

3| Evidências: Monitorização do solo, o que monitorizar.

Autores: Teresa Dias¹, Juliana Melo¹; Alessandro Ramos², Cristina Cruz¹

¹ cE3c - Center for Ecology, Evolution and Environmental Changes & CHANGE - Global Change and Sustainability Instituto, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Edifício C2, Piso 5, Sala 2.5.03, Campo Grande, 749-016 Lisboa, Portugal.

² Universidade de VilaVelha, Espírito Santo, Brazil



O que é qualidade do solo?

A qualidade do solo é a sua capacidade para desempenhar a função necessária para o uso pretendido. Doran e Parkin (1994) definiram a qualidade do solo como a capacidade do solo de funcionar dentro dos limites do ecossistema e do uso da terra para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde de plantas e animais. Outros definiram qualidade do solo como a capacidade ou aptidão do solo para suportar o crescimento da cultura sem resultar na degradação do solo ou prejudicar o meio ambiente (Oliver et al., 2013). A qualidade do solo é frequentemente percebida como uma característica abstrata dos solos, que não pode ser definida porque depende de fatores externos, como uso da terra e práticas de gestão do solo, ecossistema e interações ambientais e prioridades socioeconómicas e políticas (Pankhurst et al., 1997). A qualidade do solo pode ser avaliada com base nas funções específicas do solo (Larson e Pierce, 1994). No entanto, as próprias funções do solo não podem ser medidas diretamente. Determinadas propriedades físicas, químicas e biológicas são usadas para quantificar a qualidade do solo relacionada com objetivos específicos. Essas propriedades do solo são chamadas de indicadores de qualidade do solo.

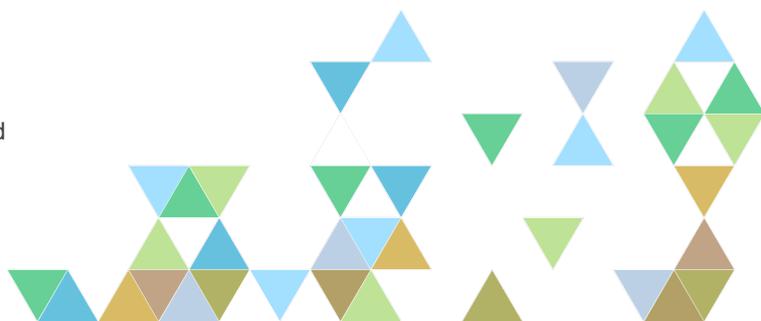
Os indicadores de qualidade do solo são medições do solo que podem representar as condições do sistema ou a capacidade do solo de desempenhar funções do sistema. Os atributos de um bom indicador são:

- Sensibilidade à mudança,
- Facilidade de medição e interpretação, e
- Metodologia repetível e reversibilidade para que tanto a melhoria quanto a deterioração possam ser monitoradas.

Diferentes indicadores químicos amplamente utilizados estão relacionados com as respetivas funções básicas que medem. Essas funções básicas incluem:



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 952051



- 1) promover a atividade e produtividade da biodiversidade,
- 2) filtrar, tamponar, degradar e desintoxicar materiais orgânicos e inorgânicos,
- 3) controlar a regulação e partição do fluxo de água e soluto,
- 4) reciclagem de carbono e nutrientes e
- 5) fornecer estabilidade física para plantas e animais, bem como fornecer suporte para estruturas associadas a habitats humanos.

Os componentes químicos e as propriedades do solo afetam muitas reações e processos que ocorrem no ambiente do solo. Por exemplo, o pH do solo controla a solubilidade e mobilidade de metais pesados, como Al, Fe, Mn, Cu e Zn, e nutrientes, como o fósforo. Também controla a toxicidade de muitos metais pesados e afeta a percentagem de saturação, a capacidade tampão do solo, a capacidade de troca catiónica (CEC) e as propriedades biológicas do solo, como crescimento e diversidade microbiana (as bactérias, exceto as espécies acidófilas, são muito sensíveis a baixo pH, em contraste com os fungos). Assim como os indicadores físicos e biológicos, os indicadores químicos são sensíveis à gestão do solo e às perturbações naturais. Práticas de preparação do solo (por exemplo, cultivo intensivo, cultivo de conservação e correções orgânicas e inorgânicas) podem alterar os níveis de reação do solo (pH), bem como o teor de nitrato, carbono orgânico total e P.

