
Impacto do uso de fertilizantes nitrogenados

Jeniffer dos Santos Domingues

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-28-2.c3>

Resumo

Neste capítulo, exploramos a jornada dos fertilizantes nitrogenados, desde sua importância vital para a agricultura até os desafios ambientais e de saúde que eles podem acarretar. Começamos destacando como esses fertilizantes, como a ureia e o nitrato de amônio, são essenciais para o crescimento das plantas, ajudando a aumentar a produtividade das colheitas. No entanto, a história não para por aí. À medida que esses fertilizantes são usados, eles entram no ciclo do nitrogênio, passando por processos como fixação e nitrificação, e eventualmente, podem causar problemas significativos. O excesso de nitrogênio pode levar à poluição da água e à emissão de gases de efeito estufa, afetando o meio ambiente. Além disso, o uso inadequado pode impactar a saúde humana, através da contaminação alimentar e exposição ocupacional. Para enfrentar esses desafios, discutimos técnicas de manejo, como fertilizantes de liberação lenta e práticas de agricultura de conservação. E por fim, abordamos as regulamentações e políticas públicas que buscam equilibrar o uso dos fertilizantes com a proteção ambiental e a saúde, e a necessidade de inovação para garantir uma agricultura mais sustentável no futuro.

Palavras chave: fertilizantes nitrogenados, agricultura, sustentabilidade, meio ambiente, saúde.

Abstract

In this chapter, we explore the journey of nitrogen fertilizers, from their vital importance for agriculture to the environmental and health challenges they can bring. We begin by highlighting how these fertilizers, such as urea and ammonium nitrate, are essential for plant growth, boosting crop productivity. However, the story does not end there. As these fertilizers are used, they enter the nitrogen cycle, undergoing processes such as fixation and nitrification, and can eventually lead to significant problems. Excess nitrogen can result in water pollution and greenhouse gas emissions, impacting the environment. Moreover, improper use can affect human health through food contamination and occupational exposure. To address these challenges, we discuss management techniques such as slow-release fertilizers and conservation agriculture practices. Finally, we review the regulations and public policies aimed at balancing fertilizer use with environmental and health protection, and the need for innovation to ensure more sustainable agriculture in the future.

Keywords: nitrogen fertilizers, agriculture, sustainability, environment, health.

"Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma."

Antoine-Laurent de Lavoisier

1. Introdução

O uso de fertilizantes nitrogenados é uma prática essencial na agricultura moderna, promovendo o crescimento das plantas ao fornecer nitrogênio, um nutriente vital. A demanda crescente por alimentos, impulsionada pelo aumento populacional, tem levado à intensificação do uso desses fertilizantes. Eles desempenham um papel fundamental na produção agrícola, garantindo colheitas mais abundantes e seguras. No entanto, essa prática também levanta preocupações ambientais e de saúde, à medida que o nitrogênio em excesso no solo e na água pode causar sérios desequilíbrios ecológicos e afetar diretamente a saúde humana.

Dados de pesquisas apontam que China, Índia, Estados Unidos e Brasil somam 58% do consumo total de fertilizantes minerais. Dentre os fertilizantes nitrogenados, a ureia é o mais consumido, com valores que ultrapassaram 50 milhões de toneladas em 2018 e 2019. Os maiores produtores de fertilizantes nitrogenados são China, Índia, Estados Unidos e Rússia. E como resposta a necessidade, em 2018 e 2019 a produção mundial de ureia foi superior a 170 milhões de toneladas e a de nitrato de amônio em torno de 15 milhões de toneladas¹².

Dentre os impactos negativos, estão a poluição do solo, a liberação de gases de efeito estufa, e o risco de contaminação das fontes de água potável. Problemas como a eutrofização (processo de multiplicação excessiva de algas) de rios e lagos e a contribuição para as mudanças climáticas são alguns dos efeitos mais evidentes. Além disso, a exposição a níveis elevados de nitratos pode resultar em sérias consequências à saúde, como doenças respiratórias e condições que afetam o transporte de oxigênio no sangue. Por isso, discutir o impacto do uso de fertilizantes nitrogenados é crucial para promover um equilíbrio entre a produtividade agrícola e a proteção do meio ambiente e da saúde pública.

