

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO
GRANDE DO SUL – *CAMPUS* IBIRUBÁ
BACHARELADO EM AGRONOMIA**

USO DE INIBIDOR DE NITRIFICAÇÃO NA AGRICULTURA BRASILEIRA

LIDIANA SIMON WINTER

Ibirubá, setembro de 2021.

LIDIANA SIMON WINTER

USO DE INIBIDOR DE NITRIFICAÇÃO NA AGRICULTURA BRASILEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado junto ao curso de Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – *Campus Ibirubá* como requisito parcial da obtenção do grau de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Professora Dr^a Daniela Batista dos Santos

Co-orientador: Dr. Jardel Henrique Kirchner

Ibirubá, setembro de 2021.

Aos meus pais, Davi e Susana Winter,
pelo incentivo, dedicação e amor. Com muita
satisfação e orgulho, dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela vida e saúde, por me guiar em meu caminho.

Agradeço ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Campus Ibirubá por todos os ensinamentos na área Agrônômica, e por toda a experiência permitida no Campus onde pude crescer profissional e pessoalmente.

A todos os professores do Campus, mas em especial a Prof. Dr^a. Daniela Batista dos Santos por todo o carinho que sempre teve comigo, mesmo antes de ser minha orientadora. Pela paciência e por todo auxílio até aqui. Minha inspiração profissional e pessoal.

A Prof. Dr^a Raquel Lorensini Alberti, por todas as oportunidades oferecidas durante minha jornada acadêmica, por todos os ensinamentos e por me proporcionar o alcance de conhecimentos que vão além da faculdade. Obrigada por ser uma grande mulher que levarei como inspiração para a vida.

Agradeço ao meu noivo Anderson Lavall pelo apoio e por não me deixar desistir no meio do caminho, me fazendo estudar, e sempre estando ao meu lado pra tudo.

Aos meus queridos amigos de faculdade Tharles Garbin, Fernando Schweig e Paulo de Jesus, por todos os chimarrões e por sempre me ajudarem nos mais difíceis percalços do curso.

A minha amiga de curta data, mas de uma sinceridade enorme, Fabrini Zago, obrigada por não me deixar só nos momentos em que mais precisei. Amo-te.

Sem vocês, não teria chegado até aqui. Obrigada do fundo do meu coração.

RESUMO

O nitrogênio (N) é um elemento essencial para a produção agrícola. Porém, a complexidade do ciclo biogeoquímico do N, por meio das possíveis perdas do nutriente no sistema, somado aos danos ambientais dessa dinâmica e ao elevado custo econômico para produção de fertilizante nitrogenado mineral através da fixação industrial, faz com que alternativas sejam buscadas para aumentar a eficiência da adubação nitrogenada. Uma alternativa é o uso de inibidores de nitrificação, cujo uso agrícola é recente. Assim, essa revisão de literatura buscou elucidar sobre a temática. Foram selecionados 11 artigos para leitura e fichamento e com eles pode-se fazer um estudo de qual tipo de solo, clima, tipo de inibidor de nitrificação e qual a dose utilizada, em especial na cultura do milho na região sul do País. O inibidor mais usado nos estudos é o DCD, pois ele inibe o primeiro estágio de nitrificação, no qual há a oxidação de NH_4^+ para NO_2 , inibindo a atividade da enzima monooxigenase da amônia (MOA), que é responsável pela oxidação do amônio para hidroxilamina. Concluiu-se que dos 11 artigos, que a utilização de IN pode diminuir a emissão de N_2O para o meio ambiente, mas que a adição de inibidor de nitrificação em geral não influencia no teor de N na planta. Os resultados demonstram uso promissor dessas tecnologias e que, provavelmente, serão popularizadas no futuro.

Palavras chave: dicianodiamida, milho, sistema plantio direto, clima subtropical

ABSTRACT

Nitrogen (N) is an essential element for agricultural production. However, the complexity of the N biogeochemical cycle, through the possible losses of the nutrient in the system, added to the environmental damage of this dynamic and the high economic cost of producing mineral nitrogen fertilizer through industrial fixation, means that alternatives are sought to increase the efficiency of nitrogen fertilization. An alternative is the use of nitrification inhibitors, whose agricultural use is recent. Thus, this literature review sought to elucidate the theme. Eleven articles were selected for reading and filing, and with them a study of what type of soil, climate, type of nitrification inhibitor and what dose used can be carried out, especially in maize crops in the southern region of the country. most used in studies is DCD, as it inhibits the first stage of nitrification, in which there is the oxidation of NH_4^+ to NO_2 , inhibiting the activity of the enzyme ammonia monooxygenase (MOA), which is responsible for the oxidation of ammonium to hydroxylamine. It was concluded that from the 11 articles, the use of IN can reduce the emission of N_2O to the environment, but that the addition of nitrification inhibitor in general does not influence the N content in the plant. The results demonstrate promising use of these technologies, which will likely be popularized in the future.

Key words: dicyandiamide, corn, no-tillage system, subtropical climate

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: O ciclo do Nitrogênio.....	21
Figura 2: Mapa de solos do Brasil	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Artigos selecionados para o estudo.....	25
Tabela 2: Condições ambientais, tipo e quantidade de IN utilizado em cada experimento e forma de aplicação.....	33

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Tipo de solos onde foram estudados os experimentos.....	28
Gráfico 2: Região em que os experimentos foram realizados.....	30
Gráfico 3: Culturas analisadas nos artigos	31
Gráfico 4: Inibidor de nitrificação usado nos artigos.....	32

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

® – Marca registrada;

C – Carbono;

C:N – relação carbono:nitrogênio;

CO₂ – Gás carbônico;

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento;

DCD – Dicianodiamida;

DLS – Dejeito líquido suíno;

DMPP – 3, 4-dimetil fosfato pirazole;

FAO – Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação;

ha –Hectare;

IN – Inibidor de nitrificação;

K – Potássio;

N – Nitrogênio;

N₂ – Nitrogênio gasoso;

N₂O – Oxido nitroso;

O₂ – Oxigênio;

NBPT – Nitrapirina;

NH₃ –Amônia (NH₃);

NH₄ –Amônio;

NO₃⁻ – Nitrato;

P – Fósforo;

SPD – Sistema plantio direto;

t – Tonelada;

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1	PRODUÇÃO DE GRANDES CULTURAS: CEREAIS.....	16
2.2	NITROGÊNIO	17
2.2.1	Ciclo do nitrogênio	19
2.2.1.1	Assimilação.....	19
2.2.1.2	Nitrificação	20
2.2.1.3	Desnitrificação.....	21
2.3	INIBIDOR DE NITRIFICAÇÃO.....	21
2.3.1	Nitrapirina	22
2.3.2	Dicianodiamida (DCD)	23
2.3.3	DMPP	23
3	MATERIAIS E MÉTODOS	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5	CONCLUSÕES	37
6	REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, uma em cada nove pessoas no mundo (o que totaliza cerca de 805 milhões de pessoas) não têm comida suficiente para levar uma vida saudável e ativa, de acordo com a FAO (2015). O problema de insegurança alimentar existente hoje é proveniente da impossibilidade das classes mais pobres terem acesso aos alimentos necessários para uma alimentação saudável e balanceada. As projeções de crescimento populacional, do aumento do consumo per capita, da expansão das cidades e das restrições no uso de terra nas próximas décadas fazem mais presente o debate sobre a incapacidade de atender às necessidades humanas por alimentos. Conforme os dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), até 2019 a expectativa de vida subiu, em comparação com 2018, em 3 meses. A expectativa de vida dos homens passou de 72,8 para 73,1 anos e a das mulheres foi de 79,9 para 80,1 anos. Esses números nos mostram que a qualidade da saúde das pessoas está cada vez melhor, com acesso a serviços de saúde e alimentação de qualidade.

A prática da agricultura é, desde a antiguidade, a base de toda a alimentação mundial. É dela também, que milhares de pessoas tiram o seu sustento. Os alimentos básicos, que são fontes de carboidratos e de proteínas, são basicamente de origem vegetal, constituídos por grãos, raízes, tubérculos, oleaginosas e frutos. E, os de origem animal, basicamente carnes de suínos, aves e bovinos, leite, ovos e peixes. Os alimentos de origem vegetal mais importante para a população são os grãos (principalmente arroz, trigo, milho, centeio, soja, cevada, feijão e triticale) que ocupam uma grande área de cultivos, responsáveis por 66% da alimentação mundial e largamente produzido em vários países, desde os tempos mais remotos (SCOLARI, 2005).

Devido ao aumento da demanda desses produtos agrícolas, a agricultura tem buscado alternativas que otimizem o uso das áreas agrícolas, para que o máximo rendimento das culturas seja alcançado sem que haja necessidade de aumento de áreas de cultivo. O uso de engenharia genética para melhoramento vegetal, a prática de irrigação e a nutrição vegetal são exemplos de manejos responsáveis pelo incremento da produção agrícola.

Quanto à nutrição vegetal, entre os 19 elementos químicos essenciais às plantas, destaca-se o nitrogênio (N), que é o nutriente exigido em maiores quantidades pelas culturas, sendo o principal limitante na produtividade de grãos. Aproximadamente 95% do N presente no solo encontra-se em forma orgânica.

