



SCIENTIFIC PANEL
ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

Issue Brief 06 – fevereiro de 2024

Fertilizantes e saúde do solo para aumentar a produtividade e a sustentabilidade na África Subsaariana

des Scientific Panel on Responsible Plant Nutrition



SCIENTIFIC PANEL
ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

Conteúdo

- 3 Pontos principais
- 5 O que é saúde do solo?
- 9 Quais são os problemas?
- 20 Soluções e ações necessárias
- 23 Quem precisa fazer o quê?
- 25 Como seria o sucesso?
- 27 Referências
- 29 Autores, citação e contato



SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

Pontos principais

1. Indicadores e metas de saúde do solo: A saúde do solo é comumente definida em relação à obtenção de rendimentos suficientes das culturas, à manutenção da capacidade produtiva futura dos solos e aos serviços de ecossistema que os solos oferecem. A matéria orgânica do solo é um indicador importante da saúde do solo, juntamente com o P e o K disponíveis, a acidez do solo e a agregação estável à água. Ainda não há consenso quanto a indicadores biológicos significativos e facilmente mensuráveis.

2. Fertilizantes e a saúde do solo: A gestão da saúde do solo na África Subsaariana é complexa:

- Para aumentar a produtividade agrícola, tanto os fertilizantes quanto os produtos de origem biológica são essenciais. Juntamente com práticas agronómicas sólidas, variedades de sementes superiores, corretivos de solo e outras medidas, isso constitui a base da Gestão Integrada da Fertilidade do Solo.
- Em solos mais saudáveis, a eficiência dos fertilizantes e da água tende a ser maior. Portanto, o aumento da qualidade do solo contribui diretamente para um melhor desempenho agrícola.
- O aumento da absorção de nutrientes vegetais, por meio de fertilizantes, é indispensável para a agricultura sustentável, que busca aumentar a produção de alimentos e restaurar a saúde do solo. Dependendo exclusivamente de produtos orgânicos geralmente resulta no esgotamento e na degradação dos nutrientes do solo.

- O desenvolvimento da saúde do solo e a reabilitação de solos degradados são processos de longo prazo, em contraste com o esgotamento rápido da matéria orgânica e dos nutrientes do solo causado por práticas como a desflorestação ou a remoção excessiva de nutrientes.

3. As mudanças climáticas exigem escolhas, pois afetam a relação entre fertilizantes e a saúde do solo. O apoio que aborde riscos específicos decorrentes das mudanças climáticas será essencial para que os agricultores se envolvam em práticas sustentáveis de gestão de fertilizantes e de saúde do solo. É provável que esses investimentos tenham alto retorno.

4. Capacitação dos agricultores: Os incentivos ao envolvimento de pequenos agricultores em práticas de restauração da saúde do solo incluem custos iniciais elevados, tempo necessário para obter benefícios visíveis e acesso a produtos de baixo custo. Os subsídios aos fertilizantes precisam ser reformulados com base nos resultados da saúde do solo. A saúde do solo é um bem público, o que justifica um investimento público maior.

5. Os investimentos em saúde do solo exigem ações localizadas: a gestão da saúde do solo deve sempre ser contextualizada. As soluções específicas para melhorar a saúde do solo dependem das características do solo, do ambiente, do sistema agrícola, das culturas cultivadas e das capacidades socioeconómicas.

ESTRUTURA DE SAÚDE DO SOLO

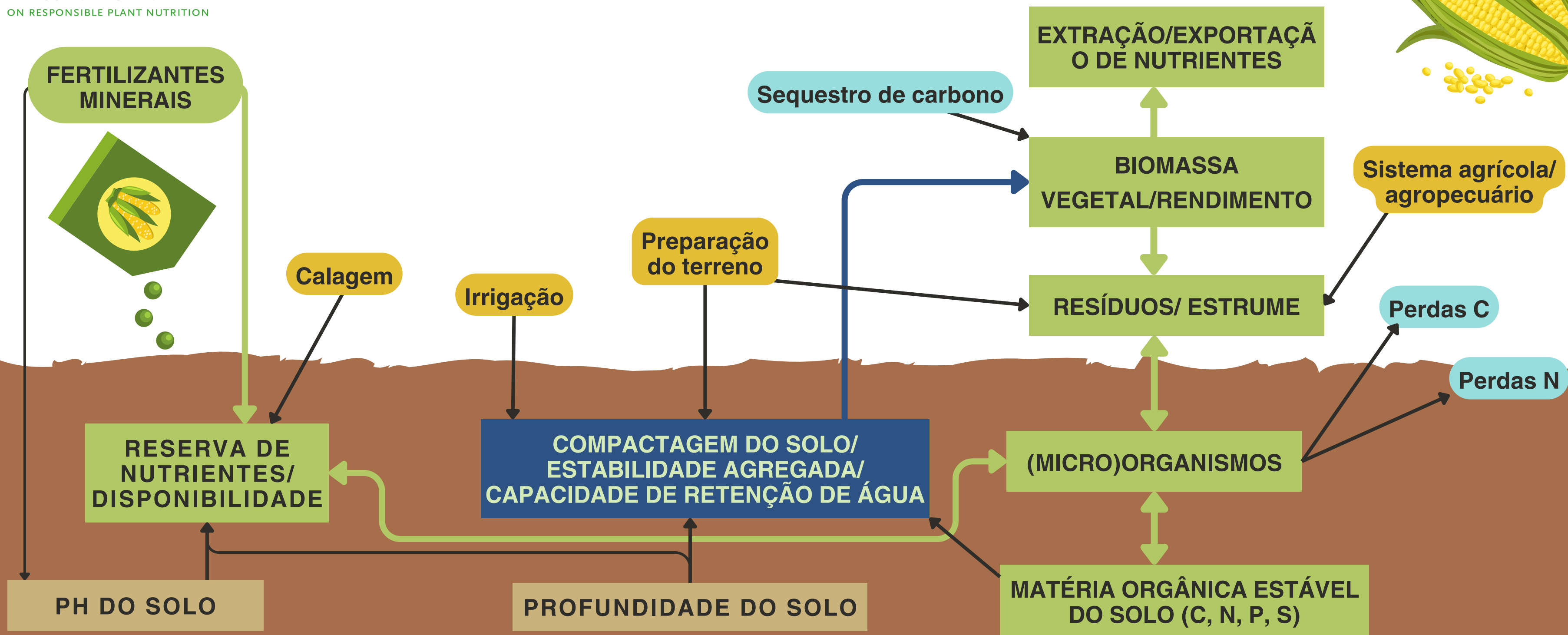


Figura 1. Modelo adaptado da estrutura de saúde do solo de (3). As setas representam os processos que ligam os componentes do sistema e as estratégias de gestão. A linha azul refere-se à disponibilidade de água e as linhas verdes indicam os impactos diretos dos fertilizantes minerais na biomassa/rendimento e no SOC.



SCIENTIFIC PANEL
ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

O que é a saúde do solo?

Em termos gerais, a saúde do solo refere-se à condição e à qualidade do solo, incluindo suas características físicas, químicas e biológicas, que definem a capacidade de um solo de funcionar como um ecossistema vivo, vital que sustenta plantas, animais e seres humanos (19).



SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

Um solo saudável tem boa capacidade de retenção de água, drenagem e resistência à erosão, além de pH equilibrado e níveis adequados de nutrientes para as plantas e de matéria orgânica. Além disso, o solo saudável sustenta uma comunidade diversificada de organismos do solo, como bactérias, fungos e fauna, que desempenham papéis importantes na reciclagem de nutrientes e na manutenção ou na construção da estrutura do solo. Com base nessas propriedades, a saúde do solo influencia diretamente a produtividade, a resiliência e a sustentabilidade dos ecossistemas agrícolas e naturais.

A medição da saúde do solo envolve a avaliação de uma série de propriedades físicas, químicas e biológicas que contribuem para a fertilidade, a produtividade e a sustentabilidade do solo. Indicadores específicos descrevem a saúde do solo, dependendo do contexto e das metas de gestão do sistema em questão:

- **Indicadores físicos:** incluem a textura, a estrutura, a porosidade, a capacidade de retenção de água e a taxa de infiltração. Os indicadores físicos podem ser medidos com o uso de núcleos ou poços de solo, ou de instrumentos como penetrômetros, tensiómetros e sensores de umidade do solo.
- **Indicadores químicos:** incluem o pH, os níveis de nutrientes (por exemplo, azoto, fósforo, potássio e micronutrientes), o teor de matéria orgânica (Quadro 1) e a capacidade de troca catiónica. Para medir os indicadores químicos, as amostras de solo são analisadas num laboratório ou o nível de nutrientes da cultura é usado como indicador da capacidade de fornecimento de nutrientes do solo.
- **Indicadores biológicos:** incluem a presença e a diversidade de organismos do solo, como bactérias, fungos, vermes e nemátodes. Os indicadores biológicos podem ser medidos através de técnicas como ensaios enzimáticos do solo, medições de biomassa microbiana e análise de DNA. No entanto, a sua interpretação quanto às funções específicas de importância agronómica para o solo ainda constitui um desafio.

Quadro 1: Matéria orgânica do solo (Soil organic matter)

Neste documento, referimo-nos ao carbono orgânico do solo (SOC), observando que a matéria orgânica do solo (SOM) é constituída de compostos orgânicos que contêm C, N e outros elementos. Nesse sentido, o SOC é um indicador mensurável do SOM. Como o documento atual se refere à SOM como uma propriedade que inclui várias funções e ao SOC como um elemento que pode ser gerido por práticas de gestão do solo, decidimos referir-nos apenas ao SOC no texto, observando que a quantidade de SOC e SOM está fortemente correlacionada na maioria das circunstâncias.

Combinados, estes indicadores dão uma boa ideia do estado de saúde do solo. Há várias ferramentas e protocolos disponíveis para quantificar a saúde do solo, incluindo a Comprehensive Assessment of Soil Health (20), a estrutura de avaliação da gestão do solo (21), diretrizes regionais para a Europa (22) ou programas nacionais simplificados, como o programa Soil Health Card na Índia. De modo geral, a validação dessas ferramentas na ASS tem sido limitada.



SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

O uso de indicadores e limites específicos para quantificar a saúde do solo depende das funções que o solo deve suportar (23). Do ponto de vista agrônomo, os solos saudáveis aumentam a produtividade das culturas ao libertar nutrientes, apoiar a retenção de água, facilitar o crescimento das raízes e proteger as culturas contra pragas e doenças (24). O teor de carbono orgânico no solo é de importância transversal para o seu estado de saúde, pois a matéria orgânica afeta favoravelmente todas essas propriedades.

