

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS E ENGENHARIA**

Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento

**MATHEUS CHOUERI**

**MODELOS *FUZZY* DA CULTURA DO MILHO EM RESPOSTA ÀS DIFERENTES  
DOSES E FONTES DE NITROGÊNIO EM COBERTURA**

**TUPÃ - SP  
2024**

**MATHEUS CHOUERI**

**MODELOS *FUZZY* DA CULTURA DO MILHO EM RESPOSTA ÀS DIFERENTES  
DOSES E FONTES DE NITROGÊNIO EM COBERTURA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Tupã, como requisito de qualificação para a obtenção do título de Doutor em Agronegócio e Desenvolvimento.

**Área de concentração:** Agronegócio e Desenvolvimento

**Linha de pesquisa:** Desenvolvimento e Meio Ambiente

**Orientador:** Profa. Dra. Sandra Cristina de Oliveira

**Coorientador:** Prof. Dr. Luís Roberto Almeida Gabriel Filho

**Coorientadora:** Profa. Dra. Camila Pires Cremasco Gabriel

**TUPÃ - SP**

**2024**

C552m Choueri, Matheus  
Modelos fuzzy da cultura do milho em resposta às  
diferentes doses e fontes de nitrogênio em cobertura /  
Matheus Choueri. -- Tupã, 2024  
70 p. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista  
(UNESP), Faculdade de Ciências e Engenharia, Tupã  
Orientadora: Sandra Cristina de Oliveira  
Coorientador: Luís Roberto Almeida Gabriel Filho

1. Agronegócio. 2. Milho. 3. Lógica Fuzzy. I. Título.

## **Impacto potencial desta pesquisa**

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de dois sistemas baseados em lógica *Fuzzy* para utilização em adubação nitrogenada para o milho. A utilização dos sistemas auxilia na tomada de decisão, ao mesmo tempo que apresenta cenários futuros quanto ao desenvolvimento da cultura estudada. Esta ferramenta possibilita melhor aproveitamento do fertilizante podendo reduzir a quantidade aplicada, assim, colaborando para mitigar potenciais perdas por evaporação e lixiviação. Ainda pode contribuir com avanços nos controles de máquinas e equipamentos agrícolas que desempenham atividade de precisão.

## **Potential impact of this research**

This work presents the development of two systems based on *Fuzzy* logic for use in nitrogen fertilizer for corn. The use of systems assists in decision making, at the same time as it presents future scenarios regarding the development of the culture studied. This tool allows better use of fertilizer and can reduce the amount applied, thus helping to mitigate potential losses due to evaporation and leaching. It can also contribute to advances in the controls of agricultural machines and equipment that perform precision activities.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

TÍTULO DA TESE: MODELO FUZZY DA CULTURA DO MILHO EM RESPOSTA ÀS DIFERENTES DOSES E FONTES DE NITROGÊNIO EM COBERTURA


**AUTOR: MATHEUS CHOUERI**

**ORIENTADORA: SANDRA CRISTINA DE OLIVEIRA**

**COORIENTADORA: CAMILA PIRES CREMASCO GABRIEL**


**COORIENTADOR: LUÍS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO**

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Ciências, pela Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente  
 **SANDRA CRISTINA DE OLIVEIRA**  
Data: 28/08/2024 18:42:40-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> SANDRA CRISTINA DE OLIVEIRA (Participação Virtual)  
Departamento de Gestão Desenvolvimento e Tecnologia / Faculdade de Ciências e Engenharia - FCE - UNESP - Tupã/SP

Prof. Dr. DANIEL DOS SANTOS VIAIS NETO (Participação Virtual)  
Coordenadoria do Curso de Tecnologia em Agronegócio / Faculdade de Tecnologia - FATEC - Presidente Prudente/SP


Documento assinado digitalmente  
 **BRUNO CESAR GOES**  
Data: 04/09/2024 15:35:54-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Prof. Dr. BRUNO CÉSAR GÓES (Participação Virtual)  
Docente do Curso de Gestão Comercial / Faculdade de Tecnologia - FATEC - Adamantina/SP