Segundo Garcia et.al (2013) o nitrogênio é um elemento essencial para formação dos organismos vivos, por ser componente do ácido ribonucleico (RNA), ácido desoxirribonucleico (DNA) e proteínas. Desta forma, a disponibilidade de nitrogênio em forma assimilável é fundamental para a continuidade da vida no planeta. Muitas espécies vegetais da família das *Fabaceae* obtêm o N via fixação biológica, enquanto que as espécies de *Poaceae* têm na fertilização a principal fonte de fornecimento de N às culturas. No entanto, o N está inserido num contexto complexo, por que ao mesmo tempo em que é o elemento mais importante às culturas, ele possui um ciclo biogeoquímico extremamente dinâmico que envolve diversas transformações e vias de entrada e de saída no ecossistema. Essas vias podem ser sumarizadas por: fixação biológica de N, amonificação, absorção/assimilação, nitrificação e desnitrificação. A fixação do nitrogênio consiste em transformar o nitrogênio gasoso (N_2) em substâncias aproveitáveis pelos seres vivos (amônia (NH_3) e nitrato (NO_3^-)). A amonificação é realizada por bactérias e fungos presentes no solo e consiste em converter o N orgânico em amônio. A nitrificação é o nome dado ao processo de conversão da amônia (NH_3) em nitratos realizado por bactérias aeróbicas do gênero *Nitrossomonas* e *Nitrobacter*. Enquanto a desnitrificação consiste na ação de bactérias desnitrificantes (como, por exemplo, a *Pseudomonas denitrificans*), que são capazes de converter, em condição anaeróbica, os nitratos em nitrogênios molecular, que volta a atmosfera fechando o ciclo. A assimilação pelos cultivos vegetais se dá quando o nutriente estiver nas formas amoniacais (NH_4^+) e nítricas (NO_3^-), preferencialmente na última forma.

Devido a esses processos, o N aplicado no solo está sujeito a perdas como: i) imobilização na biomassa microbiana; ii) escoamento superficial; iii) volatilização da amônia; iv) lixiviação de nitrato e v), e emissão de óxido nitroso, via desnitrificação (ALVA et al., 2006). Soma-se a isso o fato de a absorção de N pelas culturas ser muito variável e altamente dependente da espécie e variedade cultivada, idade da cultura no momento da aplicação, da produção, do teor de N assimilável no solo, entre outros fatores (MELLO et. al., 1989). Dessa forma, apenas parte do N proveniente do fertilizante é absorvido pelas plantas e o restante é perdido para o ambiente (lençol

freático ou atmosfera). Assim, busca-se alternativas (manejos, produtos e/ou substâncias) que minimizem essas perdas e aumentem a eficiência do uso desse nutriente/fertilizante, demanda por fertilizantes no mundo deve chegar a quase 200 milhões de toneladas em 2021, segundo dados da Associação Internacional de Fertilizantes. O número representa uma alta de 1,5% ao ano (PECCI, 2021)

Uma dessas alternativas é o uso de inibidores de nitrificação (IN), que são compostos bacteriostáticos, ou seja, têm efeito sobre o metabolismo das bactérias nitrificadoras e, por conseguinte, retardam a oxidação de NH_4^+ . Em teoria, ao abrandar a nitrificação em solos sob condições aeróbicas pode-se melhorar a eficiência de uso do N, pois com menos NO_3^- no solo, as perdas através de lixiviação e desnitrificação são reduzidas (SAHRAWAT e KEENEY, 1985). Minimizar a taxa de nitrificação até a cultura primária se encontrar na sua fase logarítmica de crescimento é uma estratégia interessante, pois oportuniza que a planta absorva NH_4^+ . Além disso, uma cultura de crescimento rápido pode absorver a maior parte da água a partir de precipitação/irrigação, diminuindo o risco de NO_3^- lixiviar (DINNES et al., 2002).

Numerosos compostos têm sido propostos e patenteados como inibidores de nitrificação. Dos inibidores da nitrificação, apenas alguns foram avaliados em condições de campo visando testar sua eficácia no controle da nitrificação em solos e do efeito das condições ambientais sobre essa eficiência. Apenas alguns são citados como eficientes, especialmente nos Estados Unidos, Europa e Japão. Entre esses, a nitrapirina e dicianodiamida (DCD) ganharam substancial importância prática e comercial na produção de culturas agrícolas e hortícolas. O 3, 4-dimetil fosfato pirazole (DMPP) foi recentemente lançado e recomendado para adoção em larga escala na Europa e tem as vantagens sobre a facilidade de aplicação, persistência, a estabilidade e eficácia do efeito inibidor por períodos mais longos sob temperaturas relativamente mais elevadas.

No entanto, em nível de Brasil, cuja condição é de clima subtropical e os solos são manejados sob sistema plantio direto (fatores que influenciam diretamente o processo de nitrificação), há carência de informações sobre o uso de inibidores de nitrificação. Além disso, o País é um grande produtor mundial de grãos e, portanto, grande consumidor de N. De modo que, reunir pesquisas sobre esse tema e compilar seus resultados podem melhorar a utilização desse nutriente e contribuir no avanço do estado da arte dessa temática. Assim, objetivou-se realizar uma revisão de

literatura sobre o uso de inibidores de nitrificação em culturas anuais, especialmente em cereais, como milho, trigo, aveia, no Brasil.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PRODUÇÃO DE GRANDES CULTURAS: CEREAIS

De acordo com a EMATER, o Estado do Rio Grande do Sul na safra 20/21 teve uma área plantada de milho de 751.753 ha, e uma produção que totalizou 4.150.697 toneladas de milho grão. A região do estado com a maior produtividade foi a de Passo Fundo, onde totalizou cerca de 8.250 kg ha⁻¹, com uma área de cultivo com cerca de 67.290 ha. Já para a produção de trigo, o Estado teve um aumento de 23% na área total de plantio, em 2020 foram ocupados 930,2 mil ha para a semeadura do trigo e em 2021, 1.145,1 mil ha. A expectativa de produção prevê um aumento de 67,3% em 2021 um total aproximado de 3,781,1 mil toneladas.

Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) na safra 2020/2021, no Brasil, 19,8 milhões de hectares foram destinados ao plantio do milho, onde desses, foram colhidos 86.650,1 mil t de milho grão. Uma redução de 15,5% em produção e 21,1% em produtividade em relação ao alcançado na safra 20/21.

A estimativa brasileira para a produção de trigo na safra 21/22 é de 7,7 milhões de toneladas. O Brasil está na 15ª posição no ranking mundial de produção de trigo de acordo com a USDA (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos) (CONAB, 2021).

A estimativa de produção mundial de milho grão na safra 20/21 ficou em 1.186 bilhões de toneladas, no qual se obteve um aumento de 4% em relação à safra 19/20, de acordo com o Conab (2020).

O milho tem um alto potencial produtivo e é bastante responsivo à tecnologia, sendo também a espécie vegetal mais utilizada em pesquisas genéticas (MILHO, 2009). O milho é considerado como planta C4, sendo extremamente eficiente na conversão de CO₂, apresentando altas taxas de fotossíntese líquida, mesmo em elevadas taxas de luz (ALVES, 2007).

Deste modo, na moderna agricultura, para se alcançar rendimentos máximos nos cultivos de cereais, como o milho e o trigo, são necessárias abundantes

quantidades de fertilizantes, especialmente também os nitrogenados. A disponibilidade de N no solo, para as Poaceae, é controlada, basicamente, pela decomposição da matéria orgânica e por adubações nitrogenadas, sendo que, quando são utilizadas culturas com baixa relação C:N na matéria seca, em rotação ou sucessão, aliada ao manejo de incorporação dos restos culturais, a decomposição e a mineralização são mais rápidas e a ciclagem de N ocorre em curto espaço de tempo (SILVA et al. 2006).

A fixação biológica do nitrogênio (FBN) é um processo realizado por alguns grupos de microrganismos, que apresentam a enzima nitrogenase funcional, a qual será posteriormente utilizado como fonte de nitrogênio (N) para a nutrição das plantas. A FBN se constitui na principal via de incorporação do nitrogênio à biosfera e depois da fotossíntese é o processo biológico mais importante para as plantas e fundamental para a vida na Terra, uma cultura que consegue realizar esse processo é a cultura da soja, e por isso que não necessita de adubação nitrogenada como complemento para aumento de produção e de fitomassa (EMBRAPA 1990)

A importância econômica dessas culturas é caracterizada pelas diversas formas de sua utilização, que vai desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia. Na realidade, o uso do milho em grão como alimentação animal representa a maior parte do consumo desse cereal, isto é, cerca de 70% no mundo. Já para o uso do trigo, a farinha é o principal derivado, e dela é que fazemos pães, bolos e inúmeras receitas para a alimentação. Outro derivado do trigo é a cerveja. (EMBRAPA, 2010).

2.2 NITROGÊNIO

O Nitrogênio (N) é a matéria-prima básica para a produção de fertilizantes nitrogenados, como amônia e ureia. Para a fabricação da amônia necessita-se da reação do nitrogênio, prontamente disponível no ar, com o hidrogênio, que pode ser obtido de fontes diversas – gás natural, nafta, carvão, resíduos asfálticos. E a ureia, seria o N na forma amídica (NH_2). No Brasil, assim como na maioria dos países, a principal fonte de hidrogênio é o gás natural, cujo preço no país é elevado em comparação ao restante do mundo (BNDES, 2010).