A disponibilidade oportuna e suficiente de nutrientes para as plantas é particularmente importante, pois a maioria deles afeta o desempenho das culturas e a saúde do solo. Por exemplo, dependendo do tipo de solo, processos complexos imobilizam o P e, portanto, podem reduzir a sua disponibilidade. Na ASS, o K trocável é frequentemente muito baixo, o que dificulta a obtenção de bons rendimentos de raízes e tubérculos. A acidez do solo é outro indicador importante; o crescimento da cultura é geralmente limitado em valores de pH abaixo de 5 e acima de 8. Os indicadores físicos da saúde do solo geralmente estão relacionados à facilidade de crescimento das raízes na parte superior e no subsolo, bem como à regulação da infiltração e do armazenamento de água. Embora seja importante quantificar ou avaliar seu impacto na saúde do solo, as medições microbianas atuais não são fáceis de interpretar e podem não fornecer necessariamente inferências confiáveis sobre o estado de saúde do solo (25). Posto isso, houve progressos, por exemplo no Brasil, onde a análise do solo (SoilBio) tem vindo a ser cada vez mais utilizada pelos agricultores (Quadro 2).

Quadro 2: A experiência brasileira com indicadores de saúde do solo

A economia Brasileira é fortemente baseada na agricultura, portanto, a reposição da fertilidade do solo e a manutenção da sua qualidade/saúde são metas prioritárias. Durante décadas, parâmetros químicos e físicos, incluindo o carbono orgânico do solo (SOC), foram avaliados em busca de indicadores de qualidade e saúde confiáveis e viáveis para análise em larga escala. No final da década de 1990, parâmetros microbianos, de biomassa de C e N e um quociente metabólico foram sugeridos como indicadores interessantes, mais eficazes e capazes de detectar mudanças mais cedo do que quaisquer parâmetros químicos ou físicos (26). Em um estudo de longo prazo na região do Cerrado, uma região de savana com muitas semelhanças com a ASS, os indicadores microbianos foram interpretados como uma função dos rendimentos cumulativos relativos de milho e soja e SOC, e os níveis críticos foram definidos com base em critérios semelhantes aos usados nos testes de calibração de nutrientes do solo (27). Estudos posteriores descobriram que apenas duas enzimas, a arilsulfatase e a β -glucosidase, estavam associadas aos ciclos de carbono e enxofre, respectivamente (28). Essas duas enzimas do solo, além das análises químicas de rotina, foram integradas numa tecnologia de análise do solo em 2020 (29), que tem sido usada exponencialmente pelos agricultores para avaliar a saúde do solo. Resultados consistentes obtidos ao longo de duas décadas de estudo no Brasil mostram que pode levar anos até que as alterações no SOC sejam detectadas, enquanto as mais rápidas podem ser detectadas nas atividades enzimáticas microbianas.



Além da necessidade de indicadores específicos para avaliar a saúde do solo, três outros aspectos devem ser considerados: (i) a heterogeneidade espacial de algumas propriedades do solo e a necessidade de integrar esse aspecto aos protocolos que visam medir a mudança em indicadores específicos; (ii) a taxa de mudança de alguns indicadores, que pode ser relativamente rápida (por exemplo, mudanças no P disponível afetada pela aplicação de fertilizantes P) ou lenta, especialmente quando são medidas num contexto relativamente grande (por exemplo, alterações no SOC); e (iii) o custo da medição de indicadores em grandes áreas de terreno, reconhecendo que os métodos espectrais remotos e proximais do solo reduziram consideravelmente o custo, mantendo a precisão, por exemplo, na avaliação do SOC e do N total (30). Como alternativa, em vez de medir diretamente os indicadores de saúde do solo, pode-se avaliar a mudança nas práticas de gestão de culturas e do solo, em relação às mudanças esperadas no status dos principais indicadores, por meio de modelação empírica ou mecanística.

A produtividade das culturas depende diretamente dos principais indicadores de saúde do solo, como SOC, P disponível, K trocável, pH do solo e agregação estável à água. Neste resumo, centramo-nos no SOC, pois é um indicador central da saúde do solo e de difícil gestão, enquanto existem soluções para lidar com baixos níveis de P disponível, K, S, micronutrientes e solos ácidos.



SCIENTIFIC PANEL
ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

Quais são os problemas?

1. O uso de fertilizantes e a produtividade das culturas aumentam, mas o progresso é diverso e lento quando analisamos a África Subsaariana

A produção agrícola na África Subsaariana (ASS) precisa aumentar com urgência para garantir a segurança alimentar e nutricional da população em crescimento (1). Se a intensificação não for bem-sucedida e a expansão maciça dos terrenos cultivados for evitada, a África Subsaariana tornar-se-á ainda mais dependente das importações de cereais e de outros produtos básicos. Em 2004, o então secretário-geral da ONU, Kofi Annan, pediu que uma Revolução Verde exclusivamente africana tomasse raízes na rica diversidade do continente. Em 2006, a União Africana, por meio da Declaração de Abuja sobre Fertilizantes para uma Revolução Verde Africana, reconheceu a necessidade fundamental de ampliar o acesso aos fertilizantes para promover essa Revolução Verde Africana, dada a armadilha da pobreza decorrente da baixa e declinante fertilidade do solo. No entanto, o progresso tem sido lento (2, 3) e o problema persiste, muitas vezes resultando num declínio da produção per capita em muitos países da África Subsaariana. Embora o uso médio de nutrientes de fertilizantes na ASS tenha sido de apenas 15 kg de $N+P_2O_5+K_2O$ /ha em 2022 (excluindo a África do Sul), vários países aproximaram-se, ou de fato atingiram, a meta de Abuja de 50 kg/ha. No entanto, é preocupante o fato de o consumo médio de fertilizantes na ASS ter estagnado desde 2019.



SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

Na Ásia, a produção agrícola aumentou rapidamente e foi impulsionada principalmente pelo aumento da produtividade. O rendimento médio dos cereais triplicou nos últimos 60 anos, enquanto a área de cereais aumentou em apenas cerca de 20%. Em África, por outro lado, o aumento da produtividade das culturas foi lento, enquanto a área cultivada mais do que duplicou durante o mesmo período (Figura 2, à esquerda). Apesar dos números decepcionantes em todo o continente, nos últimos anos, alguns países africanos começaram a mover-se numa trajetória semelhante à da Ásia. Na Etiópia, por exemplo, a produtividade do milho quase duplicou nos últimos 20 anos, principalmente em terrenos já existentes (Figura 2, à direita). O aumento da utilização de fertilizantes, variedades melhoradas e outras medidas impulsionaram essa mudança.

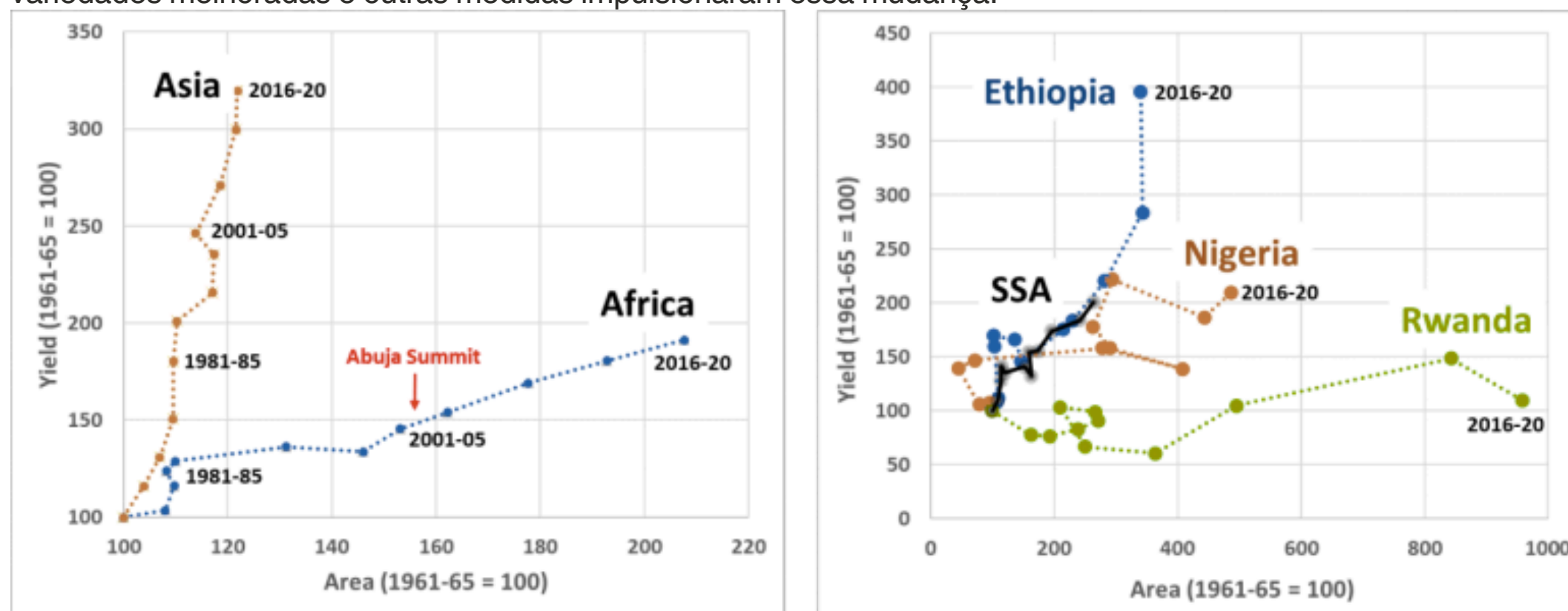


Figura 2. Mudanças relativas ao rendimento de grãos de cereais e área de produção na Ásia e em África (esquerda) e rendimento e área de milho na África Subsaariana (ASS), Etiópia, Nigéria e Ruanda (direita), de 1961-2020. Os dados representam médias de 5 anos, com a média de 1961-1965 definida como 100. Fonte: [FAOSTAT](#).

A manutenção da saúde do solo é uma questão globalmente relevante, mas a situação na África Subsaariana é única porque grandes áreas de agricultura familiar continuam a sofrer com a extração de nutrientes minerais, diminuindo a capacidade produtiva de grandes áreas de solos agrícolas. A África Subsaariana continua a ser a única região com saldos negativos de nutrientes que continuam a aumentar com o tempo, por exemplo, para P ou K (Figura 3). Os balanços reais de nutrientes são ainda mais negativos porque as perdas devido à remoção de resíduos de culturas, lixiviação, escoamento ou erosão não estão incluídas na Figura 3. Deve-se observar, no entanto, que existem diferenças significativas entre as regiões e os países africanos, sendo que a África Ocidental e Central geralmente têm os piores indicadores (Figura 3).