O cultivo intensivo sem a correção do pH pela calagem pode levar à acidificação do solo. Uma aplicação contínua de fertilizantes acidificantes, como nitrato amoniacal $(\text{NH}_4)_2\text{NO}_3$, sulfato de amónio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ e enxofre elementar (S), em solos alcalinos reduz os valores de pH do solo. As leguminosas podem acidificar ligeiramente o solo. A água de rega com altas concentrações de sais pode resultar na salinização do solo (altos valores de condutividade elétrica). Além dos indicadores referidos na Tabela 1, muitos outros incluindo capacidade de troca catiónica, percentagem de saturação por bases e percentagem de sódio trocável, foram sugeridos como potenciais indicadores de qualidade do solo. Essas propriedades, no entanto, são mensuráveis apenas em ambientes de laboratório.

Poucas propriedades químicas são medidas no campo porque os dados medidos em condições de campo apresentam alta variabilidade temporal, espacial e sazonal, e mesmo com a textura do solo. Para diminuir a variabilidade pode ser necessário fazer um grande número de análises. Os indicadores químicos que podem ser medidos diretamente no campo são pH, Condutividade elétrica, nitrato e fosfato (medidos pela tira de teste de P particularmente no Centro-Oeste). O carbono reativo é medido no laboratório. Os diferentes indicadores químicos estão correlacionados com várias funções de qualidade do solo (Tabela 1).



Tabela 1. Indicadores químicos relacionados com as funções de qualidade do solo. O número de asteriscos indica a força da relação entre o indicador e a função. Por exemplo, 3 asteriscos significam que o produto químico é um indicador importante e 1 ou 2 asteriscos significam que o produto químico é um indicador secundário.

Indicador de qualidade	Função				
	Sustentar a biodiversidade, funcionalidade e produtividade "D"	Regulação do fluxo hidrológico "W"	Filtrar, tamponar, degradar, destoxificar compostos orgânicos e inorgânicos "F"	Armazenar e reciclar nutrientes e carbono "N"	Estabilidade física e suporte para plantas e outros fins (habitação) "S"
Fosfato (b)	x	x			
Carbono reativo (a)	xx	x	xxx	xx	xx
Condutividade elétrica (b)		xxx			
Concentração de nitrato (b)	x	x			
pH	xx	xxx	xxx	xxx	

a - Método de laboratório/escritório

b - Método de campo

carbono – Método demorado

d - Observação visual simples

O pH do solo revela o grau de acidez ou alcalinidade do solo. Quimicamente, o pH é definido como \log_{10} de iões H^+ na solução do solo, onde H^+ representa a atividade de iões hidrogénio em solução, não a concentração de iões de hidrogênio, que é representada como $[H^+]$. A escala de pH varia de 0 a 14; um pH de 7 é considerado neutro. Se o valor do pH for maior que 7, a solução é considerada básica ou alcalina; se estiver abaixo de 7, a solução é ácida. É importante reconhecer que, como a escala de pH está em unidades logarítmicas, uma mudança de apenas alguma unidade de pH pode induzir mudanças significativas no ambiente químico e em processos biológicos sensíveis. Por exemplo, um solo com pH 5 é 10 ou 100 vezes mais ácido do que um solo com pH 6 ou 7, respetivamente. As fontes de iões H^+ na solução do solo incluem o ácido carbónico produzido quando o dióxido de carbono (CO_2) da matéria orgânica em decomposição, a respiração das raízes e a atmosfera do solo são dissolvidos na solução do solo. Outras fontes de iões H^+ são aniões raízes, reação de iões de alumínio (Al_3^+) com água, a nitrificação e mineralização de matéria orgânica, reação de compostos de enxofre, água de chuva e chuva ácida. Certos solos são mais resistentes a variações no pH por terem maior capacidade tampão. Portanto, a necessidade de cal, que é a quantidade de calcário ($CaCO_3$) necessário para aumentar o pH de um solo ácido para um nível desejado, deve ser determinado especificamente para cada campo antes de corrigir o solo. Algumas culturas crescem bem ou toleram solos ácidos, outras crescem bem ou toleram solos alcalinos. A maioria das culturas cresce em solos com pH entre 6 e 7,5.