Segundo Büll (1993 *apud* SORATTO 2009) O nitrogênio (N) é o principal macronutriente para as plantas e é fundamental no metabolismo vegetal, participando diretamente na biossíntese de proteínas e clorofilas, sendo um dos nutrientes que apresenta os efeitos mais significativos no aumento da produtividade da cultura do milho.

É o nutriente requerido em maior quantidade pelos cereais, mas entre eles, a cultura que mais demanda é a do milho. Em épocas em que as condições climáticas são favoráveis à cultura, a quantidade de N requerida para otimizar a produtividade de grãos pode alcançar valores superiores a 150 kg ha^{-1} , o que justifica a necessidade de se usar fertilizantes nitrogenados para fornecer N para a cultura e repor o N do solo (AMADO et al., 2002). Atualmente, o valor da tonelada da ureia está sendo encontrado no valor aproximado de R\$ 2.350,00, esse valor pode ser maior em outras regiões devido o valor do frete, que encarece o produto. Então, se for aplicado 150 kg ha^{-1} de ureia, serão investidos aproximadamente R\$ 350,00 reais por hectare.

Logo, o montante de fertilizante utilizado nas lavouras do país ultrapassa 13.000.000 mil toneladas de fertilizante, onde se for utilizado apenas ureia, onde a mesma possui um teor de N de 45%, a quantidade de N colocada no solo brasileiro é aproximadamente 5.850.000 mil toneladas de nitrogênio. Devido ao tamanho do montante de fertilizantes, pode-se fazer uma analogia a sua importância, que é de grande valia para culturas como a do milho, pertencente à família das Poaceae. O N está diretamente ligado à produção de biomassa e de grãos. A adubação nitrogenada pode ser feita em parceladas, sendo que uma parte deve ser realizada logo na semeadura, e a outra parte em cobertura, antes da fase V5, para auxiliar na definição de fileiras e enchimento de grãos.

Atua como regulador de diversos processos do metabolismo vegetal, possuindo considerável influência na utilização de potássio (K) e fósforo (P). Nos cereais, o N aumenta o enchimento de grãos e o teor de proteínas. A importância do nitrogênio é conhecida pelas funções exercidas no metabolismo das mesmas, participando como constituinte de proteínas, citocromos, clorofilas, dentre outros, além de ser considerado um dos fatores mais relevantes para o aumento da produção, por influenciar a taxa de emergência e expansão da área foliar, como é citado por Taiz & Zeiger (2009).

A produtividade primária do vegetal depende, em grande parte, da capacidade que a planta tem de adquirir, metabolizar e utilizar assimilados de carbono e

nitrogênio. Para cereais em geral há uma relação carbono-nitrogênio de aproximadamente 30%, demonstrando a importância da atividade fotossintética durante o crescimento e desenvolvimento das plantas (FERREIRA et al., 2001).

2.2.1 Ciclo do nitrogênio

O ciclo do nitrogênio começa com a transformação do N_2 da atmosfera em outros compostos nitrogenados. Essa transformação é denominada de processo de fixação, que pode ser físico, industrial ou biológico. A fixação biológica ou biofixação, por sua vez, é a fixação de nitrogênio por microrganismos, sendo essa a forma mais comum de fixação. Nesse tipo de fixação, bactérias podem converter o nitrogênio gasoso em amônia (NH_3) ou íons amônio (NH_4^+).

Na fixação biológica, destaca-se a ação das bactérias do gênero *Rhizobium*. Bactérias desse gênero associam-se a plantas fabaceae, vivendo em nódulos de suas raízes. Essa relação estabelecida é um tipo de mutualismo, uma vez que ambas são beneficiadas. Enquanto as plantas fornecem proteção e alimento, as bactérias fornecem-lhe o nitrogênio. Ao morrerem, essas plantas liberam o nitrogênio de suas moléculas orgânicas na forma de amônia (NH_3).

2.2.1.1 Assimilação

O nitrogênio chega ao esgoto doméstico basicamente sob duas formas: (1) ureia, resultante da metabolização das proteínas e excretada na urina e (2) proteínas não assimiladas, excretadas nas fezes. A ureia é rapidamente hidrolisada por bactérias, sob condições aeróbias ou anaeróbias, pela ação da enzima urease, gerando amônia e gás carbônico.

Segundo BITTON (1994) as proteínas são convertidas a moléculas mais simples, peptídeos ou aminoácidos, pela ação de enzimas extracelulares produzidas por bactérias proteolíticas. Na sequência, ocorre o processo de desaminação, que dependendo das condições ambientais será oxidativa ou oxidativa-redutiva, intermediadas por bactérias aeróbias ou anaeróbias. Ambas as reações produzem íon amônio (NH_4^+) e ácidos orgânicos.

Segundo van Haandel e van der Lubbe (2007 *apud* SANTOS 2009), o processo de amonificação é a conversão de nitrogênio orgânico em íon amônio, considerando que o processo inverso, a conversão de amônio em nitrogênio orgânico, é chamado assimilação bacteriana ou, assimilação.

2.2.1.2 Nitrificação

O nitrogênio pode ainda ser oxidado em nitritos e nitratos, em um processo conhecido como nitrificação, que conta com a ajuda de bactérias nitrificantes (*Nitrosomonas* e *Nitrobacter*). O processo de nitrificação se dá pela oxidação biológica da amônia, tendo como produto final o nitrato. Esse processo ocorre devido ao trabalho de bactérias específicas e em duas etapas. No primeiro passo, a amônia é oxidada para nitrito através da ação bioquímica das bactérias do gênero *Nitrosomonas*. No passo seguinte, a oxidação de nitrito para nitrato é mediada por bactérias do gênero *Nitrobacter*. Essas bactérias só se desenvolvem se estiverem em meio aeróbico, ou seja, na presença de oxigênio. Esse processo está exemplificado na figura 1.

Segundo VAN HAANDEL e MARAIS (1999 *apud* BUENO 2011) em temperaturas baixas ($< 20^{\circ}\text{C}$), a nitratação é muito mais rápida que a nitrificação, de modo que se pode considerar que a nitratação é imediata e a acumulação de nitrito sempre será muito pequena em sistemas sob condições estacionárias. Em contraste, em temperaturas elevadas ($> 25^{\circ}\text{C}$) a nitratação é mais rápida que a nitrificação, e por essa razão pode haver acumulação de nitrito quando se cria condições adequadas.

O Ciclo do Nitrogênio

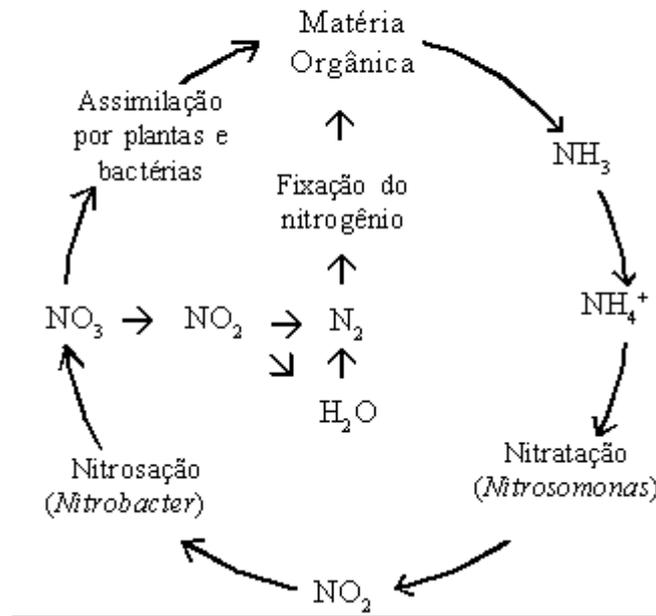


Figura 1: O ciclo do Nitrogênio

Fonte: Panorama da aquicultura

2.2.1.3 Desnitrificação

O processo de desnitrificação pode ser realizado por bactérias quimiorganotróficas e fototróficas e por alguns fungos. Muitas espécies são capazes de usar oxigênio no metabolismo e, na ausência de oxigênio, reduzem nitrato (NO_3^-) no metabolismo denominado anóxico. Desse modo, a mesma biomassa pode ser usada em processo aeróbio/anóxico para remoção de carbono e nitrato (NO_3^-). O termo anóxico refere-se a uma via metabólica oxidativa sem utilização do oxigênio.

2.3 INIBIDOR DE NITRIFICAÇÃO

Inibidores da nitrificação (IN) são compostos que podem atrasar ou tornar mais lento o primeiro passo do processo da nitrificação, por meio da interferência na atividade dos microrganismos responsáveis pela redução do amônio a nitrito (TRENKEL, 2010).

A utilização de inibidores de urease e de nitrificação são tecnologias que vem sendo testadas para aumentar a eficiência da adubação nitrogenada. A primeira,

reduz as chances de perdas de N por volatilização, por promover um retardamento na ação da enzima urease. A segunda, inibe a ação das bactérias nitrosomonas (BUNDICK et al., 2009 *apud* SOARES 2017), promovendo atraso na conversão do amônio em nitrato e, com isso, a planta pode atingir a fase de maior crescimento proporcionando a esta, maior oportunidade de absorver o nutriente, evitando maiores perdas.