2. Fertilizantes nitrogenados: tipos e funções

Os fertilizantes nitrogenados desempenham um papel vital na agricultura, fornecendo nitrogênio essencial para o crescimento das plantas. Existem diversos tipos de fertilizantes nitrogenados, cada um com diferentes características e formas de atuação no solo, o que permite uma aplicação mais eficiente de acordo com as necessidades específicas de cada cultura e ambiente.

Entre os principais tipos, estão a ureia, o nitrato de amônio e o sulfato de amônio. A ureia é o fertilizante nitrogenado mais utilizado globalmente, devido à sua alta concentração de nitrogênio (cerca de 46%) e ao custo relativamente baixo¹⁵. Uma vez aplicada no solo, a ureia passa por um processo de transformação em amônia, que é convertida em nitrato, uma forma de nitrogênio facilmente absorvida pelas plantas. No entanto, esse processo também pode levar à perda de nitrogênio por volatilização (processo no qual uma substância passa do estado líquido ou sólido para o estado gasoso) e lixiviação (processo natural que envolve a remoção de nutrientes e outros elementos químicos do solo), o que aumenta o risco de poluição ambiental¹⁴.

O nitrato de amônio, por sua vez, combina formas de nitrogênio amoniacal e nítrica, o que permite uma rápida absorção pelas plantas. No entanto, seu uso requer cautela devido ao potencial explosivo e ao risco de contaminação das águas subterrâneas. Já o sulfato de amônio que contém cerca de 21% de nitrogênio é amplamente utilizado em solos que apresentam deficiência de enxofre, pois além de fornecer nitrogênio, também disponibiliza enxofre, essencial para diversas funções metabólicas das plantas¹⁰.

Cada um desses fertilizantes tem propriedades que atendem a diferentes necessidades das plantas e condições de solo, exigindo um planejamento cuidadoso para garantir a eficiência na produção agrícola e evitar danos ambientais. Esses fertilizantes são utilizados com o objetivo de maximizar a produtividade agrícola, aumentando o teor de nitrogênio no solo, o que impulsiona a fotossíntese e a produção de biomassa. Contudo, o uso inadequado ou excessivo desses insumos pode acarretar sérios problemas ambientais. Portanto, a escolha do tipo adequado e a aplicação controlada dos fertilizantes são fundamentais para minimizar seus impactos negativos.

2.1. Funções dos fertilizantes nitrogenados

A principal função dos fertilizantes nitrogenados é fornecer o nitrogênio necessário para o crescimento saudável das plantas. O nitrogênio é um dos três macronutrientes primários, ao lado do fósforo e do potássio, e desempenha um papel crucial na fotossíntese, processo pelo qual as plantas convertem luz solar em energia. Ele é um componente essencial da clorofila, a substância responsável pela cor verde das plantas e pela captura de luz solar¹⁰.

Além disso, o nitrogênio é um elemento fundamental na formação de aminoácidos, que são os blocos construtores das proteínas. As proteínas são essenciais para a construção de novas células e tecidos vegetais, influenciando diretamente o crescimento e o rendimento das colheitas. O nitrogênio também faz parte do DNA e do RNA das plantas, estruturas que controlam o crescimento e a replicação celular. Sem uma quantidade adequada de nitrogênio, as plantas podem apresentar crescimento atrofiado, folhas amareladas e baixa produtividade⁶.

Outro papel importante dos fertilizantes nitrogenados é estimular o desenvolvimento de raízes mais fortes e saudáveis, o que melhora a capacidade das plantas de absorver água e nutrientes do solo. O resultado é um crescimento mais robusto e uma maior resistência a pragas e doenças. Esse efeito é particularmente visível em culturas como o milho, o trigo e o arroz, que são altamente dependentes de nitrogênio para atingir altos rendimentos. Esse impacto pode ser mostrado por exemplo por espigas de milho apresentadas por um agricultor da Nigéria (Figura 1)¹⁰.

