



SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

UM NOVO PARADIGMA PARA A NUTRIÇÃO DE PLANTAS

Issue Brief, November 2020

PONTOS-CHAVE

A nutrição de plantas desempenha um papel fundamental na agricultura, na segurança alimentar, na nutrição humana e em outras aplicações da bioeconomia. Inovações na produção e gestão de fertilizantes deve ser buscadas visando à nutrição mais eficaz das culturas, redução dos impactos ambientais causados pelas perdas de nutrientes e contribuição para a recuperação da saúde do solo. Um novo paradigma para a nutrição vegetal segue uma abordagem baseada no sistema alimentar em que devem ser alcançados múltiplos objectivos socioeconómicos, ambientais e de saúde (Fig. 1).

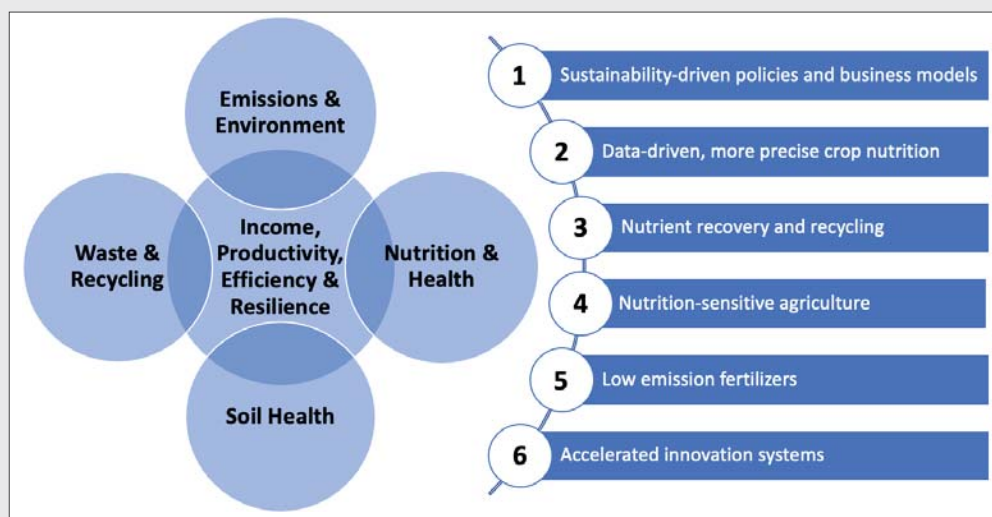


Figura 1. Os cinco objectivos interligados de uma nutrição vegetal responsável e seis acções-chave a alcançar.

Os próximos 10 a 20 anos serão críticos para a transição para um sistema alimentar global em que todas as partes interessadas olhem para os alimentos e nutrientes de uma forma holística, incluindo os seus custos ambientais, sanitários e socioeconómicos, que muitas vezes são negligenciados. Os consumidores, bem como os governos e outras partes interessadas, têm de apoiar essa transformação, porque os agricultores e a indústria que os apoiam não serão capazes de implementar sozinhos todas as acções necessárias.

O resultado desta transformação será um novo patamar social em matéria de nutrição de plantas, que vai muito além do puramente económico. A nova “economia dos nutrientes” tornar-se-á um componente integral de uma economia circular, ecológica e com baixas emissões de carbono, apoiando as necessidades alimentares e nutricionais de uma população mundial em crescimento e melhorando o rendimento e os meios de subsistência dos agricultores de todo o mundo. O sucesso desta transição depende de nove pontos descritos na conclusão desta síntese.

QUAL É O PROBLEMA?

A produção agrícola mundial tem crescido a uma taxa média anual de cerca de 2,2% durante os últimos 60 anos, embora com grandes variações entre países (1). Em um futuro próximo, será necessário um crescimento semelhante para alimentar uma população mundial em crescimento e para melhorar os meios de subsistência nas zonas rurais. A longo prazo, o abrandamento do crescimento demográfico, a alteração dos regimes alimentares, a redução das perdas e desperdícios alimentares e o aumento da reciclagem de nutrientes aliviarão a pressão para produzir mais alimentos e utilizar mais recursos naturais nesse processo.

Historicamente, o desenvolvimento económico tem sido mais rápido nas regiões do mundo onde a utilização de fertilizantes e o rendimento das

culturas aumentaram em paralelo (2). O acesso crescente a fertilizantes minerais tem sido um dos principais ingredientes para alimentar a população mundial em rápido crescimento (3). O rápido aumento do rendimento das culturas também mitigou uma expansão ainda maior da agricultura para as terras naturais, que, de outra forma, poderia ter ocorrido (4). Por outro lado, em muitas regiões, a agricultura intensiva para apoiar os padrões emergentes de consumo de alimentos resultou em externalidades relacionadas com os nutrientes que são difíceis de gerir, como a degradação dos solos, a perda de biodiversidade, a captação insustentável de água, a eutrofização de muitos ecossistemas marinhos costeiros e de água doce, o aumento das emissões de gases com efeito de estufa (GEE) e a desigualdade entre os agricultores (5).

Os níveis de perturbação antropogénica dos fluxos globais de nitrogénio e

fósforo excedem já os limites considerados como um espaço operacional seguro para a humanidade (6). Embora as atividades agrícolas a nível das explorações representem de 9 a 14% das emissões de GEE de todas as atividades humanas, uma contabilização completa do sistema alimentar global, incluindo a alteração da utilização dos solos e a produção de fertilizantes, eleva esse valor para 21 a 37% (7). As emissões de óxido nitroso (N₂O) induzidas pelo homem, que são dominadas pela adição de fertilizantes às terras de cultivo, aumentaram 30% desde a década de 1980 (8). Os atuais sistemas alimentares também favorecem o cultivo de poucas culturas destinadas principalmente, direta ou indiretamente, à industrialização, em detrimento de culturas alimentares mais ricas em micronutrientes. Embora a fome e a subnutrição tenham diminuído significativamente nas últimas décadas, a fragilidade do sistema alimentar global foi evidenciada durante o período de pandemia da COVID-19, com a volta da insegurança alimentar. Além disso, a fome tem persistido na África Subsaariana e em outras regiões, incluindo as deficiências relacionadas com os micronutrientes que afetam particularmente as mulheres e as crianças (9). O número de pessoas que não têm acesso a alimentos suficientes e nutritivos pode continuar a aumentar novamente devido a conflitos, extremos climáticos, recessões económicas ou surtos de doenças (10).