Uma das formas de aumentar a eficácia de utilização do N é controlar a solubilidade dos fertilizantes nitrogenados, desenvolvendo produtos de baixa solubilidade ou com decomposição de forma gradual. Outra forma é combinar os fertilizantes com produtos químicos inibidores da nitrificação ou da hidrólise da uréia (Hauck, 1985 *apud* LANA 2008).

Quando incorporados a fertilizantes nitrogenados aplicados ao solo, os IN atrasam a transformação de NH_4^+ a NO_2^- prevenindo ou retardando a atividade de bactérias do gênero *Nitrosomonas*. Possibilitando assim, a permanência do N na forma amoniacal por mais tempo, o que pode trazer vantagens para a agricultura e meio ambiente.

Das vantagens do uso de inibidores de nitrificação pode-se elencar: i) a aplicação de inibidores de nitrificação com fertilizantes à base de ureia é uma abordagem promissora para melhorar o gerenciamento de N na agricultura; ii) aumentar a eficiência do uso de N nas lavouras diminuindo a carga de nitrato nas águas subterrâneas e a eutrofização da superfície e águas costeiras (Singh e Verma, 2007); iii) Liberação de N_2O para a atmosfera é reduzida (Verma, Tyagi, e Singh, 2008 *apud* Singh e Verma 2007).

Segundo IRIGOYEN et al (2006 *apud* BARTH 2009) o uso de inibidores de nitrificação, além de promover uma menor perda de N por lixiviação, pode ser usado para reduzir o acúmulo de nitrato nas plantas, em especial as de consumo in natura.

Alguns inibidores de nitrificação já foram estudados e avaliados em condições de campo por sua eficácia no controle nitrificação em solos, e destes apenas alguns foram adotados em certas medidas nos Estados Unidos, Europa e Japão. Seriam os inibidores estudados, a nitrapirina e o DCD (dicianodiamida).

2.3.1 Nitrapirina

Nitrapirina foi desenvolvido pela Dow Chemical Company e comercializada sob o nome comercial © N-Serve como um estabilizador de nitrogênio. Nitrapirina [2-cloro-6- (triclorometil) piridina] é solúvel em solventes orgânicos (tais como acetona, etanol, tolueno, xileno e cloreto de metileno) e amônia anidra. Nitrapirina tem sido extensivamente utilizado como estabilizador de N na América do Norte, onde ele é injetado diretamente no solo misturado com amônia anidra, como o N portador (Slangen e Kerkhoff, 1984 *apud* SUBBARAO 2006).

Decomposição de nitrapirina no solo é normalmente completa dentro de 30 dias em solos quentes que são favoráveis ao crescimento das culturas. No entanto, nitrapirina é muito persistente e estável em solos de clima frio.

2.3.2 Dicianodiamida (DCD)

DCD é solúvel em água, não volátil (ao contrário nitrapirina) e apropriado para utilização como revestimentos de fertilizantes nitrogenados sólidos, tais como ureia, e sulfato de amônio ou para incorporação com fertilizantes azotados sólidos como um estabilizador (ODDA, 1995 *apud* SUBBARAO 2006). DCD atua como bacteriostático, ou seja, têm efeito sobre o metabolismo das bactérias nitrificadoras, retardando sua atividade biológica. A dicianodiamida é classificado como um fertilizante de liberação lenta.

2.3.3 DMPP

O 3, 4-dimetilpirazol-fosfato, é um inibidor de nitrificação recentemente desenvolvido pela BASF, é considerado altamente específico na inibição da nitrificação ao longo de um período de 4 a 10 semanas a taxas de 0,5 a 1,0 kg do composto ativo ha⁻¹. Como outros inibidores de nitrificação, como nitrapirina e DCD, DMPP é persistente e eficaz na inibição da nitrificação em 5°C; no entanto, a 20°C o efeito inibidor de DMPP dura apenas durante 40 dias (Zerulla et al., 2001 *apud* SUBBARAO 2006).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dessa pesquisa, que se caracteriza como uma revisão bibliográfica, foi utilizada a plataforma CAPES, que reúne acesso para artigos acadêmicos, onde para se ter acesso deve-se entrar na aba “busca de dados”, depois a pesquisa é direcionada por “área de conhecimento” e a partir disso, pesquisa-se por ciências agrárias e agronomia, onde obtém o acesso a 77 bases disponíveis no site de periódicos científicos e está disponível para acesso no link: <https://www.periodicos.capes.gov.br/>.

A busca por artigos para esse trabalho foi composta pelas palavras chave: i) Inibidor de nitrificação; ii) Dicianodiamida; iii) Nbpt; iv) Nitrification inhibitors. O critério para seleção do trabalho foi de que esse tenha sido desenvolvido no Brasil. Inicialmente, foi feita essa busca, sem limitação por data. Após, foram selecionados os artigos publicados mais recentemente. Teve-se como critério data de publicações, onde foram selecionados àqueles entre os anos 2010 a 2020. Também foram selecionados os artigos realizados no Brasil.

Assim, foram confeccionadas tabelas que reúnem e resumizam os principais resultados, como: a) cultura em que foi estudada b) solo do local c) região do país que foi feito o experimento d) condição ambiental e) inibidor de nitrificação e dose utilizada, que são apresentados por esses materiais. Também foi confeccionada uma tabela com o título do trabalho pesquisado, autor, data de publicação, onde foi publicado o artigo e qual a Instituição de Pesquisa do referente trabalho. Também, foram compilados os principais apontamentos do ponto de vista positivo e negativo sobre o uso de inibidores de nitrificação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos 127 artigos encontrados na busca inicial através da plataforma da CAPES, usando as palavras chaves i) DCD ii) NBPT iii) Inibidor de nitrificação e iv) Nitrification inhibitors, foram selecionados 11 (onze) publicações para leitura e análise. Para a seleção dos artigos foram utilizados os critérios: a) os experimentos deveriam ser realizados no Brasil, b) com data de publicação entre os anos de 2010 a 2020 e c) que contivessem dados significativos dos inibidores de nitrificação, onde o DCD seria mais apropriado para utilização como revestimentos de fertilizantes nitrogenados sólidos; o DMPP seria mais específico na inibição da nitrificação ao longo de um período; e NBPT que seria utilizado como estabilizador de N. Todos os artigos selecionados referiam-se a publicações brasileiras, independentemente do idioma apresentado.

Os artigos selecionados, juntamente com descrições de autor, local de publicação, ano de publicação e Instituição de Pesquisa, estão apresentados na tabela abaixo:

Tabela 1: Título dos artigos, autores, local de publicação, ano de publicação e Instituição de Pesquisa onde foram realizados os experimentos.

Título	Autores	Local de publicação	Ano de publicação	Instituição de Pesquisa
Doses e fontes alternativas de nitrogênio no milho sob plantio direto em solo arenoso	Rogério Peres Soratto et al.	Ciência e Agrotecnologia	2011	UEMS

Perdas por Johnny de Rodriguez S Soares, et al.	Soil Biology and Biochemistry	Elsevier	2012	IAC
volatilização da ureia aplicada na superfície com urease e inibidores de nitrificação				
Teor de nitrogênio inorgânico no solo em função de plantas de cobertura, fontes de nitrogênio e inibidor de nitrificação	Edemar Moro, et al.	Revista UFG	2013	Unesp
Variabilidade temporal das comunidades microbianas do solo após a aplicação de chorume de suínos tratados com dicianodiamida e fertilizantes minerais	Afnan Suleiman et al.	Soil Biology and Biochemistry	2015	UFSM
Elsevier				
Reduzindo as emissões de óxido nitroso de milho e trigo sequência diminuindo a concentração de nitrato do solo: efeitos de aplicação dividida de dejetos de porco e dicianodiamida	Celso. Aita et al	European Journal of Soil Science	2015	UFSM
Fertilizantes orgânicos, organominerais e minerais com inibidores de urease e nitrificação para trigo e milho sob plantio direto	Juliano Corulli Corrêa, et al.	Pesquisa Agropecuária Brasileira	2016	Embrapa Suínos e Aves
Dicianodiamida como inibidor da nitrificação	Rogério Gonzatto	Revista Ciência Rural	2016	UFSM

do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos de suínos no solo					
Influência da adubação com dejetos suíno e mineral adicionada de inibidor de nitrificação sobre a produtividade e a nutrição de milho	Carmem Thayse de Freitas Alves	Revista de Ciências Agroveterinárias	2016	UFSM	
Acumulo de nitrogênio pelo milho em função do modo de aplicação dos dejetos líquidos de suíno e do uso de inibidor de nitrificação	Cristian Mateus Freiberg, et al.	Equipe Mais Soja	2017	UFSM	
Remoção de resíduos de cultura e aplicação de inibidor de nitrificação como estratégias para mitigar as emissões de N₂O nos canaviais	Leandro Carolino Gonzaga, et al.	Biomass and Bioenergy - Elsevier	2018	IAC	
Fatores de emissão de óxido nitroso da urina e esterco de gado, e dicianodiamida (DCD) como estratégia de mitigação em pastagens subtropicais	Priscila Luzia Simon, et al.	Agriculture, Ecosystems and Environment - Elsevier	2018	UFPR	

Com a tabela acima podemos perceber que a região Sul é a que mais apresenta artigos relacionados a temática, o que pode ser explicado pelo clima favorável às *Poaceas*, onde mais especificamente, o estado do Rio Grande do Sul é produtor de milho no verão, e no inverno, de trigo e aveia. Nessa família botânica há maior

necessidade de fornecimento de N e o principal objetivos dos artigos que foram pesquisados seriam o de avaliar o teor de N na planta, e se ela perderia ou não N após a utilização de inibidores de nitrificação. A necessidade de N requerida pelas plantas otimiza a produtividade de grãos podendo alcançar valores de N superiores a 150 kg ha^{-1} , o que justifica a necessidade de se usar fertilizantes nitrogenados para fornecer N para a cultura e repor o N do solo (AMADO et al., 2002).