No entanto, o uso excessivo de fertilizantes nitrogenados pode resultar em problemas, como a lixiviação de nitratos, que polui lençóis freáticos e cursos d'água, e a emissão de óxido nitroso (N_2O), um potente gás de efeito estufa. Por isso, a função dos fertilizantes nitrogenados deve ser equilibrada com práticas de manejo sustentável, como o uso controlado, a rotação de culturas e a aplicação de tecnologias que otimizam a absorção de nutrientes, minimizando desperdícios e impactos ambientais.



Figura 1. Um agricultor africano no encontro das Nações Unidas em Nova York, mostrando o impacto do fertilizante na produtividade do milho, 24 de abril de 2000 (Harold Reetz).

3. Ciclo do nitrogênio no solo

O ciclo do nitrogênio é um processo fundamental para a fertilidade do solo e a produtividade agrícola. Ele envolve a transformação e o transporte do nitrogênio através de diferentes formas químicas, que são essenciais para o crescimento das plantas e a manutenção dos ecossistemas. O ciclo inclui várias etapas, como fixação, mineralização, nitrificação, e desnitrificação, cada uma desempenhando um papel crucial na disponibilidade de nitrogênio para as plantas e no impacto ambiental⁶ (Figura 2).

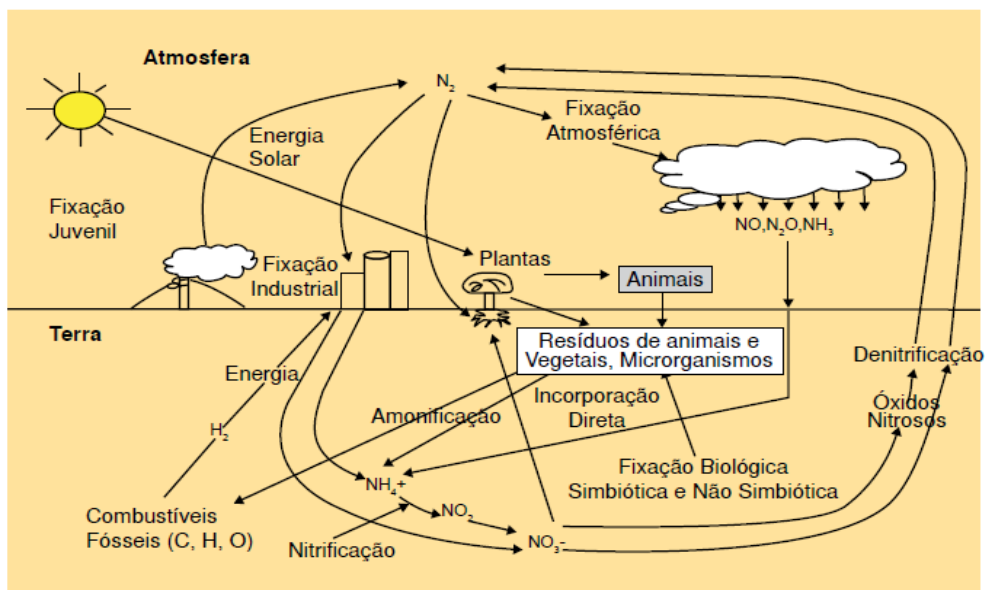


Figura 2. Ciclo do nitrogênio. Fonte: Gomes et al. (2000).

3.1. Fixação do Nitrogênio

A fixação do nitrogênio é o início do ciclo do nitrogênio e pode ocorrer de forma biológica ou industrial.