Atualmente, é amplamente aceite que a produção de culturas em detrimento da saúde do solo, é uma armadilha insustentável para a pobreza. O aumento da produtividade das culturas para atender às necessidades atuais e futuras de alimentos e melhorar a saúde do solo na África subsaariana só será bem-sucedido com o uso maior e mais eficiente dos fertilizantes (4). Uma segunda reunião Africana sobre Fertilizantes e Saúde do Solo está programada para ocorrer em 2024 para elaborar novos planos de ação.



SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

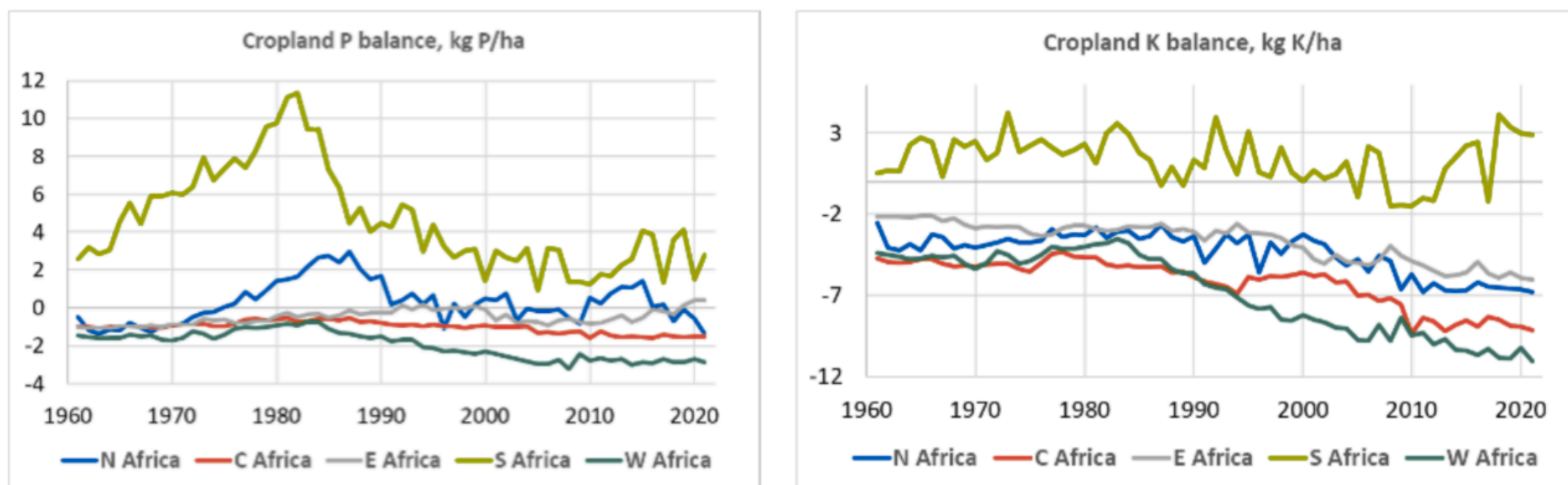


Figura 3. Balanços de entrada e saída de fósforo (esquerda) e potássio (direita) em terras agrícolas para diferentes sub-regiões de África, 1961-2021. Fonte: Base de dados da FAO sobre o equilíbrio de nutrientes em terras agrícolas (5).

2. Do foco no aumento da produtividade das culturas ao reconhecimento da saúde do solo como um pré-requisito para a sustentabilidade

Nas décadas de 1980 e 1990, na ASS, uma atenção cada vez maior foi direcionada às necessidades das explorações agrícolas de pequena escala. O trabalho sobre a mineração de nutrientes revelou déficits generalizados de nutrientes no solo, destacando o papel fundamental da fertilidade do solo (6, 7). Para atender às necessidades das pequenas explorações agrícolas e aos solos de baixa fertilidade, foi articulado um paradigma de gestão do solo (8) que destacava a necessidade de "confiar mais nos processos biológicos para otimizar o ciclo de nutrientes, minimizar os produtos externos e maximizar a eficiência da sua utilização". O foco inicial foi a adoção de

variedades de culturas adaptadas às condições adversas do solo, como a acidez do solo e a baixa disponibilidade de nutrientes, e o aumento da disponibilidade de produtos orgânicos para complementar o fertilizante, com grande ênfase em pousios melhorados (leguminosas) ou culturas intercaladas. A matéria orgânica do solo e o uso combinado de fertilizantes minerais e produtos orgânicos foram enfatizados como meios de aumentar a eficiência do uso de nutrientes. Ao mesmo tempo, a chamada “agricultura sustentável de baixo uso de produtos externos (LEISA)” recebeu muita atenção (9), embora tenha ficado claro que os baixos rendimentos obtidos sem adição de nutrientes não poderiam resolver os problemas críticos de pobreza e segurança alimentar. Devido a essas preocupações, o foco passou a ser a reposição da fertilidade do solo (10).

O paradigma da Gestão Integrada da Fertilidade do Solo (ISFM) (11) surgiu nos anos 2000, com base em décadas de investigação sobre o solo e as culturas em África. Em contraste com os paradigmas anteriores, o ISFM reconhece a necessidade crítica de usar todos os recursos de nutrientes orgânicos e minerais de forma eficiente e concentra-se no uso de fertilizantes como pontos de entrada para intensificar a produção dos pequenos agricultores. Este segue uma



SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

abordagem gradual para reabilitar, melhorar e reconstruir os solos. Primeiro, fertilizantes e variedades de culturas melhoradas são adotados para aumentar a produtividade e reconstruir a base de fertilidade do solo. A próxima etapa é incorporar produtos orgânicos para reconstruir o reservatório de matéria orgânica, que é fundamental para a saúde do solo e parte integrante de várias funções que este fornece. Por exemplo, a inoculação de leguminosas com bactérias fixadoras de N (rizóbios) pode ser utilizada para melhorar o rendimento das leguminosas e, portanto, a disponibilidade in situ de produtos orgânicos na forma de resíduos (12). Há espaço para a utilização de vários bioestimulantes para aumentar o rendimento e os resíduos das culturas (13), embora seja necessário ter cuidado, pois muitos bioestimulantes disponíveis atualmente na ASS são ineficazes (14). Outras práticas, como a aplicação de cal, recolha de água ou lavoura profunda, também podem ser utilizadas para lidar com as restrições locais.

Nas últimas duas décadas, também foram feitos grandes investimentos para promover a agricultura de conservação, em grande parte motivados por preocupações com a erosão e a perda de solo. No entanto, os pequenos agricultores enfrentam vários desafios para implementar os três pilares da agricultura de conservação comumente recomendados (15): (i) minimizar a perturbação do solo por meio da lavoura; (ii) manter uma cobertura contínua do solo; e (iii) diversificar as culturas. Para garantir uma produção agrícola suficiente, foi proposto um quarto princípio para a agricultura de conservação: o uso adequado de fertilizantes minerais (16).

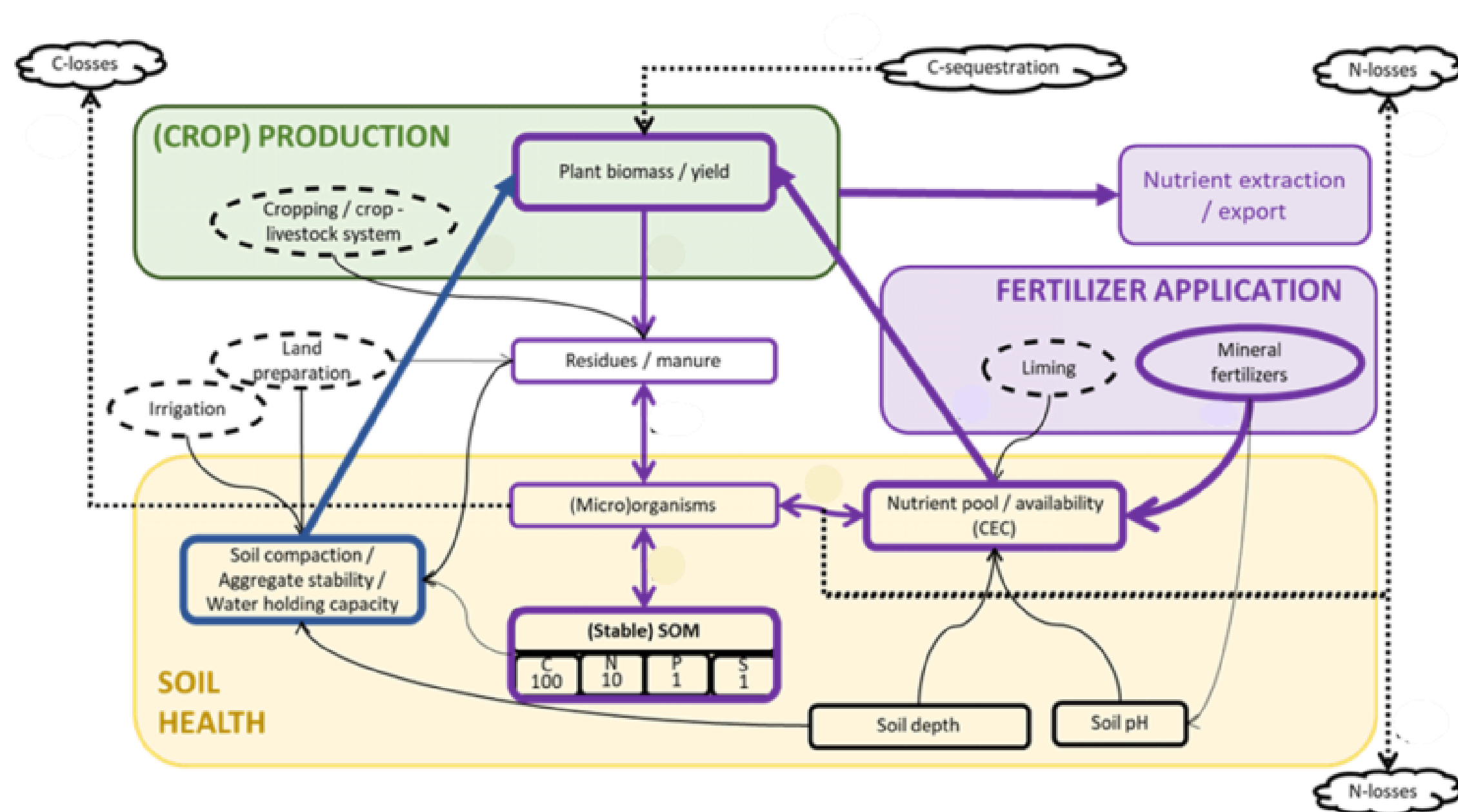
Mais recentemente, a "agroecologia" e a "agricultura regenerativa" têm recebido cada vez mais atenção, pois consideram igualmente importantes outros serviços ecossistêmicos além da produtividade. A saúde do solo é vista como um indicador fundamental para a prestação desses outros serviços. A agricultura regenerativa favorece práticas que (i) incentivam a infiltração de água e evitam a erosão do solo; (ii) criam carbono orgânico do solo (SOC) e melhoram o ciclo biológico de nutrientes; (iii) promovem a diversidade de plantas; (iv) integram a pecuária; e (v) reduzem a dependência de produtos externos (17). No entanto, a aplicação dessas ideias às situações agrícolas típicas encontradas na ASS enfrenta grandes deficiências (18), pois os nutrientes precisam de ser primeiro disponibilizados para que muitos outros objetivos sejam alcançados.