Os grupos de pesquisa da Universidade de Santa Maria (UFSM) vêm desde 2012 pesquisando em vários tipos de solo e com vários experimentos, o uso de inibidores de nitrificação interligado ao uso de dejetos de suíno líquido (DSL). Outras Instituições de pesquisa, como a IAC (Instituto Agrônomo de Campinas), Embrapa, entre outros, também seguem esse trabalho de reunir mais informações sobre os IN.

De todas as informações contidas nas publicações, após leitura e fichamento, foram colhidos os dados das publicações e selecionado alguns tópicos que serão apresentados em gráficos.

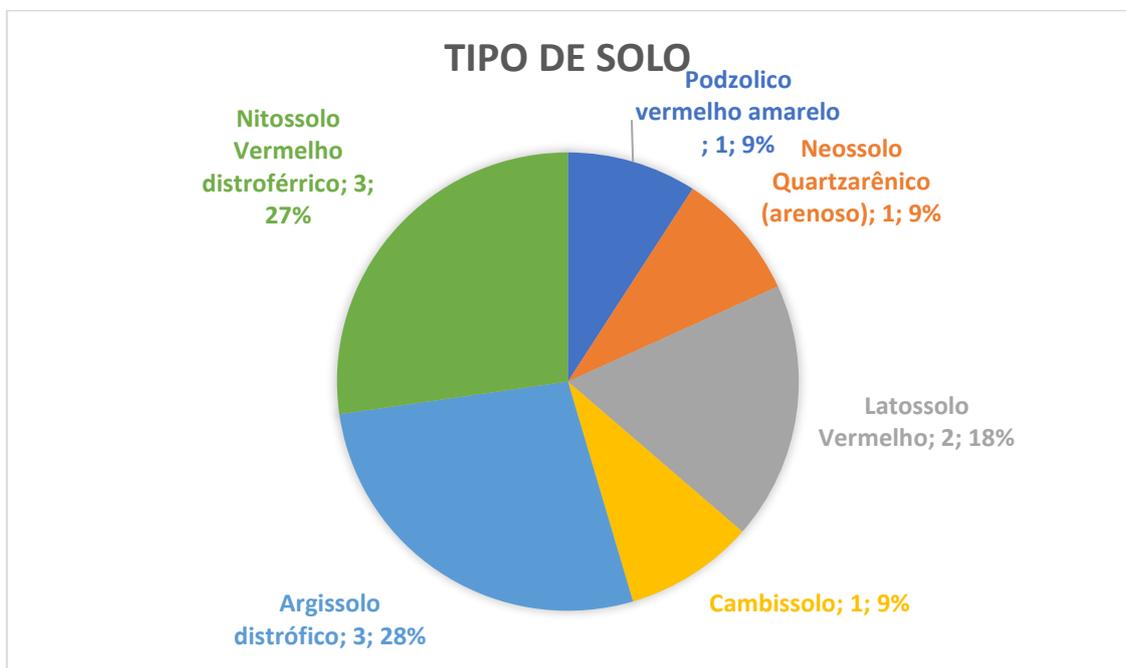


Gráfico 1: Tipo de solos onde foram estudados os experimentos

Ao analisar os dados, e compará-los com o Mapa de Solos do Brasil (Imagem 2), pode-se perceber que o Latossolo é o solo mais abundante do país e o Nitossolo o menos abundante, onde o mesmo é encontrado em poucos estados, como RS, SC,

PR, PA, MA, GO, RO e MG. Em nosso estado (Rio Grande do Sul) há uma enorme variedade de tipos de solo, mas onde os estudos foram realizados, o solo que foi mais estudado foi o Nitossolo e o Argissolo, onde este último é encontrado em praticamente todos os estados.

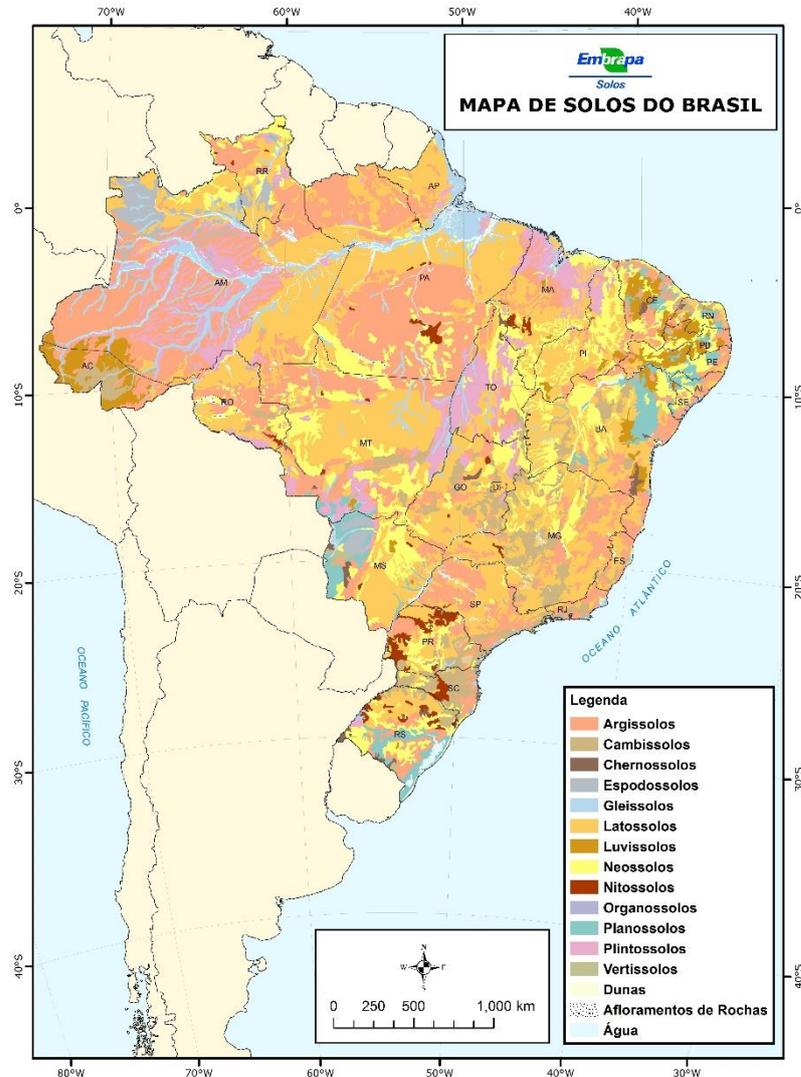


Figura 2: Mapa de solos do Brasil

Fonte: Embrapa Solos

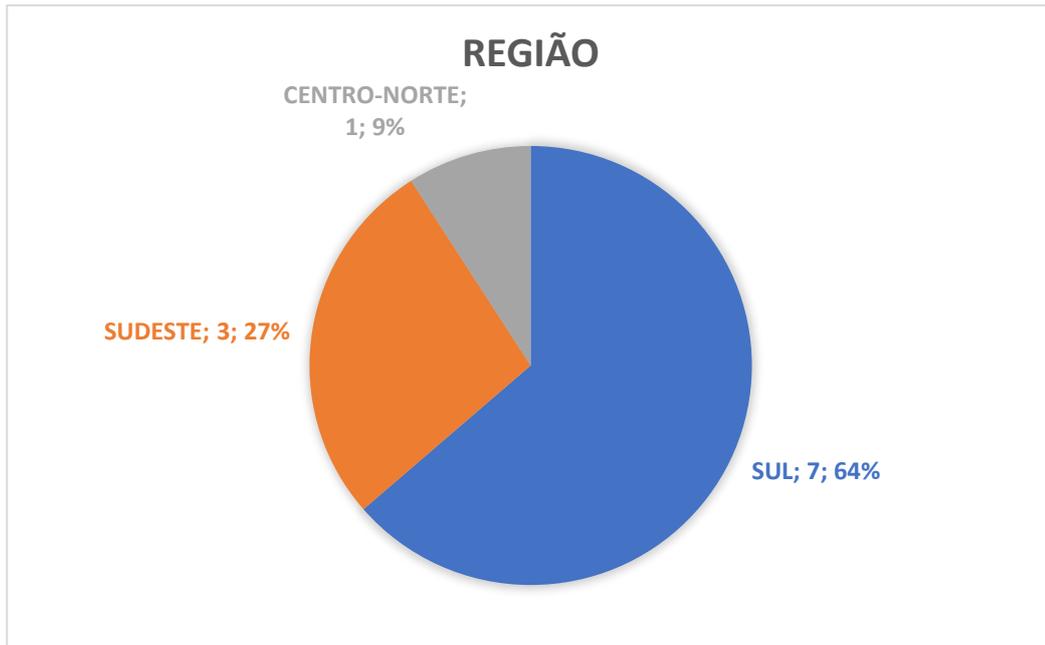


Gráfico 2: Região em que os experimentos foram realizados.