Estimam-se em 12 bilhões de dólares os custos ocultos para a saúde, para o ambiente e para os aspectos socioeconómicos que estão associados ao sistema alimentar mundial, o que é superior à produção do sistema a preços correntes (11). Embora a segurança alimentar, através do aumento da produtividade das culturas e dos animais continue a ser extremamente importante à luz de uma população prevista de cerca de 9,5 mil milhões de pessoas até 2050 (12), este já não é o único objetivo para a humanidade. A transição para um sistema alimentar global mais sustentável exige que todas as partes interessadas façam uma gestão mais holística dos nutrientes e de todo o seu ciclo de vida. As futuras soluções de nutrição vegetal terão de abordar múltiplos desafios globais

e regionais relacionados com os nutrientes no sistema alimentar.

Neste contexto, dez questões de alto nível que devem ser resolvidas nos próximos 20 anos incluem:

1. Como podemos superar o atual desequilíbrio global de nutrientes?

Durante muitas décadas, o aumento da produção agrícola e pecuária esteve estreitamente associado ao aumento da utilização de nitrogênio e de outros nutrientes, bem como ao comércio internacional de ração e alimentos para consumo humano. Esta situação conduziu a uma clivagem global, que vai desde grandes excedentes de entrada/saída de nutrientes e poluição ambiental em algumas regiões até grandes déficits de nutrientes em outras (Fig. 2). À escala global, como pode o crescimento futuro da produção primária ser dissociado do crescimento do consumo de fertilizantes? Quais são os objetivos e roteiros específicos que permitirão a cada país uma utilização responsável de fertilizantes e uma maior eficiência da utilização de nutrientes?

2. Quais são as principais medidas para duplicar ou triplicar o rendimento das culturas na África, com o aumento e a redução do consumo de fertilizantes?

A África tem déficits maciços de nutrientes que têm de ser ultrapassados para aumentar o rendimento das culturas e alcançar níveis mais elevados de segurança alimentar no espaço de uma geração (13). A utilização média de fertilizantes na África Subsaariana é de cerca de 20 kg de nutrientes/ha e em apenas alguns países ultrapassa os 50kg/ha, o que é muito inferior ao necessário para aumentar a produção agrícola e repor a fertilidade dos solos após décadas de esgotamento. Os fertilizantes, por si só, não serão suficientes para aumentar o rendimento das culturas, mas são um ingrediente essencial para desencadear uma Revolução Verde na África (14), que deve ser baseada em informação científica, em incentivos para uma utilização eficiente dos nutrientes e em medidas específicas para combater igualmente as formas de subnutrição ainda persistentes.

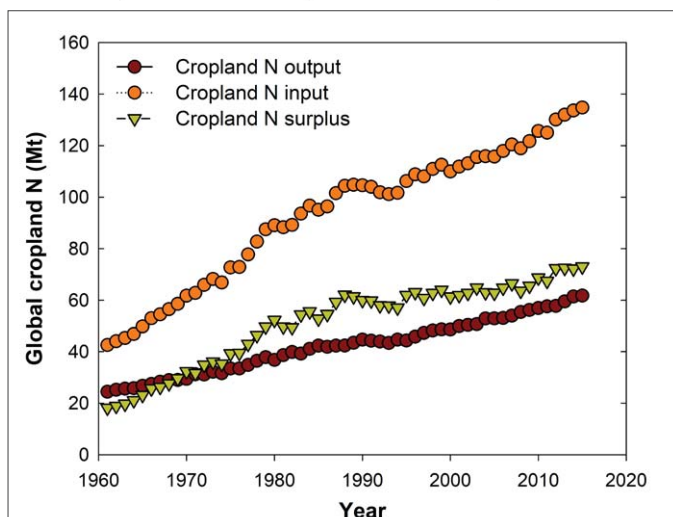
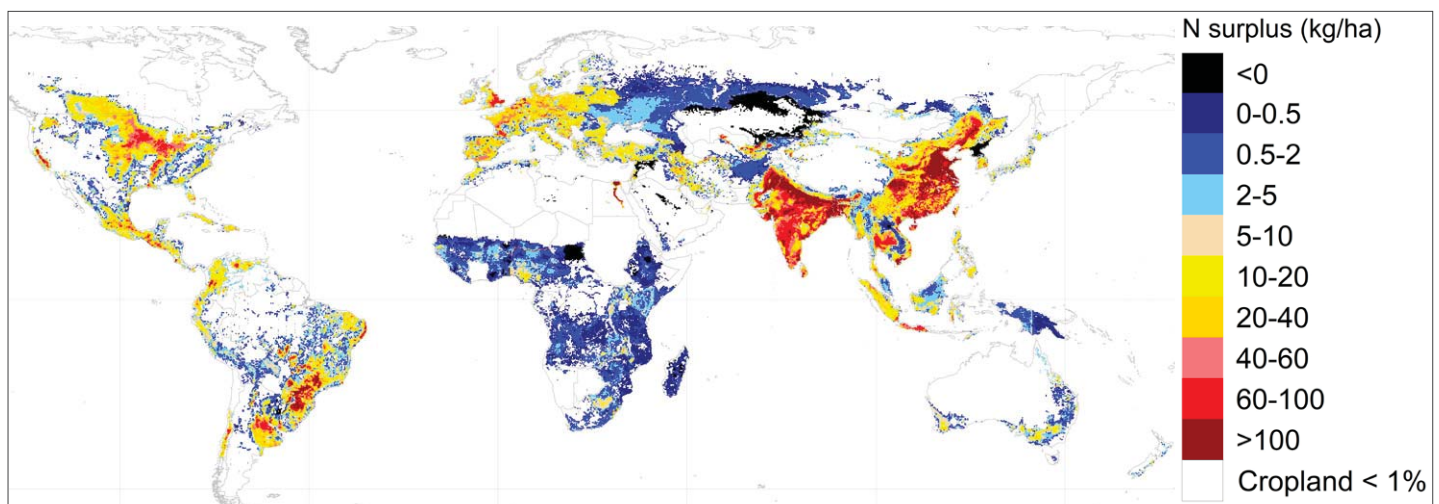


Figura 2. Tendências globais na produção de nitrogênio nas culturas, entrada de fertilizantes e outras fontes, e excedente anual de nitrogênio (esquerda), e mapa do excedente ou déficit de nitrogênio em 2015 (superior, kg N/ha). O excedente de nitrogênio é definido como o total de nitrogênio introduzido nas terras cultivadas subtraindo o nitrogênio exportado como produtos vegetais (15); é expresso em milhões de toneladas (Mt) no painel da esquerda e em kg por hectare de área terrestre no painel superior, indicando a pressão potencial devida ao nitrogênio perdido na produção vegetal. Fonte: Xin Zhang e Guolin Yao, Centro de Ciências Ambientais da Universidade de Maryland.