- **Fixação Biológica:** Bactérias, como as do gênero *Rhizobium*, associam-se às raízes de leguminosas (feijão, soja) e convertem o nitrogênio atmosférico (N_2) em amônia (NH_3), que as plantas utilizam para crescer. Esse processo é natural e reduz a necessidade de uso de fertilizantes químicos.
- **Fixação Industrial:** Processos como o Haber-Bosch transformam nitrogênio em amônia para a produção de fertilizantes em larga escala, essencial para a agricultura moderna, mas com impactos ambientais, como poluição do solo e da água⁶.

3.2. Mineralização

A mineralização é o processo no qual microrganismos decompõem compostos orgânicos, como restos de plantas e animais, liberando nitrogênio na forma de amônia (NH_3). Esse nitrogênio pode ser utilizado pelas plantas ou convertido em nitrato. O processo é fundamental para o ciclo do nitrogênio e para manter a fertilidade do solo, sendo influenciado por fatores como temperatura, umidade e matéria orgânica disponível⁶.

3.3. Nitrificação

A nitrificação é o processo em que a amônia (NH_3) é convertida em nitrato (NO_3^-), uma forma de nitrogênio absorvível pelas plantas. Ocorre em duas etapas: a amônia é transformada em nitrito (NO_2^-) e depois em nitrato por bactérias. Embora essencial para a fertilidade do solo, o nitrato pode ser lixiviado, contaminando águas e causando poluição ambiental⁶.

3.4. Desnitrificação

A desnitrificação é o processo em que nitratos e nitritos são convertidos em nitrogênio gasoso (N_2), liberado na atmosfera por microrganismos

anaeróbicos. Esse processo ocorre em solos com baixa oxigenação e é essencial para regular o nitrogênio. No entanto, também emite óxido nitroso (N_2O), um gás de efeito estufa que contribui para o aquecimento global⁶.

Os processos biogeoquímicos do ciclo do nitrogênio envolvem a interação entre organismos vivos e o ambiente, afetando a transformação e o transporte de nitrogênio no solo. Entender esses processos e suas interações é essencial para o manejo sustentável do nitrogênio. Práticas como a adubação verde, que envolve o cultivo de plantas que fixam nitrogênio e sua incorporação ao solo, e a rotação de culturas, ajudam a manter o equilíbrio do ciclo do nitrogênio. A aplicação de tecnologias para otimizar o uso de fertilizantes também pode minimizar as perdas e os impactos ambientais, promovendo uma agricultura mais sustentável e eficiente.

4. Efeitos do uso de fertilizantes nitrogenados no meio ambiente

O uso de fertilizantes nitrogenados é um componente fundamental da agricultura moderna, essencial para promover o crescimento das plantas e aumentar a produtividade das culturas. No entanto, seu uso inadequado pode ter uma série de impactos ambientais adversos. A seguir, são discutidos os principais efeitos do uso de fertilizantes nitrogenados no meio ambiente, incluindo a poluição da água, a emissão de gases de efeito estufa, a acidificação do solo, o impacto na biodiversidade e a contaminação do ar.

4.1. Poluição da Água

- **Lixiviação de Nitratos:** Quando fertilizantes nitrogenados são aplicados em excesso, os nitratos (NO_3^-) podem infiltrar-se no solo e contaminar as águas subterrâneas. Isso é particularmente perigoso para fontes de água potável, já que o consumo de água contaminada pode causar problemas graves de saúde.
- **Eutrofização:** Os nitratos também podem ser levados para corpos d'água superficiais (rios, lagos) por meio de escoamento superficial, especialmente após chuvas fortes. Isso contribui para a eutrofização, que é o crescimento excessivo de algas devido ao excesso de nutrientes. A

decomposição dessas algas consome oxigênio da água, levando à hipoxia (falta de oxigênio), o que pode resultar na morte de peixes e outros organismos aquáticos^{11,14}.