O carbono reativo, também conhecido como carbono oxidável por permanganato ou carbono ativo, é uma fração do carbono da matéria orgânica do solo que é oxidável na presença de permanganato de potássio em solução. O carbono oxidado por este composto inclui o carbono mais facilmente degradável por microrganismos, bem como o ligado aos minerais do solo, tornando a interpretação dos valores de carbono reativo um tanto difícil. Por causa dessa associação com a fração mineral, o carbono reativo é considerado um indicador químico, e não um indicador biológico. No entanto, o carbono reativo está, na maior parte das vezes, significativamente relacionado com o carbono orgânico particulado, carbono da biomassa microbiana e, por vezes também com o carbono orgânico do solo. O tempo de residência do carbono reativo no solo é estimado ser de 2 a 5 anos, em contraste com o carbono recalcitrante (por exemplo, húmus) que tem um tempo de renovação de várias centenas a milhares de anos. O carbono reativo origina-se em várias frações da matéria orgânica do solo. Essas frações incluem material orgânico fresco, biomassa microbiana do solo, matéria orgânica particulada e outros compostos orgânicos facilmente metabolizados, como hidratos de carbono (açúcares) e proteínas (aminoácidos), bem como carbono fracamente ligado aos minerais do solo. Devido ao seu tempo de rotação relativamente curto, o carbono reativo é mais sensível às mudanças de uso e gestão do solo do que o carbono orgânico total. O carbono reativo pode ser usado como um indicador da mudança produzida pelas práticas de cultivo e gestão do solo que manipulam o conteúdo de matéria orgânica do solo. A condutividade elétrica do solo mede a capacidade da água do solo de transportar corrente elétrica.

A condutividade elétrica é um processo eletrolítico que ocorre principalmente através de poros cheios de água. Catiões (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ e NH_4) e aniões (SO_4 , Cl , NO_3 e HCO_3) de sais dissolvidos na água do solo carregam cargas elétricas e conduzem a corrente elétrica. Consequentemente, a concentração de íons determina a condutividade elétrica dos solos. Na agricultura, a condutividade elétrica dos solos tem sido usada principalmente como uma medida de salinidade do solo (Tabela 1); no entanto, em solos não salinos, a condutividade elétrica pode ser uma estimativa de outras propriedades do solo, como humidade do solo, profundidade do solo e conteúdo de nutrientes (por exemplo, concentração de nitrato). A condutividade elétrica é expressa em deciSiemens por metro (dS/m). Solos com valores superiores a 4 mmhos/cm (4 dS/m) medidos no seu extrato saturado são salinos, e o crescimento de culturas sensíveis à salinidade é restrito nesses solos. Nos últimos anos desenvolveram-se sensores para mapear a condutividade elétrica e deduzir a concentração de nitrato; Smith e Doran (1996) mostrando aumentos de nitrato com o aumento da condutividade elétrica.



A diretiva Europeia para a monitorização do solo

O artigo 6 da diretiva do Parlamento Europeu e do Conselho Europeu sobre monitorização e resiliência do solo (Lei de monitorização do solo de 5 de junho de 2023) define a estrutura de monitorização da saúde e ocupação do solo. Os Estados-Membro devem estabelecer um quadro de monitorização com base nas zonas do solo estabelecidas em conformidade com o artigo 4.º, n.º 1, para assegurar a monitorização regular e precisa da saúde do solo em conformidade com o artigo e os anexos I e II. Os Estados-Membro devem monitorizar a saúde e ocupação do solo em cada distrito do solo. O quadro de acompanhamento deve basear-se no seguinte:

- a) Os descritores do solo e os critérios de saúde do solo referidos no artigo 7.º;
- b) Os pontos de amostragem do solo a determinar em conformidade com o artigo 8.º, n.º 2;
- c) a medição do solo realizada pela Comissão de acordo com o parágrafo 4 deste Artigo, se houver;
- d) os dados e produtos de sensoriamento remoto referidos no parágrafo 5 deste Artigo, se houver;
- e) Os indicadores de ocupação e impermeabilização do solo referidos no artigo 7.º, n.º 1. 4.

A Comissão deve, mediante acordo dos Estados-Membro em causa, realizar medições regulares do solo em amostras de solo recolhidas no local, com base nos descritores e metodologias pertinentes referidos nos artigos 7.º e 8.º, para apoiar a monitorização dos Estados-Membro.

A Comissão e a AEA devem, com base nos dados existentes e no prazo de dois anos após a entrada em vigor da presente diretiva, criar um portal digital de dados sobre a saúde do solo que forneça acesso, em formato espacial georreferenciado, a pelo menos os dados disponíveis sobre a saúde do solo, dados resultantes de:

- a) As medições do solo referidas no artigo 8.º, n.º 2;
- b) as medições do solo referidas no parágrafo 4 deste Artigo;
- c) os dados e produtos relevantes de sensoriamento remoto do solo referidos no parágrafo 5 deste Artigo. 7.