3. Que tecnologias, soluções empresariais e políticas irão acelerar a adoção de soluções mais precisas de gestão de nutrientes pelos agricultores?

Em muitos países, os agricultores aplicam excesso de nutrientes porque são relativamente baratos ou porque não querem arriscar uma perda de rendimento. Em outras situações, os agricultores podem não aplicar nutrientes suficientes, ou aplicá-los em formulações incorretas devido à falta de acessibilidade econômica, de acesso, de conhecimentos, ou de dados. Existem muitos bons exemplos a nível mundial de como ultrapassar esta situação, mas apenas alguns conduziram a avanços em larga escala.

4. Poderão as perdas de nutrientes e os resíduos ao longo de toda a cadeia agroalimentar ser reduzidos pela metade no espaço de uma geração?

As estimativas atuais sugerem que, à escala global, apenas cerca de 20% dos compostos nitrogenados aplicados podem chegar a ser aproveitados como produtos úteis, perdendo-se até 80% para o ambiente sob diferentes formas (16). Existem grandes variações nas perdas de nutrientes entre os diferentes países e os seus sistemas alimentares, que podem ser resolvidas por vários meios, incluindo uma maior recuperação de nutrientes de vários fluxos de resíduos em formas que permitam uma reciclagem segura para a produção vegetal.

5. Como fechar os ciclos de nutrientes nas culturas e na pecuária?

Os fatores de aprovisionamento e as cadeias de abastecimento que operam a nível mundial provocaram uma separação e concentração da agricultura e da pecuária, resultando em ciclos de nutrientes com perdas e espacialmente desconectados. O crescimento maciço do setor pecuário conduziu a uma baixa eficiência na utilização dos nutrientes, a um aumento dos resíduos e a grandes emissões de GEE. As cadeias globais de abastecimento de gado são responsáveis por um terço de todas as emissões de nitrogênio induzidas pelo homem (17). A produção animal sustentável deve incluir mais sistemas baseados em pastagens e a reintegração da agricultura e da pecuária para incorporar os animais naquilo em que são bons: converter os subprodutos do sistema alimentar e os recursos forrageiros em alimentos e esterco valiosos (18). Que futuras estruturas agrícolas, tecnologias e cadeias de abastecimento permitirão isso?

6. Como podemos melhorar a saúde dos solos?

Os solos são vitais para a produção das culturas, mas também apoiam outros serviços ecossistêmicos essenciais, como a purificação da água, o sequestro de carbono, o ciclo de nutrientes e a criação de habitats protetores da biodiversidade. As entradas de carbono e nutrientes são fatores importantes para melhorar a saúde do solo na produção agrícola, o que também aumenta a resistência dos sistemas agrícolas a fenómenos climáticos extremos. O sequestro de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico nos solos pode contribuir para reduzir o aquecimento global e melhorar a saúde dos solos, mas requer um aporte contínuo de matéria orgânica e de nutrientes (sobretudo nitrogênio e fósforo) para formar matéria orgânica estável no solo. Como é que uma abordagem holística da nutrição vegetal pode gerir macro e micronutrientes para obter uma elevada produtividade das culturas e uma utilização eficiente dos nutrientes, mas também utilizar a fixação biológica de nitrogênio, otimizar o armazenamento e a renovação do carbono, aumentar a biodiversidade do solo e evitar a sua acidificação ou outras formas de degradação?

7. Como devemos gerir a nutrição das culturas em um contexto de alterações climáticas?

As alterações climáticas têm impactos positivos e negativos na qualidade nutricional das culturas, muitos dos quais ainda não são bem conhecidos (19). O aumento do CO₂ atmosférico pode aumentar o rendimento das culturas, mas também provocar uma diminuição das concentrações de nutrientes e da eficiência da sua utilização nas culturas alimentares. O aquecimento global aumentará o risco de estresse para as culturas, como a seca, o calor ou a radiação elevada, para os quais uma nutrição

vegetal equilibrada desempenha um papel especial na atenuação. As alterações da sazonalidade, da precipitação e dos fenómenos meteorológicos extremos afetarão também o momento e a eficiência da absorção dos nutrientes, exigindo a integração diagnósticos precoces sobre nutrientes nos sistemas de alerta de informação meteorológica.

8. Quais são as opções e objectivos mais realistas para reduzir as emissões de gases com efeito de estufa relacionadas com os fertilizantes?

Todos os caminhos que limitam o aquecimento global a 1,5°C ou abaixo de 2°C exigem mitigação baseada no solo e mudança no uso do solo (20). Em todo o setor da nutrição de plantas, as tecnologias de produção e transporte de fertilizantes «verdes» de baixas emissões, as novas formulações de fertilizantes, os inibidores, as soluções genéticas para a inibição da nitrificação ou a fixação do nitrogênio atmosférico, bem como uma aplicação mais precisa dos nutrientes e uma gestão agronômica dos campos oferecem numerosas oportunidades para reduzir as emissões de CO₂ e N₂O relacionadas com os nutrientes - desde que as políticas e as condições de mercado envolvidas o permitam.

9. Como é que os sistemas de cultivo podem proporcionar alimentos de alta qualidade e mais nutritivos?

Mais de 2 bilhões de pessoas no mundo são afetadas por várias formas de subnutrição por micronutrientes. Os principais sistemas de cultivo globais foram concebidos para fornecer calorias, proteínas e uma série de outros nutrientes ou compostos bioativos. Um número reduzido de culturas pobres em micronutrientes domina as cadeias globais de alimentação humana e animal, tendo frequentemente diminuído a diversidade das culturas ou substituído culturas tradicionais como as leguminosas. Que práticas agrícolas podem ser adoptadas para melhorar a nutrição humana, incluindo soluções fitossanitárias (21)?

10. Como podemos monitorizar melhor os nutrientes e implementar níveis elevados de gestão da sustentabilidade?

As tecnologias digitais oferecem um grande potencial para uma melhor monitorização, análise, aferição, comunicação e certificação dos esforços de sustentabilidade em toda a cadeia de nutrientes. Estas têm o potencial de melhorar a transparência, a rastreabilidade, o controle de qualidade e a avaliação da sustentabilidade em todo o setor alimentar, sendo também fundamental para o envolvimento do setor público e a elaboração de políticas baseadas em evidências. Como podem, por exemplo, o Código de Conduta Internacional para a Utilização e Gestão Sustentáveis dos Fertilizantes (22) ou os critérios ambientais, sociais e de governação (ESG) ser aplicados pelos países e pela indústria? É necessária uma nova norma para a produção e utilização sustentáveis de nutrientes?

O QUE PODE SER FEITO?