4.2. Emissão de Gases de Efeito Estufa

- Óxido Nitroso (N_2O): Durante o processo de desnitrificação no solo, o nitrato é convertido em nitrogênio gasoso (N_2), e parte desse processo libera óxido nitroso (N_2O), um gás de efeito estufa extremamente potente. O N_2O tem um potencial de aquecimento global aproximadamente 265 vezes maior que o dióxido de carbono (CO_2), contribuindo diretamente para as mudanças climáticas. A quantidade de N_2O emitida depende de fatores como o tipo de fertilizante, a quantidade aplicada e as condições do solo. Tecnologias como inibidores de nitrificação e fertilizantes de liberação lenta ajudam a minimizar essas emissões^{11,14}.

4.3. Acidificação do Solo

- Impacto no Solo: O uso de fertilizantes nitrogenados, especialmente aqueles à base de amônio, como o sulfato de amônio e o nitrato de amônio, pode acidificar o solo. Esses fertilizantes liberam ácidos à medida que se decompõem no solo, o que pode reduzir o pH do solo, tornando-o mais ácido. Solos ácidos prejudicam a saúde das plantas, limitando a disponibilidade de nutrientes essenciais e aumentando a toxicidade de metais pesados, como alumínio. Isso afeta negativamente o crescimento das plantas e a atividade microbiana benéfica no solo. Para corrigir a acidificação, a aplicação de calcário pode neutralizar a acidez e restaurar a qualidade do solo^{11,14}.

4.4. Impacto na Biodiversidade

- Aquática e Terrestre: O excesso de nutrientes provenientes de fertilizantes nitrogenados não afeta apenas a qualidade da água, mas também pode prejudicar a biodiversidade. No ambiente aquático, a

eutrofização altera a estrutura das comunidades biológicas, com o crescimento excessivo de algas sufocando outras espécies e levando à perda de biodiversidade. Espécies invasoras, que se adaptam melhor às condições ricas em nutrientes, podem suplantam as espécies nativas, desestabilizando os ecossistemas.

- Em Ambientes Terrestres: No solo, a acidificação e o excesso de nutrientes podem alterar a composição das plantas. A perda de espécies vegetais nativas afeta a fauna que depende dessas plantas, reduzindo a biodiversidade e comprometendo serviços ecossistêmicos importantes, como a polinização e a regulação climática^{11,14}.

4.5. Contaminação do Ar

- Volatilização de Amônia: Parte do nitrogênio dos fertilizantes pode ser perdido para a atmosfera na forma de amônia (NH_3) durante o processo de volatilização. Isso acontece quando fertilizantes nitrogenados, como a ureia, não são adequadamente incorporados ao solo. A amônia no ar pode formar partículas finas que afetam a qualidade do ar, causando problemas respiratórios em humanos. Além disso, a amônia pode se combinar com outros poluentes atmosféricos, como o ácido sulfúrico, contribuindo para a formação de aerossóis e chuva ácida, o que prejudica ecossistemas aquáticos e terrestres^{11,14}.

5. Impacto do Uso de Fertilizantes Nitrogenados na Saúde Humana

O uso de fertilizantes nitrogenados aumenta a produtividade agrícola, mas pode afetar a saúde humana por meio de contaminação alimentar e exposição ocupacional.

5.1. Contaminação de Alimentos

- Acúmulo de Nitratos em Alimentos: Fertilizantes nitrogenados podem levar à acumulação de nitratos (NO_3^-) nas partes comestíveis de vegetais, especialmente em folhas verdes, como espinafre e alface.

- **Conversão em Nitritos e Riscos à Saúde:** Após a ingestão, nitratos são convertidos em nitritos (NO_2^-), que podem causar metemoglobinemia, comprometendo a oxigenação sanguínea. A ingestão prolongada de nitratos pode aumentar o risco de câncer gastrointestinal devido à formação de nitrosaminas.
- **Redução do Valor Nutricional:** Altos níveis de nitrato podem diminuir a concentração de vitaminas e minerais nas plantas, afetando a qualidade nutricional dos alimentos^{19,20}.