O portal digital de dados sanitários do solo referido no n.º 6 também pode fornecer acesso a outros dados relacionados com a saúde do solo para além dos dados referidos nesse número, se esses dados forem partilhados ou recolhidos de acordo com os formatos ou métodos estabelecidos pela Comissão nos termos ao parágrafo 8.



A Comissão adota atos de execução para estabelecer formatos ou métodos para partilhar ou recolher os dados referidos no n.º 7 ou para integrar esses dados no portal digital de dados sanitários do solo. Esses atos de execução são adotados pelo procedimento de exame a que se refere o artigo 21.º.

De acordo com a lei para a monitorização dos solos os parâmetros a analisar encontram-se registados na tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros a avaliar de acordo com a lei de monitorização do solo de 5 de junho de 2023.

Aspeto da degradação	Descritor do solo	Critério para condição saudável	Zonas excluídas do critério
Parte A: Descritores com critérios de saúde do solo definidos a nível europeu			
Salinidade	Condutividade elétrica (deci-Siemens por metro)	< 4 dS m ⁻¹ ao usar o método de extrato de pasta de solo saturado (eEC), ou critério equivalente se usar outro método de medição	Áreas de salinas ou diretamente afetadas pelo aumento do nível do mar
Erosão	Taxa de erosão do solo (tonleada por ha por ano)	≤ 2 t ha ⁻¹ y ⁻¹	Áreas de terra natural não geridas.
Perda de Carbono orgânico (SOC)	Concentração de carbono orgânico no solo (g per kg)	Para solos orgânicos: respeitar as metas estabelecidas a nível nacional, de acordo com o Artigo 4.1, 4.2, 9.4 do Regulamento (UE) Para solos minerais: relação SOC/Argila > 1/13; Os Estados-Membro podem aplicar um fator de correção sempre que tipos de solo ou condições climáticas específicas o justifiquem, tendo em conta o teor real de carbono orgânico em prados permanentes.	Solos não geridos em áreas naturais
Compactação do subsolo	Densidade do solo no subsolo (parte superior do horizonte B ou E1); Os Estados-Membros podem substituir este descritor por um parâmetro equivalente (g cm ⁻³)	Para solos com textura Areia, areia argilosa, marga arenosa, marga < 1,8; Arenosa franco-argilosa, franco-argiloso, limo, limoso <1,75; limoso, limoso argiloso argila <1,65; Argila arenosa, argila siltosa, franco argilosa com 35-45% de argila <1,58; Argila <1,47.	Solos não cultivados em áreas naturais
Parte B: descritores de solo com critérios para a condição saudável do solo estabelecidos a nível dos Estados-Membros			
Excesso de nutrientes	Fósforo extraível (mg kg ⁻¹)	< “valor máximo”; O “valor máximo” será fixado pelo Estado-Membro dentro do intervalo 30-50 mg kg ⁻¹ .	Não há exclusão
Contaminação	Concentração de metais: As, Sb, Cd, Co, Cr	Garantia razoável, obtida a partir de amostragem pontual do solo,	Não há exclusão

Aspeto da degradação	Descritor do solo	Critério para condição saudável	Zonas excluídas do critério
	(total), Cr (VI), Cu, Hg, Pb, Ni, Tl, V, Zn ($\mu\text{g kg}^{-1}$) Concentração de uma seleção de contaminantes orgânicos estabelecida pelos Estados Membro e levando em consideração os limites de concentração existentes, por exemplo para a qualidade da água e as emissões atmosféricas na legislação da União.	identificação e investigação de locais contaminados e qualquer outra informação relevante, de que não existe nenhum risco inaceitável para a saúde humana e o meio ambiente decorrente da contaminação do solo. Os habitats com concentrações naturalmente elevadas de metais pesados incluídos no Anexo I da Diretiva 92/43/CEE do Conselho ³ devem permanecer protegidos.	
Redução da capacidade de reter água	Capacidade de retenção de água do solo pela amostra (% do volume de água / volume de solo saturado).	O valor estimado para a capacidade total de retenção de água de um distrito de solo por bacia hidrográfica ou sub-bacia está acima do limite mínimo.	Não há exclusão
Parte C: descritores sem critério			
Excesso de nutrientes no solo	Azoto no solo (mg g^{-1})		
Acidificação	pH		
Compactação da camada superficial	Densidade do horizonte A (g cm^{-3})		
Perda da biodiversidade do solo	Respiração basal do solo ($\text{mm}^3 \text{O}_2 \text{g}^{-1} \text{hr}^{-1}$) em solo seco	Os Estados-Membro podem selecionar outros descritores: metabarcoding de bactérias, fungos, protistas e animais; abundância e diversidade de nematóides; biomassa microbiana; abundância e diversidade de minhocas (na lavoura); espécies exóticas invasoras e pragas de plantas	
Parte D: Indicadores de ocupação e impermeabilização do solo			
Ocupação e impermeabilização do solo	Terra artificial total (km^2 e % da superfície do Estado-Membro) Ocupação do solo, ocupação inversa Ocupação líquida do solo (média por ano— em km^2 e % da superfície do Estado-Membro) Impermeabilização do solo (total de km^2 e % da superfície do Estado-Membro).		