O desenvolvimento humano, os requisitos dos processos biológicos e os princípios do balanço de massas tornam claro que os nutrientes minerais, incluindo os fertilizantes, continuarão a ser os principais ingredientes dos futuros sistemas alimentares. É fundamental desenvolver estratégias e práticas de nutrição de plantas integradas e direcionadas que minimizem os compromissos entre a produtividade e o ambiente - e que sejam viáveis nos sistemas agrícolas e empresariais de diferentes regiões, nações e localidades. A integração tem várias dimensões, incluindo uma abordagem de sistema alimentar multi-nutriente, maior reciclagem e utilização de todas as fontes de nutrientes disponíveis, alinhamento com outras práticas agronômicas e de gestão e cumprimento de elevados padrões de sustentabilidade.

Em suma, a nutrição vegetal responsável contribuirá para uma abordagem mais favorável à natureza da produção e do consumo de alimentos. Não deverá ter como objetivo copiar cegamente a natureza, mas, seguindo a ciência, adaptar e integrar princípios agroecológicos fundamentais (23) de uma forma personalizada. A aplicação do novo paradigma implica seis ações interdependentes:

O novo paradigma da nutrição responsável das plantas engloba uma vasta gama de conhecimentos científicos e de engenharia, tecnologias, práticas agronômicas, modelos empresariais e políticas que afetam direta ou indiretamente a produção e a utilização de nutrientes minerais nos sistemas agro-alimentares. Seguindo uma abordagem de sistema alimentar, a nutrição responsável das plantas tem por objetivo:

- A. Melhorar o rendimento, a produtividade, a eficiência dos nutrientes e a resiliência dos agricultores e das empresas que os apoiam
- B. Aumentar a recuperação e reciclagem de nutrientes a partir de resíduos e outros recursos subutilizados
- C. Aumentar e manter a saúde do solo
- D. Melhorar a nutrição e a saúde humana através de uma agricultura sensível à nutrição
- E. Minimizar as emissões de GEE, a poluição por nutrientes e a perda de biodiversidade

Ação 1: Políticas, programas, modelos empresariais e investimentos em nutrientes orientados para a sustentabilidade que criem valor adicional para todos os intervenientes e beneficiários da cadeia de nutrientes. As políticas e os programas relativos aos nutrientes devem ser adaptados aos sistemas alimentares específicos de cada país, incluindo objetivos ambiciosos em matéria de utilização, perdas e eficiência dos nutrientes. Os objetivos e prioridades específicos para a gestão dos nutrientes variam em função da história e das prioridades de desenvolvimento sustentável de cada país. Sistemas progressivos de monitoramento, gestão (24) e certificação com base científica orientarão o desempenho e recompensarão os agricultores e as empresas pela inovação, redução das perdas de nutrientes, melhoria da saúde dos solos, incremento da biodiversidade e prestação de outros serviços ecossistêmicos. Estratégias diferenciadas conduzirão, também, a

mudanças regionais na utilização global de fertilizantes, reduzindo os excedentes de nutrientes e assegurando que mais nutrientes sejam transferidos para onde mais faltam, particularmente em muitas partes de África (25).

Ação 2: Soluções de nutrição de plantas mais precisas e baseadas em dados. As soluções digitais baseadas no conhecimento e as tecnologias disruptivas permitirão adaptar as aplicações de nutrientes às necessidades locais de uma forma cada vez mais precisa. Para além das soluções de alta tecnologia para a agricultura comercial, as abordagens de «baixa tecnologia» para a gestão de nutrientes específicos de cada local mostraram aumentos consistentes e significativos no rendimento e nos rendimentos econômicos das culturas e na eficiência da utilização de nutrientes em diversas culturas em pequenas propriedades na Ásia e na África (26, 27). Essas abordagens precisam agora de ser extendidas a milhões de agricultores através de sistemas de difusão de tecnologias e soluções empresariais apoiadas digitalmente.

Ação 3: Soluções de economia circular para uma maior recuperação e reciclagem de nutrientes. A integração lavoura-pecuária, a redução do desperdício alimentar, a utilização de subprodutos e o aumento da recuperação e reciclagem de nutrientes são medidas fundamentais para otimizar a eficiência da utilização de nutrientes em toda a cadeia alimentar (Fig. 3). Os incentivos políticos, as novas tecnologias e as mudanças de comportamento conduzirão a uma maior reciclagem de nutrientes a partir de múltiplos fluxos de resíduos, como uma contribuição fundamental para as economias circulares de base biológica. Esses sistemas circulares devem ser seguros e saudáveis para os animais, os seres humanos e o ambiente, mas também devem permitir a criação de novos modelos de negócio, incluindo fluxos laterais no setor agrícola para a reciclagem de materiais e dos nutrientes que contêm. A melhoria da monitorização do fluxo de nutrientes em toda a cadeia, a análise do ciclo de vida, a aferição de desempenhos e a certificação apoiarão o desenvolvimento de tais soluções.