Coordenadora ANDRÉIA APARECIDA FERREIRA DA SILVA (Participação Virtual)  
Núcleo Regional de Educação de Umuarama/PR / Secretaria de Estado da Educação - SEED/PR

Prof. Dr. ARLETO TENORIO DOS SANTOS (Participação Virtual)  
Docente do Curso de Agronegócio / Faculdade de Tecnologia - FATEC - Presidente Prudente/SP

Tupã, 28 de junho de 2024

Documento assinado digitalmente  
 **ANDRÉIA APARECIDA FERREIRA DA SILVA**  
Data: 29/08/2024 15:43:18-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Documento assinado digitalmente  
 **DANIEL DOS SANTOS VIAIS NETO**  
Data: 29/08/2024 21:19:34-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Documento assinado digitalmente  
 **ARLETO TENORIO DOS SANTOS**  
Data: 16/10/2024 17:36:41-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dedicado aos meus filhos Mithril e Merin.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha orientadora professora Dra. Sandra Cristina de Oliveira, pelas orientações, revisões, conversas, disponibilidade, interesse e conhecimentos prestados desde o início do doutorado e do projeto de pesquisa.

Aos membros do Comitê de orientação e professores, prof. Dr. Luís Roberto Almeida Gabriel Filho e profa. Dra. Camila Pires Cremasco Gabriel, pelos incentivos, paciência, dedicação incondicional, parceira nos trabalhos de pesquisa e confiança dispensada, pela disponibilidade de tempo e conhecimento compartilhado, e não menos, pela amizade construída desde os tempos de graduação.

Aos membros das bancas Profa. Dra. Andreia Aparecida Ferreira da Silva (defesa), Prof. Dr. Arleto Tenório dos Santos (defesa), Prof. Dr. Bruno César Goes (defesa), Prof. Dr. Daniel dos Santos Viais Neto (qualificação e defesa) e Prof. Dr. Mário Mollo (qualificação), pelas elucidações, sugestões e disponibilidades.

Aos docentes e coordenadores do curso de Pós-graduação em Agronegócio e Desenvolvimento da UNESP/Tupã que contribuíram com o compartilhamento do seu tempo e conhecimento ao longo do curso.

À Diretoria acadêmica, Seção técnica de Pós-graduação e a todos os funcionários da UNESP/Tupã, pela disponibilidade durante o curso, pelo apoio dispensado nos momentos de dúvidas e pelos serviços prestados com excelência.

À minha família, pela paciência ao longo deste período de estudos e pelo apoio incondicional.

É indispensável mencionar que este trabalho só existe devido a colaboração de todos vocês, que, em conjunto, são prova suficiente da presença de Deus em minha vida. Muito obrigado a todos!

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001.

*Sem dúvida, se colocares pouco sobre pouco,  
E o fizeres com frequência, logo o pouco se tornará muito.*

*Hesíodo – os trabalhos e os dias, 361-362.*

**CHOUERI, Matheus. Modelos *Fuzzy* da cultura do milho em resposta às diferentes doses e fontes de nitrogênio em cobertura. 2024. 70 f. Tese de Doutorado em Agronegócio e Desenvolvimento. Faculdade de Ciências e Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Tupã, 2024.**