METODOLOGIAS

Parte A: Metodologia para a determinação dos pontos de amostragem.

Atividade	Critério mínimo para a metodologia
Determinação de pontos de amostragem de solo (levantamento de amostra)	O levantamento por amostragem deve ser elaborado a partir de um quadro de amostragem completo contendo as melhores informações disponíveis sobre a distribuição das propriedades do solo, incluindo, entre outros, informações resultantes de medições nacionais anteriores e medições no âmbito do programa LUCAS. O esquema de amostragem deve ser uma amostragem aleatória estratificada otimizada nos descritores de saúde do solo. O tamanho da amostra nacional deve atender ao requisito de erro percentual máximo (ou Coeficiente de Variação) de 5% para a estimativa da área com solos saudáveis. A amostra da Comissão para o inquérito definido ao abrigo do artigo 6.º, n.º 4, pode representar um máximo de 20 % da dimensão das amostras nacionais. A alocação e o tamanho da amostra devem ser determinados pela aplicação do algoritmo de Bethel (Bethel, 1989) ⁵ contabilizando o erro máximo de estimativa necessário.

8

Parte B: Metodologia para determinar ou estimar os valores dos descritores de solo

Quando uma metodologia de referência é definida, ou a metodologia de referência é usada ou outra metodologia, desde que esteja disponível na literatura científica ou disponível publicamente e uma função de transferência validada esteja disponível.

Descritor	Referencia Método	Valor mínimo	Se usar uma metodologi a diferente
Textura	(teor de silte e areia - necessário para a determinação de outros descritores e intervalos relacionados) ISO 11277: 1998 Determinação do tamanho das partículas na parte mineral do solo – crivo e sedimentação. Método alternativo: ISO13320:2009 Particle size analysis – Laser diffraction methods		
Condutividade elétrica	Opção 1 Medida no extrato da pasta saturada (FAO GLOSOLAN-SOP-08, https://www.fao.org/3/cb3355en/cb3355en.pdf); Opção: ISO 11265:1994 determinação da condutividade elétrica específica.		Sim
Taxa de erosão	Deve considerar todas as ações tomadas para mitigar ou compensar o risco de erosão, incluindo medidas de mitigação pós-fogo. Deve incluir todos os processos de erosão relevantes (erosão por água, vento, colheita e cultivo.	avaliada considerando características do solo (erodibilidade, formação de crostas, rugosidade), clima (erosividade das chuvas – intensidade e duração, considerando	