5.2. Exposição Ocupacional

- **Riscos Respiratórios:** Trabalhadores expostos a compostos nitrogenados durante a aplicação ou manuseio de fertilizantes podem sofrer irritação respiratória, com sintomas como tosse e falta de ar, e, em casos graves, desenvolver doenças respiratórias crônicas, como asma.
- **Irritações Dérmicas e Oculares:** Contato direto com fertilizantes pode causar irritações na pele e nos olhos, como erupções cutâneas e conjuntivite.
- **Impactos a Longo Prazo:** Exposição crônica a fertilizantes nitrogenados pode aumentar o risco de doenças renais e hepáticas. Medidas de segurança como uso de EPIs e ventilação adequada são essenciais para minimizar esses riscos^{19,20}.

6. Técnicas de manejo para reduzir o impacto dos fertilizantes nitrogenados

A gestão adequada dos fertilizantes nitrogenados é crucial para minimizar seus impactos ambientais e de saúde. Diversas técnicas e práticas podem ser implementadas para reduzir esses efeitos, melhorando a eficiência do uso do nitrogênio e promovendo a sustentabilidade agrícola. A seguir, exploramos algumas das principais técnicas de manejo.

6.1. Uso de Fertilizantes de Liberação Lenta

- Definição e Benefícios: Fertilizantes de liberação lenta disponibilizam nitrogênio gradualmente, melhorando a eficiência e reduzindo riscos de lixiviação e volatilização.
- Tipos: Ureia revestida e fertilizantes à base de polímeros, que fornecem nitrogênio em etapas, evitando picos de concentração de nitratos.
- Vantagens: Menor necessidade de reaplicações frequentes e redução do uso total de fertilizantes⁸.

6.2. Adoção de Práticas de Agricultura de Conservação

- Rotação de Culturas: Alternar culturas melhora a saúde do solo e reduz a necessidade de fertilizantes, com leguminosas fixando nitrogênio no solo.
- Plantio Direto: Evita a aragem, melhora a estrutura do solo, reduz a erosão e aumenta a retenção de água, diminuindo a necessidade de fertilizantes.
- Cobertura do Solo: Protege o solo da erosão, melhora a retenção de água e reduz a lixiviação e a necessidade de fertilizantes¹⁰.

6.3. Alternativas ao Uso de Fertilizantes Nitrogenados

- Adubação Verde: Leguminosas fixam nitrogênio atmosférico, melhorando a fertilidade do solo sem fertilizantes sintéticos.
- Biofertilizantes: Microrganismos vivos aumentam a disponibilidade de nutrientes, complementando ou substituindo fertilizantes químicos.
- Manejo Integrado de Nutrientes (MIN): Combina fertilizantes sintéticos e orgânicos com práticas culturais, otimizando o uso de nitrogênio e minimizando impactos ambientais⁹.

Implementar essas técnicas e práticas pode ajudar a reduzir significativamente os impactos negativos dos fertilizantes nitrogenados, promovendo uma agricultura mais sustentável e responsável. A integração de métodos modernos e tradicionais de manejo de nutrientes é essencial para alcançar um equilíbrio entre a produtividade agrícola e a preservação ambiental.

7. Regulamentação e Políticas Públicas Relacionadas ao Uso de Fertilizantes Nitrogenados

A regulamentação e as políticas públicas desempenham um papel essencial no gerenciamento do uso de fertilizantes nitrogenados, buscando equilibrar a produtividade agrícola com a proteção ambiental e a saúde pública. Diversas abordagens foram adotadas globalmente para mitigar os impactos negativos desses fertilizantes^{16,17}.

7.1. Regulamentações sobre Aplicação de Fertilizantes

- **Limitação de Quantidade:** Estabelece limites à quantidade de nitrogênio aplicada por área com base em análises de solo e necessidades das culturas para reduzir lixiviação e poluição da água.
- **Diretrizes de Aplicação:** Exige práticas como incorporação de fertilizantes ao solo e define períodos de aplicação para evitar volatilização de amônia e escoamento.
- **Registro e Certificação:** Fertilizantes precisam ser registrados e certificados para garantir qualidade, segurança e menor impacto ambiental²¹.