## **RESUMO**

O cultivo do milho (*Zea mays* L.), é economicamente importante em todo o mundo, por apresentar diversas formas de aplicação que vão da alimentação animal a matéria-prima para produtos industriais alimentares e não alimentares básicos e altamente tecnológicos, também pode ser fonte para geração de energia. No Brasil, a safra 2022/2023 foi de 22 mil hectares apresentando uma produção de 131,8 mil toneladas. A adubação é uma variável importante e que potencializa o desenvolvimento da cultura, mas também pode causar problemas como desperdício, volatilização (5%) e/ou lixiviação (4%) de Nitrogênio (N), refletindo em perdas econômicas. Este trabalho teve como justificativa a dificuldade na recomendação da adubação nitrogenada, por falta de um método de análise adaptativo e que expresse respostas antes da aplicação em campo. O objetivo desta obra foi o desenvolvimento de dois sistemas baseados em regras *Fuzzy* (um para ureia e outro para sulfato de amônio) para determinação das quantidades de N para a aplicação na cultura do milho. Foram considerados para a elaboração dos sistemas, contemplar as metas de dois dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 2 e ODS 12) da Cúpula das Nações Unidas. O primeiro capítulo realizou uma revisão bibliográfica sistematizada para verificar se os valores de N contidos nas doses aplicadas ao milho seguiam alguma recomendação publicada por especialistas. No período estipulado (2012-2023) para a busca de trabalhos não foram encontrados materiais referenciados por especialistas. O segundo capítulo objetivou o desenvolvimento de dois modelos utilizando lógica *Fuzzy* e inferência de Mamdani para determinar quantidades de N (ureia e sulfato de amônio) nas doses a serem aplicadas (0, 40, 80, 120 e 160 Kg ha<sup>-1</sup>) e simular os resultados esperados para a cultura do milho quando de alguma alteração na dose. Os dados utilizados para a formulação do modelo foram obtidos por experimento realizado por Goes et al. (2014) que estudaram as características do milho sob diferentes fontes e doses de nitrogênio. Todos os resultados possíveis alcançados foram apresentados em conjuntos de funções pertinência e cada ponto das funções representam opções de doses de N a serem aplicadas a depender do objetivo final de aplicação do milho.

**Palavras-chave:** Lógica *Fuzzy*. Mamdani. Milho. Base de regras. Nitrogênio. Adubação.

**CHOUERI, Matheus. *Fuzzy corn crop models in response to different doses and sources of nitrogen in cover*. 2024. 70 p. Doctoral Thesis in Agribusiness and Development. São Paulo State University (UNESP), School of Sciences and Engineering, Tupã, 2024.**

## **ABSTRACT**

Corn (*Zea mays* L.) cultivation is economically important worldwide, as it has several forms of application, ranging from animal feed to raw material for basic and highly technological industrial food and non-food products. It can also be a source of energy generation. In Brazil, the 2022/2023 harvest covered 22 thousand hectares, producing 131.8 thousand tons. Fertilization is an important variable that enhances crop development, but it can also cause problems such as waste, volatilization (5%) and/or leaching (4%) of Nitrogen (N), resulting in economic losses. This work was justified by the difficulty in recommending nitrogen fertilization, due to the lack of an adaptive analysis method that expresses responses before field application. The objective of this work was to develop two systems based on Fuzzy rules (one for urea and the other for ammonium sulfate) to determine the amounts of N for application in corn crops. The systems were designed to meet the targets of two of the 17 Sustainable Development Goals (SDG 2 and SDG 12) of the United Nations Summit. The first chapter carried out a systematic literature review to verify whether the N values contained in the doses applied to corn followed any recommendations published by experts. In the period stipulated (2012-2023) for the search for works, no materials referenced by experts were found. The second chapter aimed to develop two models using Fuzzy logic and Mamdani inference to determine the amounts of N (urea and ammonium sulfate) in the doses to be applied (0, 40, 80, 120 and 160 kg ha<sup>-1</sup>) and simulate the expected results for the corn crop when any change in the dose is made. The data used to formulate the model were obtained from an experiment carried out by Goes et al. (2014) who studied the characteristics of corn under different sources and doses of nitrogen. All possible results achieved were presented in sets of relevance functions and each point of the functions represents options of N doses to be applied depending on the final objective of corn application.

