.; Gisbert Blanquer, J.M.; Ibañez Asensio, S. 2010. La estructura del suelo. <http://hdl.handle.net/10251/8010>

Novo, E. M. L. M. 2010. Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações. 4. ed. São Paulo, SP: Blucher, 387 p.

O'Geen, A. 2018. Consejos sobre la sequía: Recuperar los suelos salinos, sódicos y salino-sódicos. Agricultura y Recursos Naturales. Universidad de California. ANR Publicación 8629.

Peña Hernández, M. 2005. Breve aproximación a los sistemas agrícolas de Lanzarote. *Rincones del Atlántico* (2), 220-227.

Perdomo Molina, A. 2002. El sistema de cultivo en gavias en Fuerteventura (Islas Canarias, España). La gestión del agua en un espacio árido. En: J. Palerm Viqueira (Ed.). Antología sobre pequeño riego. Vol. III: Sistemas de riego no convencionales. Colegio Postgraduados de México. p. 161-165.

Perdomo Molina, A. 2005. Los sistemas de recolección de aguas de Canarias y el Sudeste Peninsular: semejantes soluciones a problemas comunes. Conferencia. XII Jornadas de estudios sobre Lanzarote y Fuerteventura. Arrecife de Lanzarote.

Perdomo Molina, A., Dupuis, I. 2004. Los nateros: un sistema de recolección de agua adaptado a las zonas áridas y montañosas de Canarias. *Tenique: Revista de Cultura Popular Canaria*, 6, 235-251.

Porta Casanella, J., López-Acevedo, M. 2005. Agenda de campo de suelos. Información de suelos para la agricultura y el medio ambiente. Ed. Mundi-Prensa. 541 p.

Porta Casanella, J., López-Acevedo, M., Poch, R. M. 2019. Edafología: uso y protección de suelos. Ed. Mundi-Prensa Libros. 624 p.

Porta Casanellas, J., López-Acevedo Reguerín, M., Roquero de Laburu, C. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente 3ª edición. 929 p.

Raudes, M., Sagastume, N. 2009. Manual de Conservación de Suelos. Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central. Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras. 75 p.

Red Española de Compostaje. *Residuos agrícolas*; Ediciones Paraninfo: Madrid, Spain, 2014. 255 p.

Red Española de Compostaje. *Residuos agroalimentarios*; Ediciones Paraninfo: Madrid, Spain, 2014. 344 p.

Reyes Pablos, J.L., Labrador Moreno, J., Porcuna Coto, J.L. 2004. Conocimientos, técnicas y productos para la agricultura y la ganadería ecológica. Juana Labrador Moreno: Sociedad Española de Agricultura Ecológica/Agroecología (ed.). ISBN 84-609-1283-3.

Sánchez Garrido, J.A. 1998. Análisis de suelo. Metodología e interpretación. Ed. Universidad de Almería. 184 p.

Shepherd, T. G., Stagnari, F., Pisante, M. and Benites, J. 2008. Visual Soil Assessment – Field guide for annual crops. FAO, Rome, Italy.

Soilmontana. Tarjetas de salud de los agroecosistemas: conservación de la biodiversidad edáfica y vegetal en áreas pascícolas, montañas y de fondo de valle. http://www.soilmontana.com/?page_id=65

Stocking, M. Murnaghan, N. 2003. Manual para la evaluación de campo de la degradación de la tierra. Ed. Mundi-Prensa. 173 p.

Valente, S. Freitas, G. Gouveia, C. Macedo, F. Nóbrega, H., Pinto, L. Rosa, J. Carvalho, M. A. 2022. Monitoring of the action of Organic Compost in Amendment of Degraded Soil in Madeira Island. Sustainable and Precision Agriculture Symposium. Tenerife. Canary Islands 2022.

Valente, S. Freitas, G. Gouveia, C. Macedo, F. Nóbrega, H., Pinto, L. Rosa, J. Carvalho, M. A. 2022. The use of Sewage Sludge in the Soil Amendment: preliminary study in Madeira Island. Sustainable and Precision Agriculture Symposium. Tenerife. Canary Islands 2022.

Vargas Rojas, R. 2009. Guía para la descripción de suelos.

Yang, D. I. N. G., Yunguo, L. I. U., Shaobo, L. I. U., Huang, X., Zhongwu, L. I., Xiaofei, T. A. N., Guangming, Lu, Z. H. O. U. 2017. Potential benefits of biochar in agricultural soils: a review. *Pedosphere*, 27(4), 645-661.