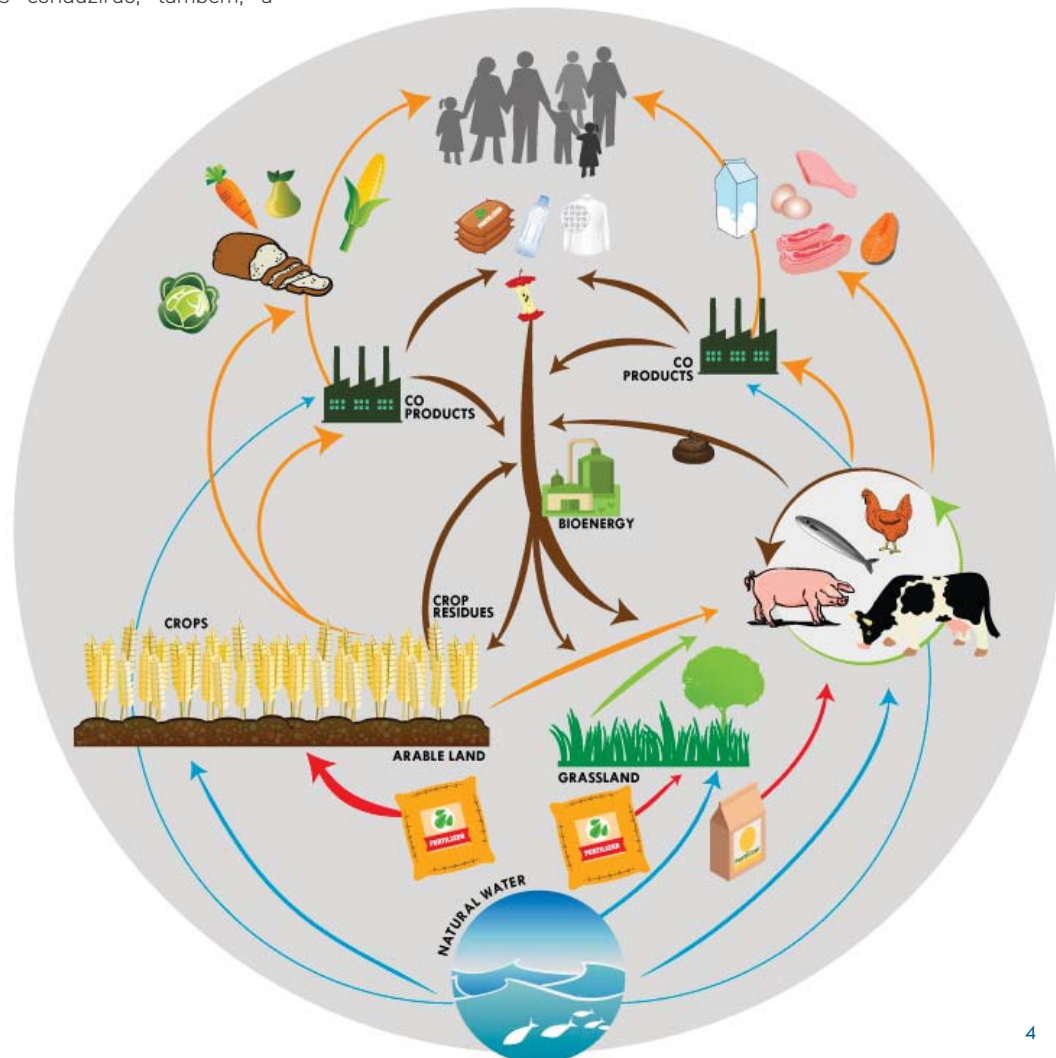


Figura 3. Principais fluxos de nutrientes em sistemas circulares de culturas-pecuária-humano. As setas vermelhas indicam as entradas de fertilizantes no sistema. As terras cultivadas são utilizadas principalmente para produzir alimentos para os seres humanos e alguns alimentos suplementares para o gado, também a partir de resíduos de culturas (setas cor de laranja). As pastagens são utilizadas principalmente para o gado, incluindo o pastoreio. Os subprodutos e resíduos são reciclados e reintroduzidos na agricultura ou utilizados para fabricar novos produtos de base biológica (setas castanhas). As fugas para fora do sistema circular são minimizadas. Fonte: Retirado e modificado de (18).

Ação 4: Agricultura sensível à nutrição - produção de culturas com maior valor nutricional para combater as deficiências de nutrientes minerais persistentes e emergentes. Para além da diversificação dos regimes alimentares e das intervenções no domínio da alimentação, as soluções fitossanitárias fazem parte das estratégias para fazer face ao triplo fardo da subnutrição, da desnutrição em micronutrientes, do excesso de peso/obesidade e de outras doenças não transmissíveis. Consoante ao contexto local, a produção de culturas sensíveis à nutrição pode incluir rotações de culturas mais diversificadas, bem como a biofortificação de culturas de base com micronutrientes através do melhoramento genético e/ou uso de fertilizantes (28). Este último envolve a utilização orientada de produtos fertilizantes que fornecem micronutrientes importantes para as culturas, os animais e os seres humanos. Para além dos nutrientes essenciais para as plantas, como o ferro ou o zinco, também podem ser incluídos nutrientes de particular importância para os animais e os seres humanos, como o iodo (29) e o selénio (30).

Ação 5: Fertilizantes energeticamente eficientes e com baixas emissões. Os fertilizantes serão cada vez mais produzidos de uma forma respeitadora do ambiente e incorporarão uma maior quantidade de conhecimentos para controlar a libertação de nutrientes para as plantas. A produção de fertilizantes com baixas emissões de carbono

pode permitir reduções significativas das emissões de gases com efeito de estufa antes da exploração agrícola. Várias tecnologias novas já estão sendo testadas para produzir «amônia verde» a partir de fontes de energia renováveis e neutras em termos de carbono e, também, para utilização no armazenamento e transporte de energia. Uma nova «economia da amônia» poderia alimentar e fornecer energia ao mundo de uma forma totalmente nova e descentralizada (31). A inovação na formulação de fertilizantes conduzirá a fertilizantes respeituosos com o meio ambiente que maximizam a absorção de nutrientes pelas culturas e minimizam as perdas de nutrientes (32).

Ação 6: Sistemas de inovação mais acelerados e mais abertos para uma passagem mais rápida de novas ideias à prática. Os futuros sistemas de investigação e inovação deverão promover a cocriação e a partilha de conhecimentos para um rápido desenvolvimento e aplicação de novos conhecimentos e tecnologias. Isto exige uma maior abertura e uma ação coordenada dos intervenientes dos setores público e privado. É necessária uma mudança cultural maciça na ciência e no financiamento da ciência, no sentido de uma abordagem científica mais simples e centrada nos problemas, da colaboração transdisciplinar, do empreendedorismo e do envolvimento precoce daqueles que utilizam as tecnologias, incluindo toda a diversidade de agricultores.

QUEM PRECISA DE FAZER O QUÊ?

A nutrição de plantas responsável é um desafio complexo e global que só pode ser enfrentado através de ações concretas de todos os que estão diretamente envolvidos no ciclo dos nutrientes e dos que o influenciam (Fig. 4).