Em resumo, a Revolução Verde permitiu que o aumento da produção de alimentos excedesse o crescimento da população global nas últimas décadas, exceto na ASS. Como região, a ASS passou por muitas décadas em que foram promovidos conceitos e práticas agrícolas que não beneficiaram a saúde do solo nem os agricultores e consumidores de alimentos. Agora é urgente corrigir isso e focar nos aspectos que devem vir em primeiro lugar para intensificar a agricultura de forma sustentável, reconhecendo também a crescente conscientização dos desafios ambientais e sociais associados aos sistemas alimentares (4). A gestão de nutrientes para a saúde do solo, das culturas e dos seres humanos é a maior prioridade para a ASS.



SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION



3. Fertilizantes e saúde do solo - amigos ou inimigos?

A aplicação de fertilizantes e a saúde do solo estão interligadas (Figura 4). A biomassa das culturas como ração para animais e alimento para humanos (caixa superior esquerda na Figura 4) é produzida quando há disponibilidade suficiente de luz, água e nutrientes.

Grandes quantidades de nutrientes vegetais são removidas dos campos dos agricultores com a exportação e o consumo da colheita. Solos saudáveis (caixa inferior na Figura 4) compreendem propriedades físicas, químicas e biológicas favoráveis com vários processos de interação. A matéria orgânica do solo consiste em resíduos vegetais, animais e microbianos em vários estágios de decomposição como fontes de energia e nutrientes para (micro)organismos. Os fertilizantes (caixa superior direita na Figura 4) estimulam o crescimento por meio da injeção contínua de nutrientes reativos, extraídos de formas inertes de nutrientes da atmosfera e da litosfera, na biosfera.

Figura 4. Estrutura de saúde do solo usada neste artigo (3). Os retângulos são componentes do sistema. As formas ovais apresentam intervenções de gestão. As emissões e o sequestro são apresentados como nuvens. As setas apresentam processos que conectam os componentes. A linha azul está relacionada à disponibilidade de água e as linhas roxas indicam os impactos diretos dos fertilizantes minerais na biomassa/rendimento e no SOC. As linhas tracejadas referem-se a perdas atmosféricas de C ou N ou N lixiviado além da zona da raiz da cultura.



SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

A aplicação de fertilizantes afeta a disponibilidade de água. Por exemplo, em áreas comumente afetadas por secas, como a zona do Sahel, o crescimento das culturas geralmente é mais limitado pela falta de nutrientes do que pela falta de água (31). As medidas de conservação da água e as práticas de preparação da terra, como a lavoura e o plantio direto, afetam a compactação do solo e a estabilidade dos agregados e, portanto, a capacidade do solo de reter água. Especialmente as cristas, colinas e outras estruturas aumentam o volume de solo que pode ser penetrado pelas raízes.

O pool de nutrientes e a sua dinâmica variam para diferentes nutrientes e podem ser afetados por práticas agronômicas e processos edáficos. Por exemplo, os resíduos da colheita e o estrume podem ser deixados na superfície da terra ou incorporados, servindo como substratos para (micro)organismos e, assim, aumentando o pool de carbono do solo (32). As plantas obtêm os seus nutrientes do conjunto de nutrientes disponíveis, influenciados pela capacidade de troca catiônica (CEC) dos solos. Os minerais argilosos determinam principalmente a CEC, sendo que os solos argilosos têm maior capacidade de reter nutrientes do que os solos arenosos. Em solos com baixa CEC, o SOC é um importante fornecedor de CEC. Além disso, a acidez do solo, o conteúdo de água para dissolução e difusão de nutrientes e a aplicação de fertilizantes minerais e orgânicos afetam o tamanho e a disponibilidade do pool de nutrientes. Os fertilizantes azotados podem induzir a acidez do solo, com base no seu teor de amônia.

O uso de fertilizantes é essencial para aumentar a produtividade das culturas e as quantidades de resíduos orgânicos, aumentando assim o SOC e sequestrando N, P e S. Como visto na Figura 5,

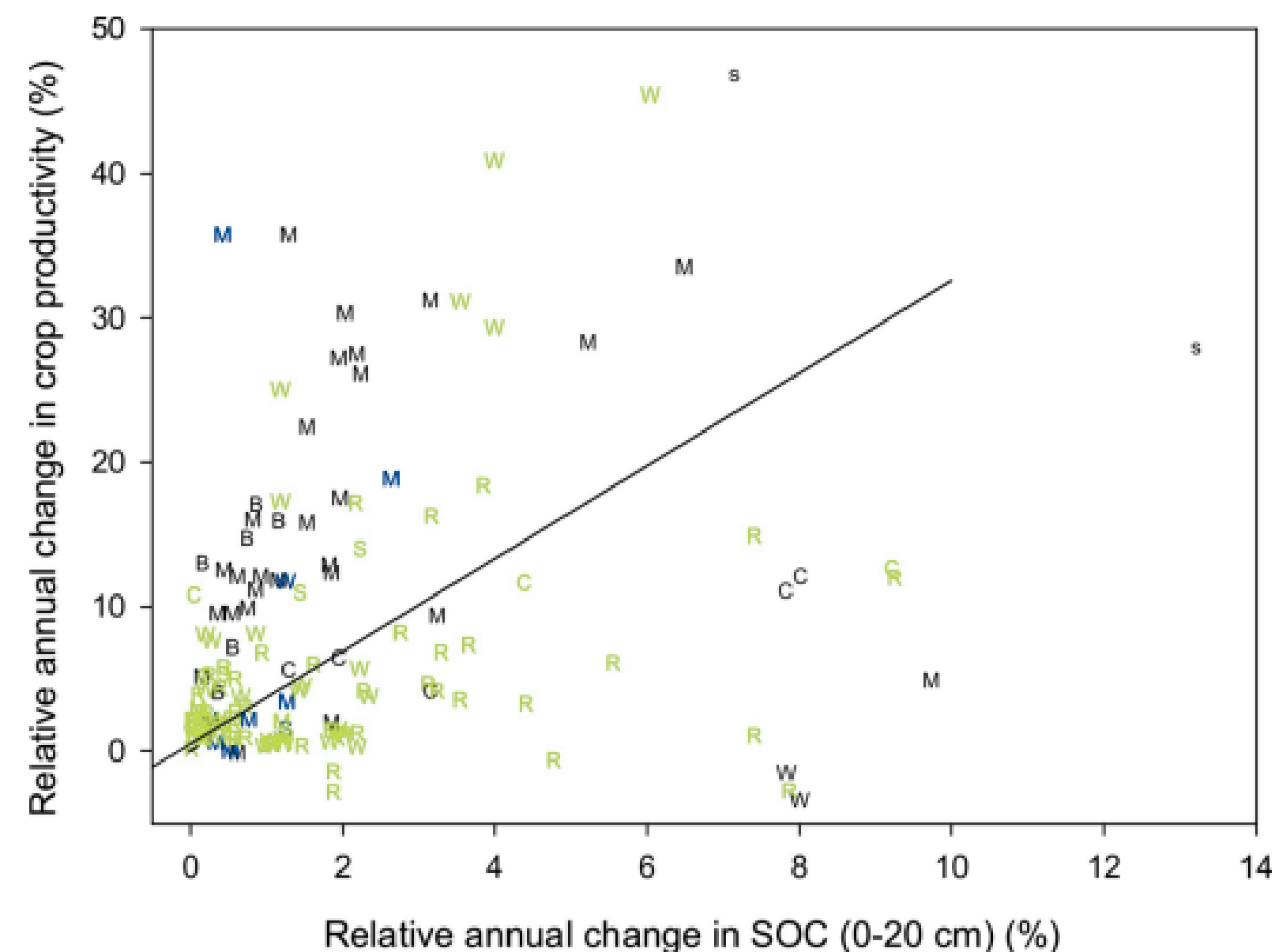
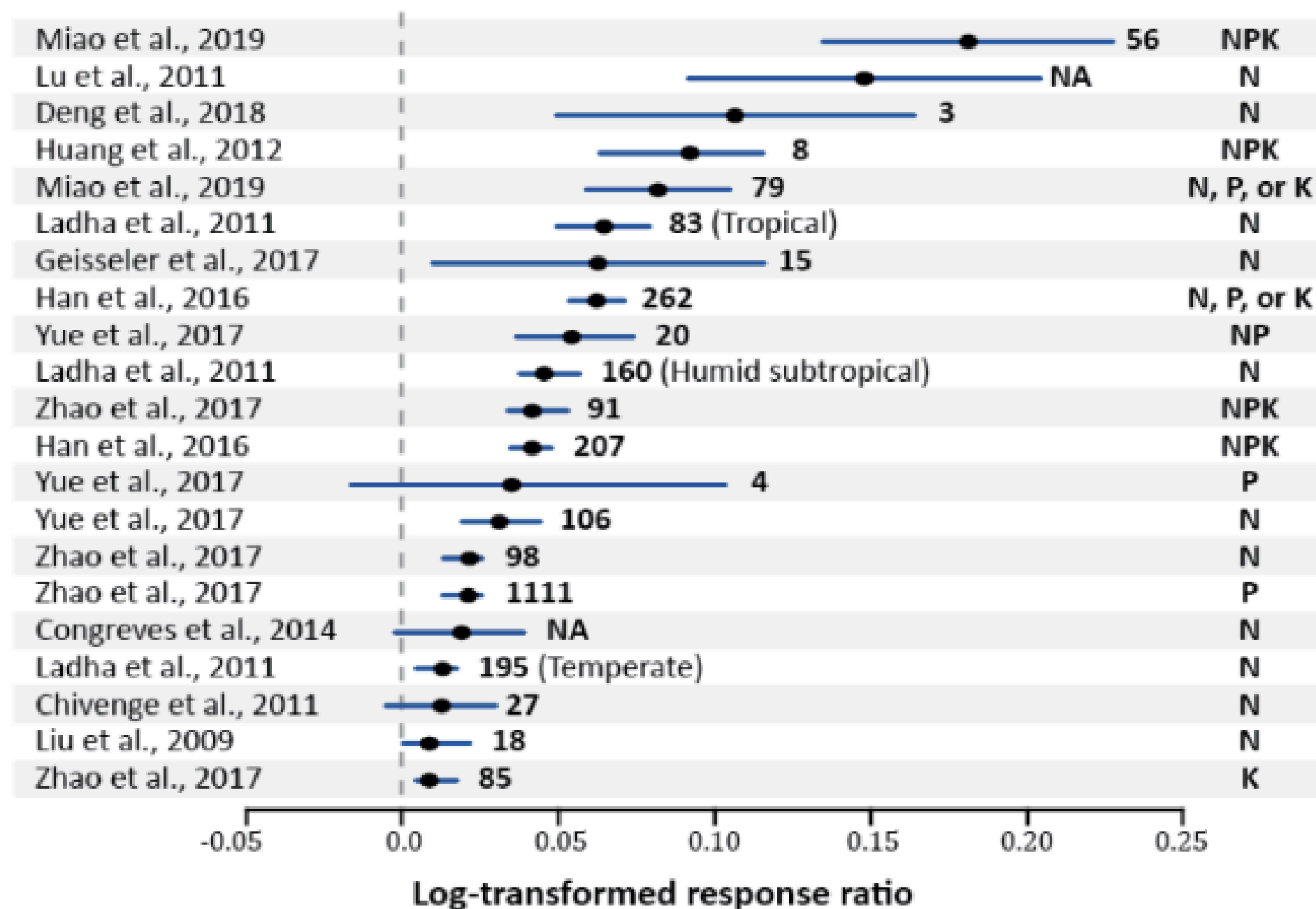