7.2. Políticas de Incentivo e Subsídios

- **Subsídios para Fertilizantes de Liberação Lenta:** Promovem fertilizantes que minimizam lixiviação e volatilização de nitrogênio.
- **Incentivos para Agricultura Sustentável:** Recompensam práticas como rotação de culturas e cobertura do solo para reduzir o uso de fertilizantes.
- **Programas de Educação e Treinamento:** Oferecem orientação sobre práticas eficientes e manejo adequado de fertilizantes²¹.

7.3. Políticas de Monitoramento e Fiscalização

- **Monitoramento da Qualidade da Água:** Avalia a concentração de nitratos em corpos d'água para identificar fontes de poluição.
- **Fiscalização de Práticas Agrícolas:** Inspeções garantem o cumprimento das regulamentações.
- **Avaliação de Políticas:** Revisão periódica para incorporar novos conhecimentos científicos e ajustes necessários²¹.

7.4. Iniciativas Internacionais

Iniciativas como a Convenção de Estocolmo e o Acordo de Paris abordam a gestão de fertilizantes como parte dos esforços para reduzir a poluição e as emissões de gases de efeito estufa.

8. Desafios e perspectivas futuras

O uso de fertilizantes nitrogenados enfrenta uma série de desafios significativos, que vão desde a gestão ambiental até a saúde pública. À medida que a demanda por alimentos cresce e os impactos ambientais e de saúde se tornam mais evidentes, a necessidade de pesquisa e inovação para enfrentar esses desafios torna-se crucial.

8.1. Necessidade de pesquisa e inovação

A pesquisa e a inovação são essenciais para superar os desafios associados ao uso de fertilizantes nitrogenados e melhorar a sustentabilidade agrícola. Existem várias áreas chave onde o avanço científico e tecnológico pode contribuir significativamente:

- **Desenvolvimento de Novos Tipos de Fertilizantes:** Foco na criação de fertilizantes mais eficientes e menos prejudiciais, como os de liberação controlada, com potencial para reduzir perdas de nitrogênio.
- **Tecnologias de Aplicação Melhoradas:** Inovações como sensores de solo e sistemas de aplicação de precisão para aumentar a eficiência e reduzir impactos ambientais.
- **Integração de Práticas de Manejo Sustentável:** Pesquisa em rotação de culturas e uso de culturas de cobertura para melhorar a saúde do solo e reduzir o uso de fertilizantes nitrogenados.
- **Acompanhamento e Modelagem Ambiental:** Desenvolvimento de modelos para simular e gerenciar impactos dos fertilizantes nitrogenados, ajudando na tomada de decisões.

- **Impactos na Saúde Humana:** Investigação sobre os efeitos na saúde, incluindo contaminação alimentar e exposição ocupacional, para mitigar riscos.
- **Educação e Formação:** Capacitação de agricultores e profissionais para adotar novas tecnologias e práticas de manejo sustentável.
- **Políticas e Regulações:** Adaptação de políticas com base em avanços científicos para garantir a sustentabilidade e eficiência no uso de fertilizantes nitrogenados.

O avanço da pesquisa e inovação traz uma visão otimista para a melhoria da gestão de fertilizantes nitrogenados, combinando novas tecnologias e práticas sustentáveis. Colaboração entre pesquisadores, agricultores e legisladores será essencial para implementar inovações e equilibrar produtividade agrícola com a proteção ambiental e da saúde humana. A continuidade da pesquisa e adaptação a novas descobertas serão fundamentais para alcançar soluções sustentáveis.

8.2. Qual será o nosso futuro?

Finalizo este capítulo com uma pergunta que pode ter várias respostas, mas, o importante é nos dedicarmos ao hoje, cuidando para que seja possível ter um futuro.