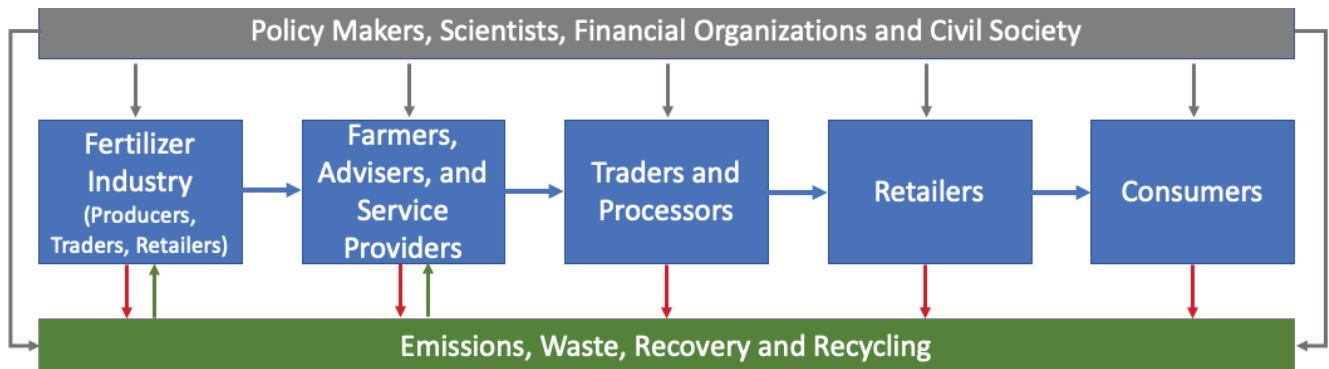


Figura 4. A cadeia agroalimentar na perspectiva da gestão dos nutrientes. As caixas azuis mostram os atores que contribuem diretamente para a utilização e perda de nutrientes em diferentes fases. As setas vermelhas indicam as emissões de gases com efeito de estufa, as perdas de nutrientes para o ambiente e os resíduos que podem ocorrer em todas as partes da cadeia. Devem ser exploradas todas as oportunidades para reduzir as emissões e as perdas, aumentando simultaneamente a recuperação e o retorno dos nutrientes à agricultura e à indústria (setas verdes). A caixa cinzenta mostra os atores que influenciam os atores principais, impulsionam a inovação ou definem o quadro de ação da sociedade. Fonte: Modificado de (33).

Os decisores políticos em todos os níveis deverão criar quadros regulamentares claros, baseados na ciência e harmonizados para os nutrientes, mas também políticas dinâmicas que incentivem a inovação em tecnologias, práticas e modelos empresariais. Devem definir uma visão clara para roteiros nacionais ou regionais com objetivos sólidos para os nutrientes, a nutrição e os indicadores ambientais. Podem impulsionar mudanças no consumo de alimentos, bem como fornecer incentivos progressivos para a adoção de melhores práticas pelos agricultores. As políticas devem equilibrar adequadamente a produção alimentar e os objetivos ambientais. A assistência técnica e os serviços de extensão devem ser apoiados de forma adequada para promover práticas sustentáveis. Os decisores políticos também precisam garantir que os agricultores de todo o mundo tenham acesso à Internet e a serviços digitais a preços acessíveis.

A indústria mundial de fertilizantes reconheceu recentemente a necessidade de uma abordagem da nutrição de plantas orientada para a sustentabilidade e a inovação como a sua principal estratégia empresarial (34). As empresas de fertilizantes terão de se tornar cada vez mais fornecedoras de soluções integradas de nutrição vegetal baseadas em novos modelos de negócio que façam o que é correto para as pessoas e para o planeta. A sustentabilidade e a inovação, incluindo o controle e a comunicação transparentes, orientarão a estratégia de transformação de todo o setor, para cada produto e solução comercializados. O crescimento das receitas deve ser impulsionado principalmente pelo crescimento do valor do desempenho oferecido aos agricultores e à sociedade, e não pelo volume de fertilizantes vendidos.

Os agricultores, os conselheiros agrícolas e os prestadores de serviços são os principais responsáveis pela melhoria da eficiência da utilização dos nutrientes, pela redução das perdas de nutrientes, pela reciclagem de nutrientes e pela promoção da saúde dos solos à escala da exploração agrícola, o que tem enormes implicações em uma escala global. Estes deverão ser capazes de se adaptar plenamente e adotar novos conhecimentos, tecnologias e serviços, e deverão ser recompensados pelas boas práticas. Muitos agricultores são empreendedores e estão dispostos a mudar e, também, estão conscientes do seu papel como administradores da terra, da água, do clima e da biodiversidade. Mas fazer as coisas de forma diferente exige a redução dos riscos e de outros obstáculos à adoção.

Os produtores, transformadores e comerciantes de produtos alimentares têm um enorme poder para influenciar os ciclos de nutrientes, quer através da influência sobre o que os consumidores comem ou bebem, quer sobre a forma como são produzidos. As cadeias de abastecimento verticalmente integradas, baseadas em dados e mais transparentes, que cumprem as normas de produção sustentável e reduzem as perdas de produção, irão generalizar, incluindo o abastecimento mais direto aos agricultores. Estes desenvolvimentos oferecem inúmeras oportunidades para a implementação de abordagens mais holísticas à gestão dos nutrientes. A rentabilização destas práticas de produção sustentáveis é simultaneamente um desafio e uma oportunidade fundamentais.

Os consumidores irão impulsionar mudanças significativas na nutrição de plantas através de alterações em direção a dietas mais saudáveis, bem como de uma ênfase crescente em alimentos produzidos de forma mais sustentável. As tendências específicas serão diferentes conforme as regiões e os grupos de rendimentos. Em uma escala global, as mudanças no comportamento alimentar podem ser relativamente lentas e serão também parcialmente compensadas pelo aumento do consumo alimentar devido ao aumento da população e ao crescimento do rendimento nos países de baixo e médio rendimento. No entanto, uma responsabilidade imediata dos consumidores consiste em reduzir o consumo excessivo de carne, desperdiçar menos alimentos e assegurar a reciclagem dos resíduos que se produzem.

Os prestadores de serviços de utilidade pública e os transformadores de resíduos são categorias importantes e relativamente novas de intervenientes no ciclo dos nutrientes, mas o seu papel irá aumentar substancialmente nos próximos anos. Especialmente em zonas densamente povoadas, as suas necessidades e ações irão cada vez mais codefinir o modo como a agricultura e a gestão dos nutrientes serão feitas. Para tal, é necessário aprofundar a colaboração com outras partes interessadas e desenvolver conjuntamente um entendimento comum, bem como normas comuns a cumprir.

Investidores: O investimento em pesquisa e inovação em nutrição de plantas terá de aumentar maciçamente para responder aos complexos desafios que enfrentamos neste domínio. Os investidores públicos, privados e filantrópicos devem investir cada vez mais em tecnologias, empresas e organizações que apoiam elementos-chave do novo paradigma, incluindo a criação de um ecossistema crescente de empresas em fase inicial e de outras empresas. A utilização combinada de capital público e privado pode reduzir o risco e alavancar mais investimentos privados.

Pesquisadores: A ciência e a engenharia estarão na base de todos os esforços para atingir os múltiplos objetivos do novo paradigma da nutrição de plantas, mas toda a cultura científica deve também mudar, no sentido de novas formas de trabalho que estimulem novas descobertas e consigam uma transposição mais rápida para a prática. É necessária uma maior concentração em vias explícitas para aplicações agronómicas, verificações da realidade e rigor nas reivindicações de utilidade, bem como uma maior partilha de conhecimento e de recursos críticos, mais inovação aberta e espírito empresarial.

As organizações da sociedade civil desempenham um papel importante no novo paradigma através da informação do público, da mobilização dos diferentes atores, do monitoramento, do alerta e da influência, bem como da divulgação inclusiva de novas tecnologias e práticas. Trata-se de uma grande responsabilidade, que deve seguir uma abordagem baseada em fatos. O codesenvolvimento de soluções concretas em parceria com o governo, a indústria, a ciência e os agricultores deve substituir a ênfase frequentemente colocada em questões isoladas ou em debates controversos.