Por se tratar de culturas anuais, de clima temperado e que durante o período de germinação, as temperaturas ideais do solo para a cultura de milho estariam entre 25°C e 30°C, sendo que temperaturas do solo inferiores a 10°C ou superiores a 40°C ocasionam prejuízo sensível à germinação (Embrapa), as *Poaceas* são cultivadas em maior quantidade no sudoeste e no sul do País, verificou-se que o milho obteve maior produção de matéria seca e maior rendimento de grãos na temperatura de 21°C (Embrapa). De acordo com os dados, as regiões que mais estudam as *Poaceas* são as regiões Sul e Sudeste, onde o clima auxilia na produção de trigo, aveia e milho por exemplo. Os trabalhos na região Sul totalizam 7 (sete), comparando ao Centro-oeste, que possui 1 (um) artigo pesquisado e listado. As *Poaceas* são muito responsivas ao fornecimento de N e a necessidade de aplicação de N nas culturas de milho e trigo por exemplo são de suma importância para um melhor crescimento e desenvolvimento e por fim, resultando em maior produtividade e rentabilidade para os produtores.

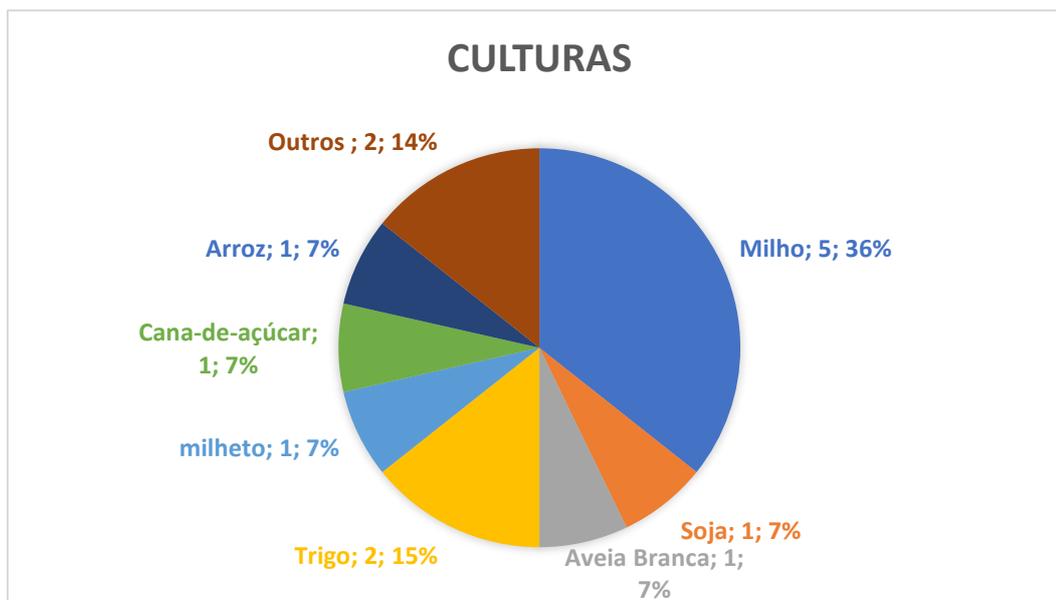


Gráfico 3: Culturas analisadas nos artigos

Em termos de modernização da agricultura brasileira, a utilização do Sistema de Plantio Direto (SPD) é uma realidade inquestionável e a participação da cultura do milho em sistemas de rotação e sucessão (safrinha) de culturas para assegurar a sustentabilidade desse sistema de produção é fundamental (Embrapa). Ainda de acordo com a Embrapa a rotação milho-soja tem-se mostrado vantajosa, promovendo aumento no rendimento de ambas as culturas, e espera-se que esses benefícios também ocorram com a safrinha, que, na realidade, é uma sucessão dessas duas culturas.

O nitrogênio determina o desenvolvimento das plantas de milho e de trigo, com aumento significativo na área foliar e na produção de massa de matéria seca, resultando assim em maior produtividade de grãos. A maior parte das perdas de N ocorre por desnitrificação e/ou volatilização da amônia, especialmente quando a fonte utilizada é a ureia (Yamada & Abdalla, 2000 *apud* Soratto 2011).

Nos estados da região Sul foram utilizadas nos estudos as seguintes culturas: trigo e milho. Pode-se perceber que essas culturas foram selecionadas pela espécie e pela adaptação climática das mesmas. A quantidade de N requerida e fornecida pelas culturas foram supridas com vários tipos de fertilizantes, como ureia, cama de aviário, dejetos líquidos suínos e adubo, com diferentes doses e tratamentos, respeitando cada tipo de estudo. De acordo com Correa (2016) fertilizantes organominerais aumentam o rendimento total de grãos de milho e de trigo comparado a outros fertilizantes.

Já nas regiões Sudeste e Centro-norte, onde o clima predominante é o tropical semiúmido, as espécies estudadas são a cana de açúcar, soja e arroz no sudeste, e milho e milheto no centro-norte. As condições ambientais dos locais onde foram realizados os estudos, juntamente com o tipo de fertilizante utilizado e sua respectiva dose e método de aplicação serão apresentados na Tabela 2.

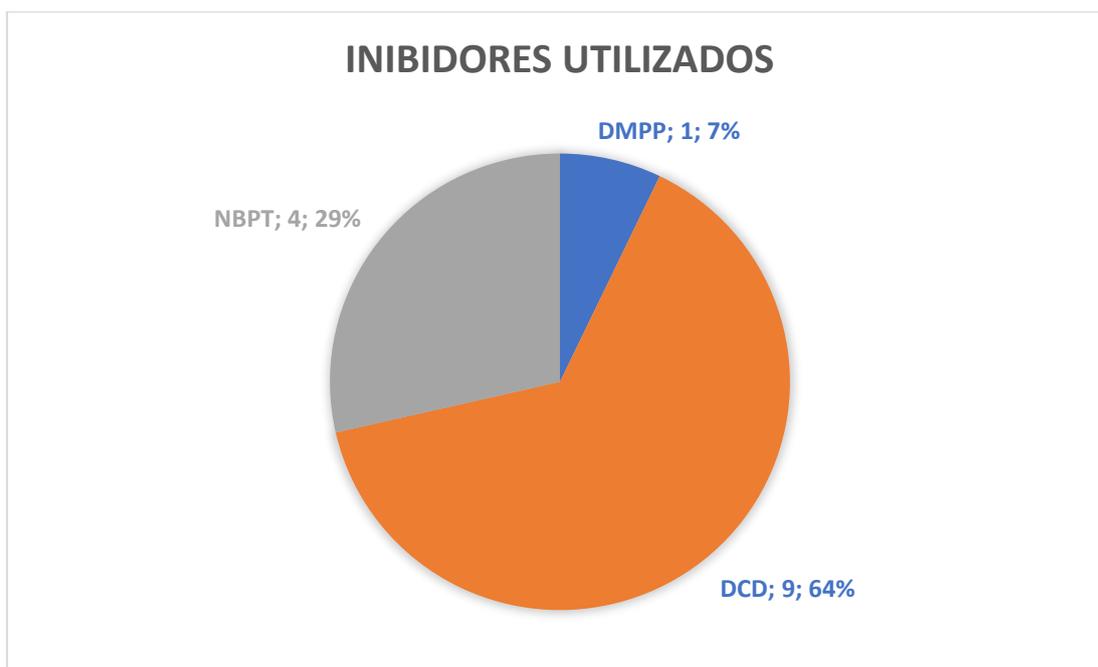


Gráfico 4: Inibidor de nitrificação usado nos artigos

As perdas de N da adubação também podem ser diminuídas pelo uso de IN, como a dicianodiamida (DCD), que tem efeito bacteriostático, inibindo o crescimento das bactérias ao meio, e atinge mais especificamente o gênero *Nitrossomonas* retardando o processo de nitrificação (DI & CAMERON 2004). O inibidor mais usado nos estudos é o DCD, pois ele inibe o primeiro estágio de nitrificação, onde a oxidação de NH_4^+ para NO_2 inibindo a atividade da enzima monooxigenase da amônia (MOA), que é responsável pela oxidação do amônio para hidroxilamina. Outra vantagem da escolha e utilização de DCD é o menor custo, em relação a outros inibidores como a nitrapirina, e a alta solubilidade em água, possibilitando que seja aplicado de forma líquida, além de ser menos volátil que a nitrapirina, se decompor em NH_4^+ e CO_2 no solo e ser classificado como substância não tóxica (DI & CAMERON 2004).

Tabela 2: Condições ambientais, tipo e dose de IN utilizado em cada experimento e forma de aplicação.