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 952051

		projeções de mudanças climáticas, topografia (declive inclinação e comprimento), cobertura vegetal, tipo de cultivo, uso da terra, - práticas de gestão (culturas de cobertura, lavoura reduzida, manta morta, etc.), - áreas queimadas. A erosão eólica deve considerar: - características do solo (erodibilidade), clima (humidade do solo, velocidade do vento, evaporação), - vegetação, - práticas de gestão (quebra-ventos).
Carbono orgânico (SOC)	ISO 10694:1995 Determinação do carbono orgânico total depois de combustão seca	Sim
Densidade aparente no subsolo (horizonte B8) ou parâmetro equivalente 9 escolhido pelos Estados-Membros	SO 11272:2017 para determinação da densidade aparente seca. Caso seja escolhido um parâmetro equivalente, a metodologia deve ser uma norma europeia ou internacional, quando disponível; se tal padrão não estiver disponível, a metodologia escolhida deve estar disponível na literatura científica.	Sim
Fósforo extraível	ISO 11263:1994 para determinação espectrométrica de carbonato de fósforo e sódio Olsen) solúvel em solução de hidrogênio (P- Olsen)	Sim
- Concentração de metais pesados no solo:	As, Sb, Cd, Co, Cr (total), Cr (VI), Cu, Hg, Pb, Ni, Tl, V, Zn - Concentração de uma seleção de contaminantes orgânicos definidos pelos Estados-Membros e tendo em conta a legislação da UE em vigor (por exemplo, sobre a qualidade da água ou pesticidas) Teor ambiental disponível potencial de metais pesados em solos com base na ISO 17586:2016 usando ácido nítrico diluído.	Usar padrões europeus ou internacionais quando disponíveis; se tal padrão não estiver disponível, a metodologia escolhida deve estar disponível na literatura científica ou disponível publicamente
Capacidade de retenção de água no solo	LABORATÓRIO: ISO 11274:2019 determinação da característica de retenção de água. ESTIMATIVA: aplicar a metodologia descrita em “New generation of hydraulicarbono pedotransfer functions for Europe” (https://doi.org/10.1111/ejss.12192) com base na textura (ou distribuição granulométrica) e no carbono orgânico do solo.	Considerar definir a capacidade de retenção de água das áreas impermeáveis a zero, atribuindo valores proporcionalmente intermediários às áreas semi-impermeáveis e outras artificiais.



Azoto	ISO 11261:1995 para determinação de nitrogênio total do solo usando um método Kjeldahl modificado		Sim
Acidez	ISO 10390:2005 para determinação de pH em H ₂ O e extrato de CaCl ₂ (pH-H ₂ O e pH-CaCl ₂)		Sim
Densidade aparente	no “solo superficial” (A-horizonte como definido pela FAO Guidelines for Soil Description, Chapter 5 (https://www.fao.org/3/a0541e/a0541e.pdf)) ISO 11272:2017 para determinação da densidade aparente seca		Sim
Respiração basal do solo	Siga as indicações descritas no artigo científico “Biomassa microbiana e atividades no solo afetadas pelo armazenamento congelamento e refrigeração” (https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071797001259) Outros descritores Metabarcoding (Sequencing of DNA barcodes for measuring taxonomical and functional diversity of archaea, bacteria, fungi and other eukaryotes as was done for LUCAS Soil Biodiversity based on https://doi.org/10.1111/ejss.13299) de bactérias, fungos, protistas e animais; Abundância e diversidade de nematóides; - Biomassa microbiana; - Abundância e diversidade de minhocas (na lavoura) Use padrões europeus ou internacionais quando disponíveis; se tal padrão não estiver disponível, a metodologia escolhida deve estar disponível na literatura científica ou disponível publicamente.	Use padrões europeus ou internacionais; a metodologia escolhida deve estar disponível na literatura científica ou disponível publicamente.	Sim Para outros descritores de biodiversidade do solo: N/A

Referências

Doran, J.W., and T.B. Parkin. 1994. Defining and assessing soil quality. *In* Doran et al. (eds.) *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*, pp. 3-22. SSSA/ASA, Madison, WI.

Culman S.W., and others. 2011. Permanganate oxidizable carbon reflects a processed soil fraction that is sensitive to management. *Soil Science Society of America Journal* 76:494-504.

Larson, W.E., and F.J. Pierce. 1994. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. *In* Doran et al. (eds.) *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*, pp. 37-52. SSSA Special Publication 35:37-52.

Lucas, S.T., and R.R. Weil. 2012. Can a labile carbon test be used to predict crop responses to improve soil organic carbon matter management? *Agronomy Journal* 104:1160-1170.

Oliver, D.P., R.G.V. Bramley, D. Riches, I. Porter, and J. Edwards. 2013. Soil physical and chemical properties as indicators of soil quality in Australian viticulture. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 19:129-139.

Pankhurst, CARBONO E., B.M. Doube, and V.V.S.R. Gupta. 1997. Biological indicators of soil health: Synthesis. *In* C.E. Pankhurst, B.M. Doube, and V.V.S.R. Gupta (eds.) *Biological Indicators of Soil Health*.

Smith, J.L., and J.W. Doran. 1996. Measurement and use of pH and electrical conductivity for soil quality analysis. *In* *Methods for Assessing Soil Quality*. Soil Science Society of America Special Publication 49:169-185.



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 952051