COMO SERÁ O SUCESSO?

Em comparação com a situação encontrada em 2020, os resultados concretos que podem ser alcançados no espaço de uma geração, até 2040, incluem

1. Normas amplamente aceites para quantificar e monitorizar os nutrientes ao longo da cadeia de abastecimento alimentar, que inspiram soluções para melhorar a eficiência global da utilização dos nutrientes, aumentam a reciclagem e reduzem os resíduos de nutrientes em todo o sistema agroalimentar. Objetivos, políticas e investimentos ambiciosos que estimulam ações coletivas por parte de governos, empresas, agricultores e outras partes interessadas no sentido de soluções de nutrição de plantas sustentáveis, integradas e adaptadas.
2. em uma escala mundial, o crescimento da produtividade das culturas satisfaz a procura de alimentos para consumo humano e animal e da bioindústria e ultrapassa o crescimento do consumo de fertilizantes minerais, ao mesmo tempo que a expansão das terras cultivadas e o defloreamento cessaram. A eficiência global da utilização do nitrogênio nas culturas - a retirada de nitrogênio nos produtos colhidos das terras de cultivo em proporção à entrada de nitrogênio - aumentou para 70%.
3. Através do consumo responsável, do aumento da reciclagem e de melhores práticas de gestão, os resíduos de nutrientes ao longo do sistema alimentar foram reduzidos para metade. Os excedentes de nitrogênio e fósforo nos pontos críticos foram reduzidos para níveis seguros que minimizam a eutrofização e outros danos ambientais.
4. O esgotamento dos nutrientes do solo e a perda de carbono cessaram. As políticas e os investimentos voltados para o futuro

desencadearam mudanças nos sistemas agrícolas e nas práticas de gestão que aumentam a saúde do solo, incluindo a matéria orgânica do solo. Os défices regionais de nutrientes do solo foram substancialmente reduzidos, em especial na África Subsariana, onde a utilização de fertilizantes triplicou e o rendimento das culturas, pelo menos duplicou, incluindo melhores resultados nutricionais. Milhões de hectares de terras agrícolas degradadas foram recuperados, nomeadamente através da utilização de fertilizantes minerais e orgânicos e de resíduos ou subprodutos que contêm nutrientes.

5. Foram erradicadas formas extremas de fome crónica e de malnutrição relacionada com os nutrientes através de estratégias integradas que incluem a utilização orientada de fertilizantes enriquecidos com micronutrientes e de culturas biofortificadas com nutrientes. Uma nova geração de cereais e de outras culturas fundamentais mais nutritivas é cada vez mais adotada pelos agricultores, impulsionada pela procura dos consumidores e do mercado. Os responsáveis políticos e decisores apoiam estratégias de fertilização mineral para satisfazer necessidades nutricionais humanas específicas quando os mercados não oferecem os incentivos necessários.

6. A indústria de fertilizantes segue padrões de sustentabilidade rigorosos e transparentes para todo o ciclo de vida de seus produtos e operações comerciais. As emissões de GEE provenientes da produção e utilização de fertilizantes foram reduzidas em pelo menos 30% através do aumento da eficiência energética, da captura e armazenamento de carbono e de outras tecnologias e produtos inovadores. Pelo menos 10% do N-fertilizante do mundo é produzido a partir de amônia verde com emissões de carbono muito baixas ou nulas.

7. Os investimentos em P&D na pesquisa e inovação em nutrição de plantas por parte dos setores público e privado triplicaram em relação aos níveis atuais. Muitas empresas gastam 5% ou mais das suas receitas brutas em pesquisa e inovação. As abordagens de colaboração e de inovação aberta permitem que as descobertas científicas se traduzam rapidamente em soluções e conhecimentos práticos. Modelos empresariais inovadores e orientados para o valor impulsionam o crescimento em todo o setor.

8. Os consumidores apreciam os benefícios dos nutrientes para as plantas, incluindo os fertilizantes minerais como fonte primária de nutrientes. Uma norma de rastreabilidade de nutrientes com elevado reconhecimento visual informa as escolhas dos consumidores. A informação sobre a melhoria da saúde dos solos e o equilíbrio dos nutrientes está amplamente disponível, e a sua ligação à atenuação dos problemas do ar, da água e do clima será amplamente reconhecida.

9. Os agricultores de todo o mundo têm acesso a soluções de nutrição de plantas acessíveis, diversificadas e adequadas, e são recompensados pela implementação de melhores práticas de gestão e administração de nutrientes que aumentam a sua prosperidade e lhes permitem sair das "armadilhas da pobreza". Os produtos e soluções personalizados de nutrição de plantas representam pelo menos 30% do valor do mercado global de nutrição de plantas.

Até agora, não conseguimos atingir os objetivos acima referidos, apesar das muitas soluções científicas e técnicas que existem há décadas. Para o conseguirmos agora, no espaço de uma geração, será necessário um esforço muito mais concertado de todos os envolvidos, desde a indústria dos fertilizantes até aos agricultores, retalhistas e consumidores. É necessária uma ação rápida - baseada em um pensamento de sustentabilidade a longo prazo - para facilitar a transição para um novo paradigma de nutrição de plantas.