Figura 5. Mudanças anuais relativas na produtividade das culturas e nas reservas de carbono orgânico do solo (acima de 0-20 cm) (%) após mudanças nas práticas de gestão da terra (33). Espécies de culturas (símbolos): B, feijão; C, mandioca; M, milho; P, batata-doce; R, arroz; S, soja; s, sorgo; W, trigo. Regiões: África (preto); Ásia (verde); e América Latina (azul). A linha sólida é a regressão padrão do eixo principal para todos os pontos de dados. ($y=0.495+3.21x$; $r=0.205$, $P<0.012$).



SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION



em média, um aumento anual de 1,3% na produtividade de grãos das culturas foi associado a um aumento anual de 0,4% nas reservas de SOC em África, na Ásia e na América Latina. A grande dispersão indica que muitos outros fatores, além do aumento da produção agrícola, afetam as mudanças no SOC. Portanto, são necessárias práticas adicionais para garantir que o aumento da produtividade das culturas e da produção de biomassa melhore a saúde do solo.

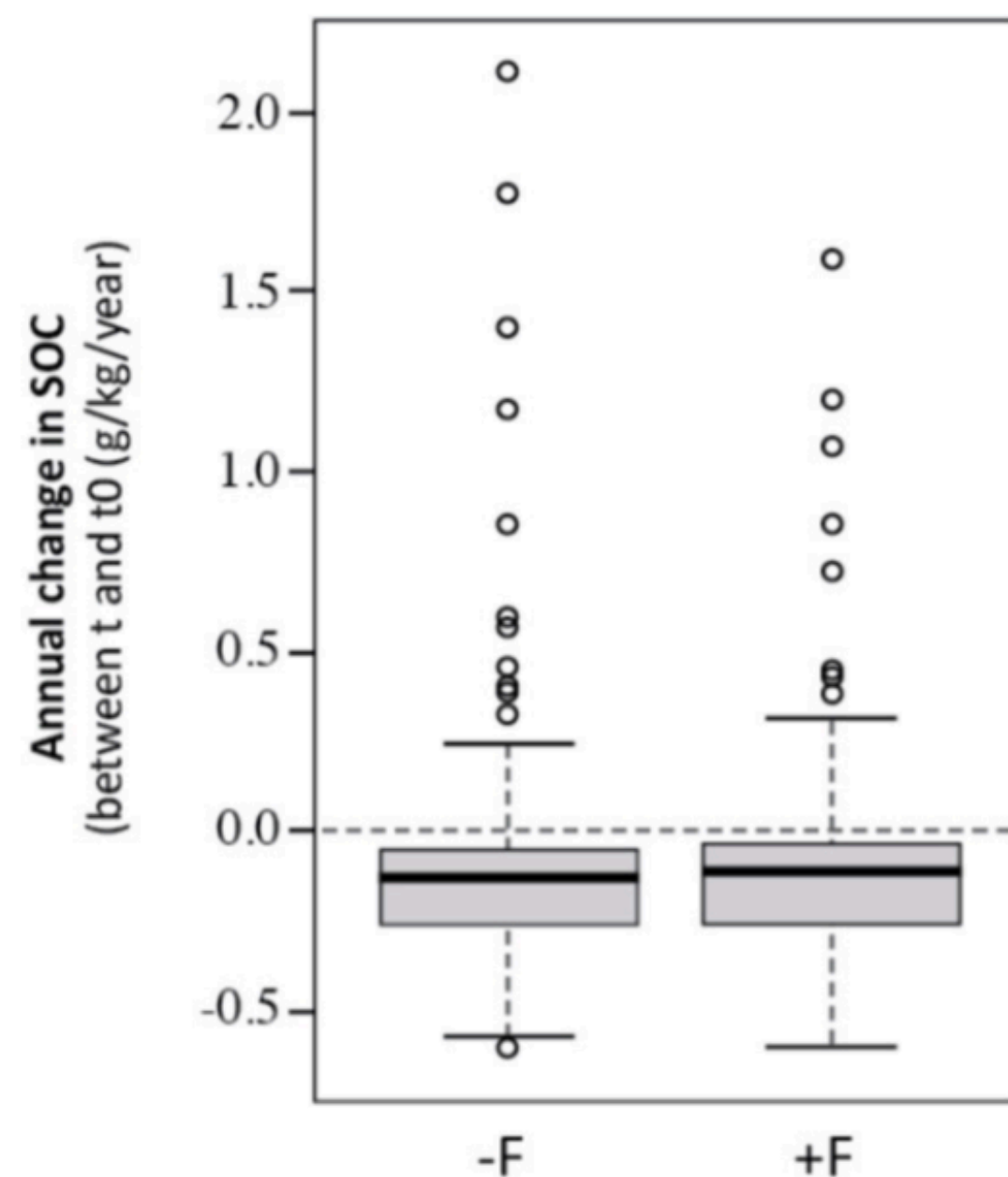
Enquanto a aplicação de fertilizantes a longo prazo em climas temperados aumenta ou mantém o SOC (34), a investigação sobre o impacto do uso de fertilizantes no SOC em diferentes sistemas de cultivo na ASS são escassas. As indicações gerais sugerem que as práticas comuns de promoção da saúde do solo não estão a aumentar o SOC (35). Ao analisar o efeito do fertilizante sobre o SOC, Beillouin et al. (36) encontraram apenas uma meta-análise abrangendo experimentos na ASS (37), que não mostrou efeitos significativos do fertilizante sobre o SOC (Figura 6). No entanto, apenas alguns dos estudos incluídos foram realizados por cinco ou mais anos. No entanto, há indicações de que a inclusão da soja pode melhorar o conteúdo de SOC e a produtividade do terreno (38).

Figura 6. Síntese das meta-análises que avaliam o efeito dos fertilizantes no SOC. Os pontos representam o tamanho médio do efeito, e as barras de erro representam os intervalos de confiança. Os números representam dados emparelhados usados numa determinada meta-análise. N: azoto; P: fósforo; e K: potássio. Dados do mapa de evidências de Beillouin et al. (36).



SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION



De acordo com os resultados da meta-análise de Chivenge et al. (37), uma análise de 25 ensaios de longo prazo realizados na ASS com clima, solos e diferentes tipos de fertilizantes minerais não revelou evidências claras de que o SOC diminuiu menos ao longo do tempo após o tratamento com um fertilizante mineral (Figura 7). Provavelmente, os níveis mais baixos de produção agrícola (e, portanto, os produtos de C) na ASS explicam as diferentes tendências observadas nas áreas de cultivo em todo o mundo. Dito isso, mesmo em ensaios de longo prazo em regiões temperadas com taxas bastante altas de uso de fertilizantes, o impacto sobre o SOC é modesto, mas quase sempre positivo (39). Outra maneira de aumentar o SOC é através da transferência de biomassa, ou seja, a aplicação de produtos orgânicos que foram produzidos fora da parcela. No entanto, isso pode não representar um benefício líquido se levar ao esgotamento da saúde do solo no terreno em que essa biomassa foi produzida.

4. Limitações ao aumento do carbono orgânico do solo

Até que ponto o SOC pode ser aumentado na realidade e nas condições da África Subsaariana? O carbono orgânico do solo sob vegetação natural pode ser visto como um indicador do que poderia ser alcançado numa determinada combinação de solo e clima. No entanto, embora o SOC nativo possa fornecer alguma orientação geral sobre o potencial de sequestro de C dos solos, ele não é uma meta realista para a restauração do SOC na agricultura. Os ecossistemas naturais não se destinam a produzir e exportar muita biomassa, mas são dominados por espécies de plantas que alocam grande parte de seu carbono nas raízes, que são as principais fontes de formação de matéria orgânica estável do solo. Dessa forma, a restauração do SOC atingível na agricultura pode chegar a apenas 60-70% do seu potencial natural (40).

Figura 7. Boxplot da mudança anual no SOC entre o final e o início do experimento de longo prazo no tratamento com fertilizante (+F) e o controle (-F) para 25 ensaios de longo prazo na África Subsaariana. Fonte: M. Corbeels et al., não publicado.



SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

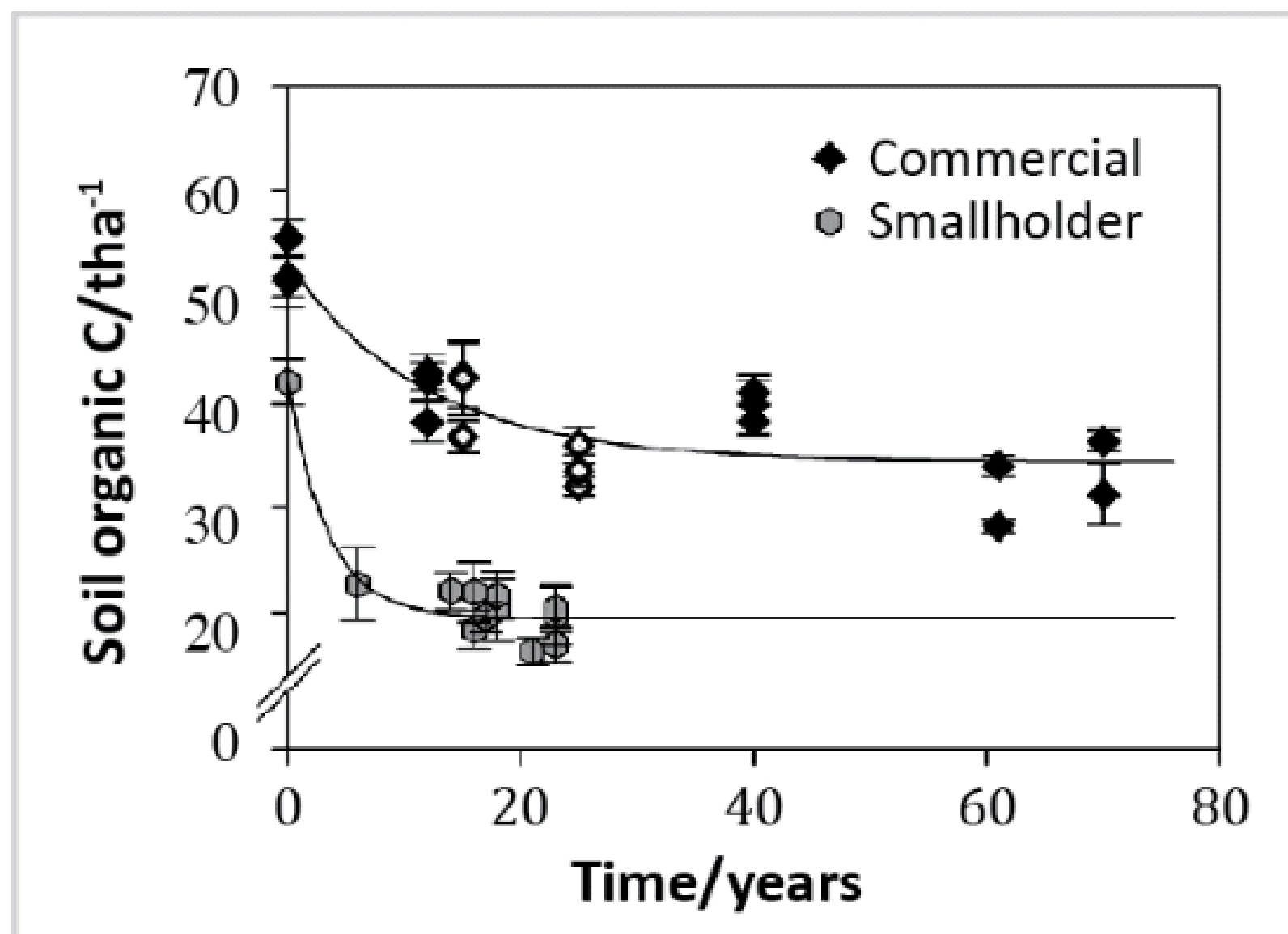


Figura 8. Alterações no C orgânico do solo após a desflorestação, conforme afetado pela duração e intensidade da agricultura em Chikwaka, Zimbábue (41).

A decomposição do material orgânico liberta grandes quantidades de CO_2 , como após a desflorestação. Portanto, por meio do cultivo contínuo e com pouca ou nenhuma contribuição mineral ou orgânica, o conteúdo de carbono do solo continua a diminuir. Dito isso, mesmo os solos sob práticas agrícolas comerciais não restauram o SOC aos níveis da vegetação natural (Figura 8). Se essa observação é um problema importante ou não, depende da quantidade de SOC necessária para manter as funções essenciais do ecossistema para o uso pretendido da terra, conforme afetado pelas propriedades do solo e pelas condições climáticas, uma questão que ainda está a aguardar uma resposta conclusiva. Pode-se também argumentar que a função do solo e seu impacto no ecossistema mudaram à medida que o gestão da terra passou da vegetação natural para a agricultura e, portanto, um SOC mais baixo tornou-se aceitável.

Aumentar os teores de SOC é uma opção para os solos africanos que têm a capacidade de estabilizar a matéria orgânica, como os solos argilosos com altos teores de óxido, comuns em grandes áreas da África. Os solos africanos podem ser importantes sumidouros de C, já que sofreram um declínio maciço no SOC, principalmente como resultado de baixos aportes de C. A aplicação de produtos orgânicos pode aumentar o SOC, mas a disponibilidade limitada desses produtos orgânicos é uma restrição. A adição de matéria orgânica de fontes externas tem aplicabilidade limitada e pode levar ao esgotamento de C nas áreas onde essa matéria orgânica foi recolhida. Portanto, a aplicação de fertilizantes é um caminho mais realista para aumentar o SOC por meio do aumento da biomassa in situ, principalmente raízes. No entanto, deve-se observar também que, por tonelada de carbono, são necessários cerca de 100 kg de N, 10 kg de P e 10 kg de S para formar uma MOS estável (42).



SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

5. Realidades económicas

Embora os fertilizantes sejam componentes essenciais dos sistemas alimentares sustentáveis, o seu uso em África depende muito de políticas precárias. O uso de fertilizantes varia muito entre os países e dentro deles devido às diferentes condições micro e macroeconómicas. Além disso, as condições biofísicas, como a quantidade de pluviosidade e o tipo de solo, são importantes; o risco de quebra de rendimento resultante de baixa pluviosidade é um forte desincentivo à aquisição e ao uso de fertilizantes em culturas de subsistência. Esta seção concentra-se nas dimensões económicas do uso de fertilizantes.

Em toda a ASS, os rendimentos das colheitas são muito inferiores ao que é possível obter sob as condições ambientais e as tecnologias disponíveis. As lacunas de rendimento na agricultura de pequeno porte na ASS são as maiores globalmente (43) e o baixo uso de fertilizantes, combinado com a baixa eficiência do seu uso, é uma das principais causas (44). Eliminar a lacuna de rendimento na ASS é o principal caminho para melhorar a segurança alimentar e o bem-estar das famílias em zonas rurais (1), enquanto os agricultores da ASS precisarão usar muito mais fertilizantes do que usam atualmente.

No entanto, embora possa ser tecnicamente viável aumentar a produtividade das culturas em muitas regiões da ASS, isso nem sempre é economicamente viável para os agricultores devido aos preços relativamente altos dos fertilizantes e aos preços relativamente baixos dos produtos agrícolas. As condições ecológicas e económicas específicas do local afetam muito a resposta das culturas ao fertilizante e os retornos económicos dos investimentos em fertilizantes (45). O último estudo mostrou que (i) a diferença média de rendimento económico (a diferença entre o rendimento atual e o rendimento que maximiza o lucro) foi de cerca de 25% da diferença de





SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION



rendimento ecológico; (ii) embora o rendimento do milho possa ser dobrado de forma lucrativa, os incentivos económicos para isso são fracos devido às relações desfavoráveis entre os preços dos produtos; e (iii) o risco de chuvas sazonais variáveis piora essa situação. Existe uma variação geográfica considerável da lucratividade dos fertilizantes. Essas descobertas enfatizam a necessidade de adaptar as recomendações de fertilizantes a áreas menores com base nas condições ambientais e económicas locais.

As variações na adoção da tecnologia agrícola podem ser atribuídas às diferenças entre os agricultores, as explorações agrícolas e os ambientes em que operam. É menos provável que os agricultores apliquem fertilizantes se o risco de não resposta ou de resposta não lucrativa for alto, se os preços dos fertilizantes forem muito altos (e não houver apoio do governo) ou se os preços das colheitas forem muito baixos.

O terreno é outro fator fundamental para a produção agrícola. Os agricultores com grandes propriedades provavelmente investirão em fertilizantes e práticas de saúde do solo. Também é provável que tenham quantidades significativas ou adequadas de recursos de matéria orgânica. Os agricultores sem posse segura da terreno têm menor probabilidade de investir em fertilizantes ou em outras práticas de saúde do solo do que aqueles que têm mais certeza de colher os benefícios a médio e longo prazo (46-48). Os agricultores que possuem terrenos maiores também podem ter melhor acesso ao crédito como pré-requisito para investir em tecnologias. A idade, o género (49) e o nível de escolaridade do agricultor são outros fatores mediadores que afetam a adoção de tecnologias e correspondem ao conhecimento, à capacidade, às preferências e à capacidade do agricultor assumir riscos. Embora esse seja um tópico importante, que afeta diretamente o uso de fertilizantes e seu impacto na saúde do solo, uma análise detalhada dos fatores subjacentes a esse tópico está fora do contexto do presente documento.



SCIENTIFIC PANEL
ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

Soluções e ações necessárias

Várias soluções e ações são necessárias para garantir que os fertilizantes sejam usados de forma eficiente e que sua aplicação resulte em aumento da produtividade das culturas, enquanto a saúde do solo é mantida ou até mesmo melhorada.



SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

1. Consenso sobre o que constitui a saúde do solo, com base em funções e ambientes específicos

É necessária uma estrutura de indicadores-chave de desempenho que defina a saúde do solo e as principais funções de um solo saudável para o uso pretendido do terreno. Esses indicadores devem ser mensuráveis e interpretáveis em relação às principais funções do solo, bem como às práticas de gestão que as afetam. O carbono orgânico do solo é geralmente reconhecido como um indicador importante. Além do SOC, o P disponível, o K trocável, a acidez do solo e a agregação estável à água poderiam completar o grupo de indicadores-chave para a saúde do solo em relação à produtividade das culturas na África Subsaariana. Atualmente, não há consenso sobre indicadores biológicos facilmente mensuráveis, apesar do progresso que está a ser feito noutras geografias (Quadro 2). Quando necessário, outros indicadores de solo ou de cultura podem ser usados para quantificar a capacidade de fornecimento de nutrientes específicos para as plantas, inclusive micronutrientes.