Condições ambientais	Fonte	IN + DOSE USADA	Fertilizante e dose	Forma como foi adicionado o fertilizante
Inverno seco e verão quente e chuvoso	Moro, 2013	DCD 10*	Adubo 00-20-20	Superficial
Subtropical úmido	Corrêa, 2016	NBPT e DCD 4 kg mg ⁻¹	Cama de aviário	Superficial
Subtropical úmido	Sorato, 2011	DMPP 3%*	Ureia 45% N/ 0, 45 ,90 e 180 kg ha ⁻¹	Superficial
Subtropical de inverno seco e verão quente	Gonzaga, 2018	DCD 7kg ⁻¹	N (não foi informado qual o fertilizante)	Superficial
Subtropical de inverno seco e verão quente	Suleiman 2016	DCD 10%*	Chorume suíno 130 e 140 kg de N total	Superficial
Subtropical mesotérmico úmido	Simon, 2018	DCD 100%*	Urina bovina	Pulverizado
Ambiente controlado	Soares, 2012	DCD 10%, DCD 5%, NBPT+ DCD 10%*	Ureia/465g/kg de N	Superficial
Subtropical úmido	Aita, 2015	DCD 81%**	Ureia 45kg de N ha ⁻¹	Superficial
Mesotérmico úmido, com verão ameno	Alves, 2018	DCD 81%** + NBPT 10kg ha ⁻¹	Dejeto Líquido Suíno 40m ³ ha ⁻¹ / NPK 130, 185 e 70 kg ha ⁻¹	Superfície e incorporado
Subtropical úmido	Freiberg 2018	DCD***	Dejeto Líquido Suíno	Superficial
Subtropical úmido	Gonzatto, 2016	DCD 81%** + NBPT 6,5%	DLS	incorporação

*quantidade em relação ao N aplicado

** Produto comercial AgrotainPlus®

*** sem dose informada

Após reunir os dados dos artigos lidos para esse trabalho foram reunidas e compiladas as seguintes conclusões sobre os inibidores de nitrificação.

De acordo com os artigos, pôde-se observar que houve reduções de oxidação do amônio a nitrato, onde foi destacado que fazer o uso de DCD pode ser uma técnica importante para retardar a nitrificação no solo, ainda mais em culturas de grande exigência de N, onde o equilíbrio de nitrato e amônio são essenciais principalmente em SPD, onde a nitrificação é favorecida. Também é destacado que o DCD pode reduzir a emissão de N_2O particularmente em estações frias, e com isso afirma a sua utilização em culturas como trigo e milho.

Alguns trabalhos, como por exemplo o de Gonzatto 2016, sugerem que seja feito o tratamento de dejetos líquidos suíno (DLS) com DCD, para resultar em melhor absorção de DLS minimizando perdas ao ambiente, e assim, controlando as perdas de N após a aplicação de DLS ao solo. Ao adicionar DCD ao dejetos líquidos suíno pode resultar em inibição eficiente da nitrificação e redução nas perdas de N_2O e NO_3^- do solo na cultura do trigo. Já na cultura do milho quando realizado essa mistura não foi eficiente em reduzir as emissões de N_2O e NO_3 devido a incorporação anterior.

A adição de inibidor de nitrificação aumenta a produção de fitomassa da parte aérea do milho quando feita a aplicação superficial de NPK+DCD, quando comparado a incorporação ao solo. Correa (2016) diz que o uso de orgânicos, organominerais e minerais fertilizantes, com ou sem urease e nitrificação inibidores, aumenta o conteúdo de N disponível na camada de solo de 0,00–0,05 m; no entanto, em camadas mais profundas, apenas o fertilizante organomineral + inibidores, camada de 0,05-0,10 m, e inibidor de super ureia + urease, na camada de 0,10–0,20 m, são superiores ao controle. O que podemos perceber com esses dois estudos é que independentemente da forma que o DCD é colocado ao solo, sendo misturado a DLS ou incorporado com fertilizantes minerais ou orgânicos, o DCD é efetivo para a diminuição das perdas de N para a atmosfera e no controle da nitrificação. Suleiman relata que essas perdas de N_2O para o ambiente são reduzidas em até 70%. Já quando aplicado a DCD com a ureia e junto com o inibidor de urease causa um aumento nas perdas por volatilização de NH_3 quando comparado a ureia contendo apenas o inibidor de urease, que diminui as perdas por volatilização. No entanto, a DCD não afeta a capacidade da nitrapirina (NBPT) de inibir a atividade da urease.

Além do inibidor de nitrificação DCD, que já vem sendo discutido, há outros como o DMPP, que foi utilizado em um trabalho e o mesmo se mostrou responsivo a

diminuição de perda de nitrato por lixiviação, quando ocorriam elevadas precipitações ou excesso de irrigação. Entretanto, é relatado que a DCD é altamente solúvel em água e facilmente lixiviada após chuvas intensas Suleiman (2016). Então, podemos destacar aqui, que após grandes precipitações o DMPP é mais eficiente que a DCD, pois retarda a perda de nitrato por lixiviação, diferente da DCD, onde após grandes precipitações é lixiviada e não exerce sua função completamente, ou seja, permite a perda de nitrato por lixiviação e não consegue mais fazer o papel de redução de nitrificação, já que seu período de impacto é curto, então necessitando a realização de uma nova aplicação do produto, e só após isso continuando com o processo de inibição de nitrificação.

Quando feita a aplicação de um IN de forma independente da quantidade de taxa de resíduos de cultura aplicada à superfície do solo provou ser uma estratégia eficaz para reduzir as emissões de N_2O embora não tenha aumentado a produtividade de algumas culturas. A eficácia do IN em mitigar as emissões de N_2O foi mais pronunciado quando o fertilizante N foi aplicado durante a estação seca, e em média, suplementação IN reduziu o fator de emissão de N_2O em 75% e a intensidade de emissões de N_2O em 24%.

A utilização dos inibidores de nitrificação não vem sendo muito bem aceita no Brasil, visto que temos poucos IN no mercado agrícola, onde produto o mais conhecido é o Agrotain Plus®, um produto químico na forma de pó, e que custa em média R\$ 270,00 50kg, onde poderia ser utilizado até 14kg do produto por hectare para obter resultados significativos com o que vimos anteriormente. Ressaltando que o produto Agrotain Plus® contém 81% de DCD, justificando a quantidade a ser aplicada do produto. Seu benefício ao ambiente não é levado em conta, pois em excesso, o nitrato do solo pode provocar acúmulo desta forma de N nas plantas, o que pode comprometer a qualidade no que diz respeito ao consumo humano e animal, além da possibilidade de redução de NO_3^- até N_2 em condições de baixa disponibilidade de O_2 , através do processo de desnitrificação, cujo produto intermediário é o óxido nítrico N_2O , um gás agravador do efeito estufa (AITA et. al., 2007). Por outro lado, ao fazer o uso de inibidor de nitrificação, reduz o processo de nitrificação e por consequência, diminui a perda por volatilização.

A falta de informações dos benefícios de seu uso é um dos motivos pelo quais os produtores não fazem a utilização do produto, outro motivo pelo qual

não é utilizado, pode estar atrelado ao custo do produto, onde o mesmo não é barato, mas se levarmos em consideração o benefício a saúde do planeta, seu valor se torna irrisório. Outro ponto que temos que levar em consideração é de que os IN ainda estão sendo estudados e que a grande maioria dos agricultores não conhece tal tecnologia a ponto de uso em massa. O que faz com que isso dificulte a redução de N₂O no ambiente.

5 CONCLUSÕES

O N determina o desenvolvimento das plantas de milho e de trigo, com aumento significativo na área foliar e na produção de massa de matéria seca, resultando em maior produtividade de grãos. Porém a adição de inibidor de nitrificação em geral não influencia no teor de N nas plantas, tampouco nas quantidades desse nutriente acumulados pelo milho e pelo trigo e também não afeta o rendimento de grãos e fitomassa dessas culturas.

O uso de inibidores pode reduzir as emissões, de N_2O para o ambiente, em até 70%.

Quando misturado a dejetos líquidos de suínos, a DCD resultou na maior eficiência de absorção e maximizou a retenção de DLS aplicado no solo, minimizando potenciais perdas para o ambiente.

Vários fatores, como clima, tipo de solo, região e cultura, influenciam na capacidade de efetividade dos INs e por isso que muitos estudos tem sido desenvolvidos.,

O uso de IN na agricultura brasileira apresenta potencial, pois seu uso minimiza as emissões de N_2O para a atmosfera. No entanto, o alto custo do IN e também pela falta de informação sobre o produto pelos produtores tem dificultado sua popularização.

6 REFERÊNCIAS

AITA, C., et al. **Reducing nitrous oxide emissions from a maize-wheat sequence by decreasing soil nitrate concentration: effects of split application of pig slurry and dicyandiamide.** Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/ejss.12181>> Acessado em: 08/06/2020

AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; HÜBNER, A. P. **Nitrificação do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos suínos em solo sob sistema plantio direto.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.42, n.1, p.95-102, 2007. Disponível em: <<https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/7540/4459> > Acessado em: 03/09/2021.

ALVA, A.K.; PARAMASIVAM, S.; FARES, A.; DELGADO, J.A.; MATTOS Jr., D., ALVES, C. T. D. F., **Influência da adubação com dejetos suínos e adubo mineral adicionada de inibidor de nitrogênio sobre a produtividade e a nutrição do milho.** 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.5965/223811711612017002>> Acessado em: 11/06/2021

ALVES, G. C. **Efeito da inoculação de bactérias Diazotróficas dos gêneros Herbaspirillum e Bulkhorderia em genótipos de milho.** Fev. 2007. 65 p. Dissertação de mestrado. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ. Disponível em < http://bdtd.ufrrj.br//tde_busca/arquivo.php?codArquivo=909> Acesso em: 06 novembro de 2019.