REFERÊNCIAS

1. K. O. Fuglie, Is agricultural productivity slowing? *Global Food Security*. 17, 73–83 (2018), doi:10.1016/j.gfs.2018.05.001.
2. J. W. McArthur, G. C. McCord, Fertilizing growth: Agricultural inputs and their effects in economic development. *Journal of Development Economics*. 127, 133–152 (2017), doi:10.1016/j.jdeveco.2017.02.007.
3. V. Smil, *Enriching the earth: Fritz Haber, Carl Bosch, and the transformation of world food production* (The MIT Press, Cambridge, MS, London, 2001).
4. J. R. Stevenson, N. Villoria, D. Byerlee, T. Kelley, M. Maredia, Green Revolution research saved an estimated 18 to 27 million hectares from being brought into agricultural production. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 110, 8363–8368 (2013), doi:10.1073/pnas.1208065110.
5. A. Balmford et al., The environmental costs and benefits of high-yield farming. *Nat Sustain.* 1, 477–485 (2018), doi:10.1038/s41893-018-0138-5.
6. W. Steffen et al., Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. *Science*. 347, 1259855 (2015), doi:10.1126/science.1259855.
7. C. Rosenzweig et al., Climate change responses benefit from a global food system approach. *Nat Food*. 1, 94–97 (2020), doi:10.1038/s43016-020-0031-z.
8. H. Tian et al., A comprehensive quantification of global nitrous oxide sources and sinks. *Nature*. 586, 248–256 (2020), doi:10.1038/s41586-020-2780-0.
9. P. Pingali, B. Mittra, A. Rahman, The bumpy road from food to nutrition security – Slow evolution of India's food policy. *Global Food Security*. 15, 77–84 (2017), doi:10.1016/j.gfs.2017.05.002.
10. FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO, *The State of Food Security and Nutrition in the World 2020* (2020) (available at <http://www.fao.org/documents/card/en/c/ca9692en/>).
11. The Food and Land Use Coalition, *Growing better: ten critical transitions to transform food and land use* (2019) (available at <https://www.foodandlandusecoalition.org/global-report/>).
12. S. E. Vollset et al., Fertility, mortality, migration, and population scenarios for 195 countries and territories from 2017 to 2100: a forecasting analysis for the Global Burden of Disease Study. *The Lancet* (2020), doi:10.1016/S0140-6736(20)30677-2.
13. M. K. van Ittersum et al., Can sub-Saharan Africa feed itself? *Proc. Natl. Acad. Sci.* 113, 14964–14969 (2016), doi:10.1073/pnas.1610359113.
14. B. Vanlauwe, A. Dobermann, Sustainable intensification of agriculture in sub-Saharan Africa: first things first! *Front. Agr. Sci. Eng.* 7, 376–382 (2020), doi:10.15302/J-FASE-2020351.
15. X. Zhang et al., Managing nitrogen for sustainable development. *Nature*. 528, 51–59 (2015), doi:10.1038/nature15743.
16. M. A. Sutton et al., Our nutrient world: the challenge to produce more food and energy with less pollution (2012) (available at <https://www.unenvironment.org/resources/report/our-nutrient-world-challenge-produce-more-food-and-energy-less-pollution>).
17. A. Uwizeye et al., Nitrogen emissions along global livestock supply chains. *Nat Food* (2020), doi:10.1038/s43016-020-0113-y.
18. H. H.E. van Zanten, M. K. van Ittersum, I. J.M. de Boer, The role of farm animals in a circular food system. *Global Food Security*. 21, 18–22 (2019), doi:10.1016/j.gfs.2019.06.003.
19. J. C. Soares, C. S. Santos, S. M. P. Carvalho, M. M. Pintado, M. W. Vasconcelos, Preserving the nutritional quality of crop plants under a changing climate: importance and strategies. *Plant Soil*. 443, 1–26 (2019), doi:10.1007/s11104-019-04229-0.
20. IPCC, *Climate change and land. IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* (2019) (available at <https://www.ipcc.ch/srcccl/>).
21. R. M. Welch, R. D. Graham, I. Cakmak, Linking agricultural production practices to improving human nutrition and health. Expert paper written for ICN2 Second International Conference on Nutrition Preparatory Technical Meeting, 13-15 November, Rome, Italy (2013) (available at <http://www.fao.org/3/a-as574e.pdf>).
22. FAO, *International code of conduct for the sustainable use and management of fertilizers* (2019) (available at <http://www.fao.org/3/ca5253en/ca5253en.pdf>).
23. FAO, *The 10 elements of agroecology. Guiding the transition to sustainable food and agricultural systems* (2018) (available at <http://www.fao.org/3/i9037en/i9037en.pdf>).
24. International Plant Nutrition Institute, *4R plant nutrition manual: A manual for improving the management of plant nutrition, metric version* (IPNI, Norcross, GA, USA, 2016).
25. X. Zhang, A plan for efficient use of nitrogen fertilizers. *Nature*. 543, 322–323 (2017), doi:10.1038/543322a.
26. A. Dobermann et al., Site-specific nutrient management for intensive rice cropping systems in Asia. *Field Crops Res.* 74, 37–66 (2002).
27. J. Rurinda et al., Science-based decision support for formulating crop fertilizer recommendations in sub-Saharan Africa. *Agric. Syst.* 180, 102790 (2020).
28. I. Cakmak, U. B. Kutman, Agronomic biofortification of cereals with zinc: a review. *Eur. J. Soil Sci.* 69, 172–180 (2018), doi:10.1111/ejss.12437.
29. R. Fuge, C. C. Johnson, Iodine and human health, the role of environmental geochemistry and diet, a review. *Applied Geochemistry*. 63, 282–302 (2015), doi:10.1016/j.apgeochem.2015.09.013.
30. G. Alfthan et al., Effects of nationwide addition of selenium to fertilizers on foods, and animal and human health in Finland: From deficiency to optimal selenium status of the population. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 31, 142–147 (2015), doi:10.1016/j.jtemb.2014.04.009.
31. K. H.R. Rouwenhorst, A. G.J. van der Ham, G. Mul, S. R.A. Kersten, Islanded ammonia power systems: Technology review & conceptual process design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 114, 109339 (2019), doi:10.1016/j.rser.2019.109339.
32. J. Chen et al., Environmentally friendly fertilizers: A review of materials used and their effects on the environment. *Science of the Total Environment*. 613-614, 829–839 (2018), doi:10.1016/j.scitotenv.2017.09.186.
33. D. R. Kanter et al., Nitrogen pollution policy beyond the farm. *Nat Food*. 1, 27–32 (2020), doi:10.1038/s43016-019-0001-5.
34. International Fertilizer Association (IFA), *IFA 2030 scenarios. Digging deeper, thinking harder, planning further* (2018) (available at https://www.fertilizer.org/Public/About_IFA/IFA2030.aspx).

AUTORES, CITAÇÃO E CONTACTO

Autores: Todos os membros do Painel Científico sobre Nutrição Vegetal Responsável.

Tom Bruulsema (Plant Nutrition Canada), Ismail Cakmak (Sabanci University, Turkey), Achim Dobermann (International Fertilizer Association, France), Bruno Gerard (CIMMYT, Mexico), Kaushik Majumdar (African Plant Nutrition Institute, Morocco), Michael McLaughlin (University of Adelaide, Australia), Pytrik Reidsma (Wageningen University & Research, The Netherlands), Bernard Vanlauwe (International Institute of Tropical Agriculture, Kenya), Eva Wollenberg (CGIAR Climate Change, Agriculture & Food Security Program, USA), Fusuo Zhang (China Agricultural University, China), Xin Zhang (University of Maryland Center for Environmental Science, USA)

Citação: Scientific Panel on Responsible Plant Nutrition. 2020. A new paradigm for plant nutrition. Issue Brief 01. Disponível em <https://sprpn.org>

Mais informações: Scientific Panel on Responsible Plant Nutrition, c/o IFA, 49, avenue d'Iéna, 75116 Paris, France; info@sprpn.org