2. Esquemas de monitorização para avaliar o progresso e apoiar o gestão da saúde do solo

Os esquemas de monitorização nacionais ou regionais devem apoiar os investimentos públicos na saúde do solo, medindo as mudanças ao longo do tempo e do espaço. Essas informações sobre o solo devem estar disponíveis abertamente, melhorando, assim, os recursos digitais de informações sobre o solo em toda a África (50). Outro caminho importante é avaliar a saúde do solo como parte das cadeias de abastecimento verticalmente integradas, por exemplo, em relação aos padrões de produção sustentável

implementados pelas empresas. Estruturas harmonizadas e cientificamente sólidas de avaliação da saúde do solo precisam integrar procedimentos operacionais padrão e sistemas de gestão de dados aceites globalmente, implementados por agentes de extensão e agrónomos do setor privado.

3. Aumentar a conscientização sobre como os agricultores e a sociedade beneficiam da melhoria da saúde do solo

A saúde do solo beneficia a sociedade como um todo, fornecendo e regulando diversos serviços ecossistémicos. Os pequenos agricultores beneficiam da saúde do solo à medida que o rendimento das colheitas aumenta e os sistemas de produção se tornam mais eficientes, o que, em última análise, leva a melhores retornos sobre o investimento. A saúde do solo também é um bem público. Portanto, investir na saúde do solo, com base na quantificação real desses benefícios, significa, em última análise, investir na saúde pública. A saúde do solo só muda de forma significativa em períodos de tempo mais longos. Portanto, são necessários esquemas de incentivo a longo prazo, parcialmente apoiados por financiamento público, para permitir que os agricultores invistam na gestão da saúde do solo. Nesse mesmo contexto, também é importante consciencializar que os fertilizantes bem geridos não "matam" o solo - um conceito errado que chega com frequência aos fóruns de discussão pública na ASS - mas que, na verdade, são essenciais para a boa saúde do solo.



SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

4. Soluções técnicas e baseadas em dados para melhorar a saúde do solo além das crenças e dos desejos

Melhorar a saúde do solo é um objetivo louvável e necessário de uma agenda de transformação agrícola, mas nem sempre é fácil de alcançar. Por exemplo, a melhoria da saúde do solo é limitada pela baixa retenção de nutrientes nos solos arenosos. Da mesma forma, supõe-se que práticas agronômicas específicas melhorem a saúde do solo, por exemplo, como ocorre com frequência na agricultura de conservação, mas elas nem sempre são universalmente aplicáveis. As evidências geralmente sugerem que a melhoria da saúde do solo depende de muitos outros fatores que precisam de ser incorporados nas diferentes práticas e adaptadas localmente.

5. Incluir investimentos em fertilizantes e saúde do solo na adaptação ou mitigação do clima

As mudanças climáticas afetam a relação entre fertilizantes e a saúde do solo. A agricultura de redução de riscos será essencial para que os agricultores se envolvam em práticas de gestão de fertilizantes e da saúde do solo e, ao mesmo tempo, enfrentem os riscos específicos criados pelas alterações climáticas. Os investimentos na melhoria da saúde do solo também contribuem para aumentar a resiliência do sistema agrícola por meio da adaptação e da mitigação.

6. Implementar políticas que permitam aos agricultores investir na saúde do solo

A posse da terra é fundamental, mas os agricultores da ASS também continuarão a precisar de subsídios para fertilizantes, pois não há fontes alternativas para fornecer a quantidade e a diversidade de nutrientes necessários para o cultivo. A reformulação dos subsídios aos fertilizantes é fundamental no que diz respeito ao gestão da saúde do solo. Os subsídios devem ser projetados de forma inteligente e incluir a educação dos agricultores sobre como maximizar a eficiência do uso do fertilizante e como gerir os recursos orgânicos disponíveis localmente e os resíduos das colheitas em combinação com os fertilizantes.





SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

Quem precisa fazer o quê?

O setor global de fertilizantes precisa integrar aspectos do gestão da saúde do solo nas recomendações de fertilizantes e garantir que as formulações corretas de fertilizantes estejam disponíveis para as culturas e os solos certos, a fim de maximizar a produção de biomassa da cultura. O fornecimento conjunto de fertilizantes e bioestimulantes eficazes pode ser um ponto de entrada para o aumento do uso desses últimos.

Os prestadores de serviços precisam integrar o conhecimento sobre as práticas de gestão da saúde do solo em serviços de consultoria agronômica e compartilhar as informações de forma eficiente com os agricultores.

Os cientistas precisam identificar e caracterizar os principais indicadores de saúde do solo, bem como protocolos e ferramentas práticas para a monitorização rápida e eficiente do estado de saúde do solo. Além disso, devem caracterizar as práticas agronômicas que restauram ou mantêm a saúde do solo em diferentes condições ambientais e de produção. Os sistemas de monitorização da saúde do solo devem ser criados para captar as mudanças nas condições de saúde do solo à medida que as práticas relacionadas ganham escala.

Os decisores políticos devem facilitar o investimento dos agricultores na melhoria da saúde do solo, que é um objetivo de longo prazo que exige apoio público, incluindo subsídios reformulados para fertilizantes. As lições aprendidas em países que lançaram políticas relacionadas ao pagamento pelo sequestro de SOC no solo podem formar uma base para o desenvolvimento de políticas semelhantes na ASS. A gestão e o uso de fluxos de resíduos orgânicos podem ser outro caminho para aumentar a disponibilidade de produtos orgânicos, especialmente em áreas rurais próximas a centros urbanos. É necessário estabelecer e manter unidades nacionais e/ou regionais de monitorização da saúde do solo com os conhecimentos e as ferramentas necessárias.



Quem precisa fazer o quê?

Os investidores devem integrar a gestão da saúde do solo como uma condição essencial para o apoio financeiro e apoiar a implementação de mecanismos financeiros que promovam a saúde do solo. A manutenção do apoio público para facilitar os investimentos dos agricultores na saúde do solo será necessária a médio e longo prazo para elevar a saúde do solo a níveis razoáveis.

As organizações da sociedade civil precisam aumentar a conscientização em todos os setores da sociedade sobre a importância da saúde do solo, o papel dos produtos de nutrientes, tanto orgânicos quanto minerais, bem como sua manutenção e melhoria. Elas precisam mostrar como a melhoria da saúde do solo pode combater os estresses relacionados à mudança climática, a queda na produção e a degradação ambiental. O trabalho deve ser baseado em evidências científicas, não em ideologia ou crenças.

O setor retalhista deve incluir práticas de produção positivas para a saúde do solo nos seus processos de certificação de produção responsável.

Os consumidores são incentivados a comprar alimentos que respeitem a saúde do solo e a participar ativamente de discussões relacionadas à saúde do solo, como é feito atualmente em relação às mudanças climáticas.



Como seria o sucesso?

O acesso a informações e práticas de gestão da saúde do solo é facilitado

A Gestão Integrada da Fertilidade do Solo (ISFM) é incorporada nos programas de desenvolvimento agrícola. Os esquemas de subsídio de fertilizantes incluem apoio às práticas de gestão da saúde do solo no contexto do ISFM, incluindo aspectos do 4R para a gestão de fertilizantes. Os financiadores fornecem apoio de médio a longo prazo para a melhoria da saúde do solo em seus respectivos programas de desenvolvimento agrícola. Pelo menos 70% dos pequenos agricultores do continente têm acesso a recomendações agronômicas direcionadas às culturas, solos e condições climáticas específicas para garantir maior eficiência e uso sustentável de fertilizantes.

Uma gama mais diversificada de produtos fertilizantes e produtos orgânicos está disponível e acessível

A produção e a distribuição domésticas de fertilizantes e produtos orgânicos triplicarão nos próximos 10 anos, possibilitando o acesso e a acessibilidade econômica para os pequenos agricultores. Para melhorar a produção, a aquisição e a distribuição de fertilizantes e produtos orgânicos, o Mecanismo de Financiamento de Fertilizantes da África (AFFM) está totalmente operacional. Políticas e regulamentações são formuladas e implementadas para criar um ambiente propício para intervenções em fertilizantes e saúde do solo.

As condições de saúde do solo estão a melhorar como resultado da Cimeira Africana de Fertilizantes e Saúde do Solo de 2024

Chegou-se a um consenso sobre os principais indicadores relacionados à saúde do solo, procedimentos operacionais padrão para medi-los, juntamente com tendências ou limites que indicam mudanças positivas. Após a adoção de práticas de gestão da saúde do solo, muitos sistemas agrícolas de pequenos proprietários na ASS registam mudanças positivas em larga escala. A eficiência agronômica do fertilizante duplica (por exemplo, de 10 para 20 kg de grãos de milho por kg de nutriente fertilizante), com aumentos acentuados na produtividade das culturas e na disponibilidade de resíduos agrícolas, aumentando também a disponibilidade in-situ de produtos orgânicos para melhorar a saúde do solo. Pelo menos 30% do solo degradado é restaurado em 10 anos.



Como seria o sucesso?

Os serviços de consultoria e extensão integram as informações de gestão da saúde do solo

Os serviços de consultoria estão atualizados em relação à gestão de fertilizantes e da saúde do solo, com o apoio de uma grande rede de agrónomos certificados que fornecem serviços às comunidades agrícolas. O feedback sobre o desempenho das práticas agronómicas informa a comunidade de I&D para melhorar ainda mais a eficácia e a eficiência de recomendações específicas.

A capacidade científica nacional e regional é capaz de gerar e disseminar recomendações de gestão da saúde do solo localmente relevantes

A capacidade científica é fortalecida ao nível nacional e regional, especialmente em áreas como ciência de dados, análise avançada e inteligência artificial, apoiando, assim, o desenvolvimento, a validação e a disseminação de recomendações locais específicas do local. São estabelecidos vínculos efetivos entre a comunidade de I&D, os prestadores de serviços e os utilizadores finais.

Conscientização e apoio do público

O público está ciente do papel da saúde do solo na abordagem de muitos dos desafios enfrentados pelos agricultores e pela sociedade como um todo, e aprecia o papel dos fertilizantes e dos produtos de nutrientes orgânicos na manutenção e na melhoria da saúde do solo. O setor retalhista adotou esquemas de certificação favoráveis à saúde do solo e os consumidores estão comprando preferencialmente produtos favoráveis à saúde do solo.



SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

Referências

1. M. K. van Ittersum et al., Can sub-Saharan Africa feed itself? *Proc. Natl. Acad. Sci.* 113, 14964–14969 (2016).
2. N. Winnie et al., Assessment of the 2006 Abuja Fertilizer Declaration with emphasis on nitrogen use efficiency to reduce yield gaps in maize production. *Front. Sustain. Food Syst.* 5 (2022).
3. B. Vanlauwe et al., Fertilizer and soil health in Africa: The role of fertilizer in building soil health to sustain farming and address climate change (2023) .
4. B. Vanlauwe, A. Dobermann, Sustainable intensification of agriculture in sub-Saharan Africa: first things first! *Front. Agr. Sci. Eng.* 7, 376–382 (2020).
5. C. I. Ludemann et al., A global reference database in FAOSTAT of cropland nutrient budgets and nutrient use efficiency: nitrogen, phosphorus and potassium, 1961–2020. *Earth Syst. Sci. Data* (2023).
6. J. J. Stoorvogel, E. M. A. Smaling, B. H. Janssen, Calculating soil nutrient balances in Africa at different scales. 1. Supra-national scale. *Fert. Res.* 35, 227–235 (1993).
7. E. M. A. Smaling, J. J. Stoorvogel, P. N. Windmeijer, Calculating soil nutrient balances in Africa at different scales. 2. District scale. *Fert. Res.* 35, 237–250 (1993).
8. P. A. Sánchez, in Transactions of the 15th World Congress of Soil Science, Vol. 1, ISSS, Ed. (International Soc. Soil Sci. and Mexican Soc. Soil Sci., Acapulco, 1994), vol. 1, pp. 65–88.
9. C. Reijntjes, B. Haverkort, A. Waters-Bayer, Farming for the future: An introduction to Low-External Input and Sustainable Agriculture (Macmillan, London, 1992).
10. R. J. Buresh, P. A. Sanchez, F. Calhoun, Replenishing soil fertility in Africa. SSSA Special Publication Number 51 (Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA, 1997).
11. B. Vanlauwe et al., Integrated soil fertility management: Operational definition and consequences for implementation and dissemination. *Outlook on Agriculture.* 39, 17–24 (2010).
12. K. E. Giller, F. Kanampiu, M. Hungria, B. Vanlauwe, The role of nitrogen fixation in African smallholder agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment.* 285, 106601 (2019).
13. C. N. Sible, J. R. Seebauer, F. E. Below, Plant biostimulants: a categorical review, their implications for row crop production, and relation to soil health indicators. *Agronomy.* 11, 1297 (2021).
14. C. Masso, J. R. Awuor Ochieng, B. Vanlauwe, Worldwide contrast in application of bio-fertilizers for sustainable agriculture: lessons for Sub-Saharan Africa. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare.* 5, 34–50 (2015).
15. K. E. Giller, E. Witter, M. Corbeels, P. Tittonell, Conservation agriculture and smallholder farming in Africa: The heretics' view. *Field Crops Res.* 114, 23–34 (2009).
16. B. Vanlauwe et al., A fourth principle is required to define Conservation Agriculture in sub-Saharan Africa: The appropriate use of fertilizer to enhance crop productivity. *Field Crops Res.* 155, 10–13 (2014).
17. K. E. Giller, R. Hijbeek, J. A. Andersson, J. Sumberg, Regenerative Agriculture: An agronomic perspective. *Outlook Agric.* 003072702199806 (2021).
18. K. E. Giller, Why the buzz on regenerative agriculture? *Growing Africa.* 1, 12–16 (2022).
19. T. Chang, G. Feng, V. Paul, A. Adeli, J. P. Brooks, Soil health assessment methods: Progress, applications and comparison. *Adv. Agronomy.* 172, 129–210 (2022).
20. B. N. Moebius-Clune et al., Comprehensive assessment of soil health. The Cornell framework (Cornell University, Ithaca, New York, ed. 3, 2022).



SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

Referências

21. S. S. Andrews, D. L. Karlen, C. A. Cambardella, The soil management assessment framework. A quantitative soil quality evaluation method. *Soil Science Society of America Journal*. 68, 1945–1962 (2004).
22. EEA, Soil monitoring in Europe. Indicators and thresholds for soil quality assessments (Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2023).
23. H.-J. Vogel et al., Quantitative evaluation of soil functions: potential and state. *Front. Environ. Sci.* 7 (2019).
24. S. Kuyah et al., Innovative agronomic practices for sustainable intensification in sub-Saharan Africa. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 41, 1–21 (2021).
25. N. Fierer, S. A. Wood, C. P. Bueno de Mesquita, How microbes can, and cannot, be used to assess soil health. *Soil Biol. Biochem.* 153, 108111 (2021).
26. E. L. Balota, A. Colozzi-Filho, D. S. Andrade, M. Hungria, Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*. 22, 641–649 (1998).
27. Alves de Castro Lopes, André et al., Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield and organic carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 77, 461–472 (2013).
28. I. d. C. Mendes et al., Critical limits for microbial indicators in tropical Oxisols at post-harvest: The FERTBIO soil sample concept. *Applied Soil Ecology*. 139, 85–93 (2019).
29. I. C. Mendes et al., in *Soil health and sustainable agriculture in Brazil*, Madison: Soil Science Society of America,, I. C. Mendes, M. R. Cherubin, Eds. (Soil Science Society of America, Madison, WI, 2024), pp. 220–250.
30. K. D. Shepherd et al., A global soil spectral calibration library and estimation service. *Soil Security*. 7, 100061 (2022).
31. A. Bationo et al., in *Soil and fertilizers: managing the environmental footprint*, R. Lal, Ed. (CRC Press, Boca Raton, FL, 2020), pp. 67–102.
32. A. Bationo, A. Buerkert, in *Managing organic matter in tropical soils: scope and limitations*, C. Martius, H. Tiessen, P. L. G. Vlek, Eds. (Springer, Dordrecht, 2001), pp. 131–142.
33. J.-F. Soussana et al., Matching policy and science: Rationale for the ‘4 per 1000 - soils for food security and climate’ initiative. *Soil and Tillage Research*. 188, 3–15 (2019).
34. R. J. Haynes, R. Naidu, Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutr Cycl Agroecosyst*. 51, 123–137 (1998).
35. J. Kihara, P. Bolo, M. Kinyua, S. S. Nyawira, R. Sommer, *Soil health and ecosystem services: Lessons from sub-Saharan Africa (SSA)*. *Geoderma*. 370, 114342 (2020).
36. D. Beillouin et al., A global overview of studies about land management, land-use change, and climate change effects on soil organic carbon. *Global Change Biol.* 28, 1690–1702 (2022).
37. P. Chivenge, B. Vanlauwe, J. Six, Does the combined application of organic and mineral nutrient sources influence maize productivity? A meta-analysis. *Plant Soil*. 342, 1–30 (2011).
38. J. B. Naab, G. Y. Mahama, I. Yahaya, P. V. V. Prasad, Conservation agriculture improves soil quality, crop yield, and incomes of smallholder farmers in North Western Ghana. *Front. Plant Sci.* 8, 996 (2017).
39. J. K. Ladha, C. K. Reddy, A. T. Padre, C. van Kessel, Role of nitrogen fertilization in sustaining organic matter in cultivated soils. *J. Environ. Qual.* 40, 1756–1766 (2011).
40. D. S. Powlson, P. R. Poulton, M. J. Glendining, A. J. Macdonald, K. W. Goulding, Is it possible to attain the same soil organic matter content in arable agricultural soils as under natural vegetation? *Outlook Agric.* 51, 91–104 (2022).



SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

Referências

41. S. Zingore, C. Manyame, P. Nyamugafata, K. E. Giller, Long-term changes in organic matter of woodland soils cleared for arable cropping in Zimbabwe. *European Journal of Soil Science*. 56, 727–736 (2005).
42. C. A. Kirkby, A. E. Richardson, L. J. Wade, M. Conyers, J. A. Kirkegaard, Inorganic nutrients increase humification efficiency and C-sequestration in an annually cropped soil. *PLoS ONE*. 11, e0153698 (2016).
43. P. Tittonell, K. E. Giller, When yield gaps are poverty traps: The paradigm of ecological intensification in African smallholder agriculture. *Field Crops Res*. 143, 76–90 (2013).
44. H. F. M. ten Berge et al., Maize crop nutrient input requirements for food security in sub-Saharan Africa. *Global Food Security*. 23, 9–21 (2019).
45. C. Bonilla-Cedrez, J. Chamberlin, R. J. Hijmans, Fertilizer and grain prices constrain food production in sub-Saharan Africa. *Nature Food*. 2, 766–772 (2021).
46. A. Abdulai, V. Owusu, R. Goetz, Land tenure differences and investment in land improvement measures: Theoretical and empirical analyses. *J. Dev. Econ*. 96, 66–78 (2011).
47. S. Bedeke, W. Vanhove, M. Gezahegn, K. Natarajan, P. van Damme, Adoption of climate change adaptation strategies by maize-dependent smallholders in Ethiopia. *NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences*. 88, 96–104 (2019).
48. R. H. Oostendorp, F. Zaal, Land acquisition and the adoption of soil and water conservation techniques: a duration analysis for Kenya and The Philippines. *World Development*. 40, 1240–1254 (2012).
49. A. Hirpa Tufa et al., Gender differences in technology adoption and agricultural productivity: Evidence from Malawi. *World Development*. 159, 106027 (2022).
50. T. Hengl et al., African soil properties and nutrients mapped at 30 m spatial resolution using two-scale ensemble machine learning. *Sci. Rep*. 11, 6130 (2021).

Autores, citação e contato

Autores: Membros da Scientific Panel on Responsible Plant Nutrition.

Bernard Vanlauwe (International Institute of Tropical Agriculture, Kenya), Patrick H Brown (University of California - Davis, USA), Tom Bruulsema (Plant Nutrition Canada), Achim Dobermann (International Fertilizer Association, France), Mariangela Hungria (Embrapa, Brazil), Kaushik Majumdar (African Plant Nutrition Institute, Morocco), Michael McLaughlin (University of Adelaide, Australia), Claudia Wagner-Riddle (University of Guelph, Canada), Xin Zhang (University of Maryland, USA), Fang-jie Zhao (Nanjing Agricultural University, China).

Citação: Scientific Panel on Responsible Plant Nutrition. 2024. Fertilizer and soil health for enhanced productivity and sustainability in sub-Saharan Africa. Issue Brief 06. Available at <https://sprpn.org>.

Agradecimento: Esta resumo baseia-se num documento técnico preparado para a Cimeira Africana sobre Fertilizantes e Saúde do Solo, realizada em Nairobi em 2024 (1).

Mais informações: Scientific Panel on Responsible Plant Nutrition, info@sprpn.org