6. Referências

1. ME TRENKEL, Trenkel. **Slow-and controlled-release and Stabilized Fertilizers: an option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture.** International Fertilizer Industry Association (IFA), 2021.
2. COSKUN, Devrim et al. Nitrogen transformations in modern agriculture and the role of biological nitrification inhibition. **Nature plants**, v. 3, n. 6, p. 1-10, 2017.
3. PAHALVI, Heena Nisar et al. Chemical fertilizers and their impact on soil health. **Microbiota and Biofertilizers, Vol 2: Ecofriendly tools for reclamation of degraded soil environs**, p. 1-20, 2021.

4. CASSIM, Bruno Maia Abdo Rahmen et al. Nitrogen fertilizers technologies for corn in two yield environments in South Brazil. **Plants**, v. 11, n. 14, p. 1890, 2022.
5. SERÔDIO, Gonçalo Alexandre Setúbal et al. **Nitritos e nitratos nos alimentos e possíveis riscos para a saúde**. 2022. Tese de Doutorado.
6. VIEIRA, Rosana Faria. Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas. 2017.
7. MINATO, Evandro Antonio et al. Controlled-release nitrogen fertilizers: characterization, ammonia volatilization, and effects on second-season corn. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, p. e0190108, 2020.
8. GUELFY, Douglas. Fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta ou controlada. **Piracicaba: IPNI**, 2017.
9. MOTA, Murilo Renan et al. Fontes estabilizadas de nitrogênio como alternativa para aumentar o rendimento de grãos ea eficiência de uso do nitrogênio pelo milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p. 512-522, 2015.
10. REETZ, Harold F. Fertilizantes e seu uso eficiente. **São Paulo: ANDA**, 2017.
11. LOMBO CELIS, Lady Johanna et al. Análisis de los Impactos ambientales ocasionados por el uso de los fertilizantes nitrogenados, en el cultivo de papa en el Municipio de Zipaquirá. 2021.
12. FERNANDES, MARIANA CS et al. Avaliação do consumo, produção, mercado mundial e impactos ambientais na indústria de fertilizantes nitrogenados. In: **Congresso Brasileiro de sistemas particulados**. 2022.
13. SOUZA, Taylor Lima de et al. Ammonia and carbon dioxide emissions by stabilized conventional nitrogen fertilizers and controlled release in corn crop. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, n. 5, p. 494-510, 2017.
14. MAHMUD, Kishan et al. Nitrogen losses and potential mitigation strategies for a sustainable agroecosystem. **Sustainability**, v. 13, n. 4, p. 2400, 2021.
15. CAVALINI, R. M. et al. Determinação do teor de nitrogênio em fertilizantes nitrogenados utilizando dois métodos. 2013.
16. GALLOWAY, James N. et al. The nitrogen cascade. **Bioscience**, v. 53, n. 4, p. 341-356, 2003.
17. MARTÍNEZ-DALMAU, Javier; BERBEL, Julio; ORDÓÑEZ-FERNÁNDEZ, Rafaela. Nitrogen fertilization. A review of the risks associated with the inefficiency of its use and policy responses. **Sustainability**, v. 13, n. 10, p. 5625, 2021.

18. KANTER, David R. et al. Nitrogen pollution policy beyond the farm. **Nature Food**, v. 1, n. 1, p. 27-32, 2020.
19. DE VRIES, Wim. Impacts of nitrogen emissions on ecosystems and human health: A mini review. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, v. 21, p. 100249, 2021.
20. TOWNSEND, Alan R. et al. Human health effects of a changing global nitrogen cycle. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 1, n. 5, p. 240-246, 2003.
21. CALIGARIS, Bruno Santos Abreu et al. A importância do Plano Nacional de Fertilizantes para o futuro do agronegócio e do Brasil. 2022.
22. GOMES, M. A. F.; SOUZA, M. D. de; BOEIRA, R. C.; TOLEDO, L. G. de. **Nutrientes vegetais no meio ambiente: ciclos biogeoquímicos, fertilizantes e corretivos**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 50p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 18).

Autores

Jeniffer dos Santos Domingues

Programa de Pós graduação em Bioquímica, Universidade Estadual de Maringá