BÁRBARO, I.M; BRANCALIÃO, S.R.; TICELLI, M. **É possível a fixação biológica de nitrogênio no milho?.** 2008. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2008_2/fixacao/index.htm> Acessado em: 30 de novembro de 2019

BARTH, G. **Inibidores de uréase e de nitrificação na eficiência de uso de adubos nitrogenados.** Piracicaba 2009. Disponível em:

https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-04082009-105030/publico/Gabriel_Barth.pdf Acessado em 22/10/2019

BITTON, G. (1994). **Wastewater Microbiology.** Wiley-Liss Pub., New York. Disponível em:

file:///C:/Users/aa/Downloads/Wastewater_Microbiology_By_Gabriel_Bitto.pdf

BNDES 2009 **A indústria química e o setor de fertilizantes** Disponível em:

https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2025/1/A%20ind%C3%BAstria%20qu%C3%ADmica%20e%20o%20setor%20de%20fertilizantes_P_A.pdf Acessado em: 20/09/2021

BUENO, RODRIGO DE FREITAS. **Nitrificação e desnitrificação simultânea em reator com biomassa em suspensão e fluxo contínuo de esgoto.** São Paulo, 2011.

Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6134/tde-09092011-153620/publico/Rodrigo.pdf>

BULL apud SORATTO **Fontes alternativas e doses de nitrogênio no milho safrinha em sucessão à soja.** 2009 Disponível em:

<<https://www.redalyc.org/pdf/1953/195317568002.pdf>> Acessado em: 09/12/2019

CONAB **Análise mensal – milho: abril/maio 2020.** 2020 Disponível em: <<https://www.conab.gov.br>> Acessado em: 01/09/2021

CONAB **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: Safra 2020/21 11º levantamento.** 2021. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br>> Acessado em: 29/08/2021

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2019.** Disponível em: <file:///C:/Users/aa/Downloads/GrosZnovembroZresumoZ2019.pdf> Acesso em: 09/12/2019

CORRÊA. J. C., et al. **Organic, organomineral, and mineral fertilizers with urease and nitrification inhibitors for wheat and corn under no-tillage** 2016. Disponível em: < DOI: 10.1590/S0100-204X2016000800003 > Acessado em: 07/07/2021.

DI HJ & CAMERON KC. 2004. **Effects of temperature and application rate of a nitrification inhibitor, dicyanodiamide (DCD), on nitrification rate and microbial biomass in a grazed pasture soil.** Australian Journal of Soil Research 42: 927-932. DOI: 10.1071/SR04050

DINNES, D. L., Karlen, D. L., Jaynes, D. B., Kaspar, T. C., Hatfield, J. L., Colvin, T. S., and Cambardella, C. A. 2002. **Nitrogen management strategies to reduce nitrate leaching in tile drained midwestern soils.** Agron. J. 94: 153–171. Disponível em: Scope and Strategies for Regulation of Nitrification in Agricultural Systems

EMATER **Safra de verão 2020-2021: Estimativas Atuais de área, produtividade e produção.** 2021 Disponível em: <<https://estado.rs.gov.br/upload/arquivos//apresentacao-safra-de-verao-20-21-ok.pdf>> Acessado em: 25/08/2021

EMBRAPA. **Cultivo do Milho.** 2010 <Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/27037/1/Plantio.pdf>> Acessado em: 09/12/2019

EMBRAPA. **Árvore do conhecimento do milho.** 2010. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_17_168200511157.html> Acessado em 02/09/2021

EMBRAPA. **Cultivo do milho.** 2015 Disponível em: <https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistema_sdeproducao16_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=7905&p_r_p_-996514994_topicId=8662> Acessado em: 09/12/2019

EMBRAPA **Fixação biológica do nitrogênio** 1990 Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/1495/fixacao-biologica-de-nitrogenio-fbn> > Acessado em: 25/09/2021

FAO, **The state of food insecurity in the world 2014**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Home, <Disponível em <http://www.fao.org/publications/sofi/en/>> Acessado em: 03/09/2019

FERREIRA, A. C. B.; ARAÚJO, G. DE A.; PEREIRA, P. R. G.; CARDOSO, A. A. **Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco**. Revista Scientia Agrícola, v.58, p.131-138, 2001. < Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/sa/v58n1/a20v58n1.pdf> > Acessado em: 23/11/2019

FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION, **Slow- and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Efficiency in Agriculture** 2010 Paris, França, ed. 2, p.160. Disponível em: <https://www.fertilizer.org/images/Library_Downloads/2010_Trenkel_slow%20release%20book.pdf> Acessado em: 29/08/2021

FREIBERG, C. M., et al. **Acúmulo de nitrogênio pelo milho em função do modo de aplicação dos dejetos líquidos de suínos e do uso de inibidor de nitrificação**. 2018. Disponível em: < <https://maissoja.com.br/acumulo-de-nitrogenio-pelo-milho-em-funcao-do-modo-de-aplicacao-dos-dejetos-liquidados-de-suinos-e-do-uso-de-um-inibidor-de-nitrificacao/> > Acessado em: 08/07/2021.

GARCIA, G., et al. **Da escassez ao estresse do planeta: um século de mudanças no ciclo do nitrogênio** 2013 Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?frbrVersion=3&script=sci_arttext&pid=S0100-40422013000900032&lng=en&tlng=en > Acessado em: 09/12/2019

GONZAGA, L. C. **Crop residue removal and nitrification inhibitor application as strategies to mitigate N₂O in sugarcane Fields** 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.09.015> > Acessado em: 05/07/2021.

GONZATTO, R., et al. **Dicianodiamida como inibidor da nitrificação do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos suínos no solo** 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20141664> >Acessado em: 08/06/2021

HUNGRIA, M., et al. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**, EMBRAPA 2001. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPSO/18515/1/circTec35.pdf>> Acessado em 21/10/2019

IBGE 2019 Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/29502-em-2019-expectativa-de-vida-era-de-76-6-anos> Acessado em: 20/09/2021.

LANA, R. M. Q., **Aplicação de fertilizantes com inibidor de nitrificação e micronutrientes, na cultura do milho.** 2008 Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/104584/1/Aplicacao-fertilizantes.pdf> > Acessado em: 24/08/2021

MELLO, F.de A.; F. de BRASIL SOBRINHO, M. de O. C. DO, ARZOLLA, S., SILVEIRA, R. I., COBRA NETTO, A., KIEHL, J. de C. **Fertilidade do Solo**, Nobel, São Paulo (SP),1989, 400p.

MILHO. Disponível em:< <https://pt.wikipedia.org/wiki/Milho>.> Acesso em 06 de novembro de 2019.

MORO, E. et al. **Teor de nitrogênio no solo em função de plantas de cobertura, fontes de nitrogênio e inibidor de nitrificação** 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1983-40632013000400003> > Acessado em: 13/07/2021

Panorama da aquicultura. **Sem nitrogênio não há vida.** 1996 Disponível em: <<https://panoramadaaquicultura.com.br/sem-nitrogenio-nao-ha-vida/>> Acessado em: 02/12/2019

PECCI, F. **Demanda por fertilizantes deve chegar a 43 mi de toneladas em 2021, 2021.** Disponível em: <<https://www.canalrural.com.br/noticias/demanda-por-fertilizantes-deve-chegar-a-43-mi-de-toneladas-em-2021/>> Acessado em: 25/08/2021

SAJWAN, K. **Nitrogen and irrigation management practices to improve nitrogen uptake efficiency and minimize leaching losses.** *Journal of Crop Improvement*, v. 15: 369-420, 2006.

SCOLARI, D., **Produção agrícola mundial: o potencial do Brasil 2005.** Disponível em: < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/160161/1/Producao-agricola-mundial.pdf>> Acessado em: 16/10/2019

SILVA, E. C. et al. **Manejo de nitrogênio no milho sob plantio direto com diferentes plantas de cobertura, em Latossolo Vermelho.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 41, n. 3, p. 477-486, 2006. <Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/pab/v41n3/29120.pdf>> Acessado em 01/10/2019

SIMON. P. L., **Nitrous oxide emission factors from cattle urine and dung, and dicyandiamide (DCD) as a mitigation strategy in subtropical pastures** 2018. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.08.013> > Acessado em: 06/07/2021

SOARES. J. R., et al. **Ammonia volatilization losses from surface-applied urea with urease and nitrification inhibitors** 2012. Disponível em: < [doi:10.1016/j.soilbio.2012.04.019](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.04.019) > Acessado em: 02/07/2021

SORATTO. R.P., et al. **Doses e fontes de alternativas de nitrogênio no milho sob plantio direto em solo arenoso** 2010. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000100007> > Acessado em: 07/07/2021

SULEIMAN. A. K. A., et. al. **Temporal variability of soil microbial communities after application of dicyandiamide-treated swine slurry and mineral fertilizers.** 2016. Disponível em:< <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.03.002>> Acessado em: 13/07/2021.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**.4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.848p

TRENKEL, M. E. **Slow- and controlled-release and stabilized fertilizer: an option for enhancing nutrient efficiency in agriculture**. Paris: International