**Keywords:** *Fuzzy Logic*. Mamdani. Corn. Rule base. Nitrogen. Fertilizing.

## LISTA DE FIGURAS

<b>CAPÍTULO I – APLICAÇÃO DE FERTILIZANTE NITROGENADO PARA A CULTURA DO MILHO: UMA REVISÃO SOBRE AS DOSES DE UREIA E SULFATO DE AMÔNIO</b>	<b>18</b>
FIGURA 1 - Etapas de buscas e operações realizadas.	23
FIGURA 2 - Critérios aplicados após a aplicação dos termos de busca e leitura dos artigos resultado.	24
FIGURA 3 - Origem e quantidade de artigos publicados entre 2012 e 2023.	27
FIGURA 4 - Distribuição dos artigos selecionados dentro do período estudado.	28
FIGURA 5 - Utilização das fontes ureia e sulfato de amônio nos artigos estudados.	29
<b>CAPÍTULO II - SISTEMAS BASEADOS EM REGRAS FUZZY PARA A CULTURA DO MILHO EM RESPOSTA ÀS DIFERENTES DOSES DE UREIA E DE SULFATO DE AMÔNIO EM COBERTURA</b>	<b>40</b>
FIGURA 1 – SBRFs com uma variável de entrada (ureia ou sulfato de amônio), método de inferência e 13 variáveis de saída (características agronômicas do milho).	47
FIGURA 2 - Funções de pertinência para a entrada ureia ou sulfato de amônio.	48
FIGURA 3 – Funções de pertinência dos conjuntos das variáveis de saída para fonte Ureia.	53
FIGURA 4– Funções de pertinência dos conjuntos das variáveis de saída para fonte Sulfato de amônio.	55
FIGURA 5 – Gráficos das variáveis de saída após defuzzificação para a fonte ureia.	56
FIGURA 6 – Gráficos das variáveis de saída após defuzzificação para a fonte sulfato de amônio.	59

## LISTA DE TABELAS

<b>CAPÍTULO I – APLICAÇÃO DE FERTILIZANTE NITROGENADO PARA A CULTURA DO MILHO: UMA REVISÃO SOBRE AS DOSES DE UREIA E SULFATO DE AMÔNIO</b>	<b>18</b>
TABELA 1 – Lógica de busca para os termos utilizados (strings).	23
TABELA 2 – Ordem lógica da busca pelos termos (strings de busca) utilizados e quantidade de respostas obtidas.	25
TABELA 3 – Artigos selecionados para o estudo.	26
TABELA 4 – Artigos, suas doses de N e quantidades de aplicações.	29
<b>CAPÍTULO II – SISTEMAS BASEADOS EM REGRAS FUZZY PARA A CULTURA DO MILHO EM RESPOSTA ÀS DIFERENTES DOSES DE UREIA E DE SULFATO DE AMÔNIO EM COBERTURA</b>	<b>40</b>
TABELA 1 - Características agronômicas do milho utilizadas para as saídas do SBRF.	44
Tabela 2 – Conjuntos fuzzy, tipo de função de pertinência e delimitadores da variável de entrada ureia.	48
TABELA 3 – Conjuntos Fuzzy, tipo de função de pertinência e delimitadores das variáveis de saída.	49
TABELA 4 – Características dos conjuntos fuzzy de entrada e saída para as fontes ureia e sulfato de amônio.	50
TABELA 5 – Delimitadores dos conjuntos saída.	51

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

SPD	Sistema de plantio direto
N	Nitrogênio
SA	Sulfato de Amônio
ODS	Objetivos de desenvolvimento sustentáveis
U	Ureia
Kg ha <sup>-1</sup>	Quilogramas por hectare
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CO	Formulação química para ureia
NH <sub>3</sub>	Formulação química para amônia
RBS	Revisão bibliográfica sistematizada
cm	Centímetro
SBRF	Sistema Baseado em Regras <i>Fuzzy</i>
EPP	Número de espigas por planta
IAF	Índice de área foliar
DE	Diâmetro da espiga
DC	Diâmetro do colmo
AIE	Altura de inserção da primeira espiga
AP	Altura de planta
GPE	Número de grãos por espiga
FPE	Número de fileiras por espiga
GPF	Número de grãos por fileira
MCG	Massa de cem grãos
PROD	Produtividade de grãos
NFO	Teor de nitrogênio foliar
NGR	Teor de nitrogênio no grão
un	Unidade
mm	Milímetro
m	Metro
g	Gramos
g kg <sup>-1</sup>	Gramos por quilo
V.A.N.T.	Veículo aéreo não tripulado

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO I – APLICAÇÃO DE FERTILIZANTE NITROGENADO PARA A CULTURA DO MILHO: UMA REVISÃO SOBRE AS DOSES DE UREIA E SULFATO DE AMÔNIO</b>	<b>18</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>20</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>22</b>
<i>Revisão Bibliográfica sistematizada</i>	22
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>25</b>
<b>4 CONCLUSÃO</b>	<b>33</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>34</b>
<b>CAPÍTULO II – SISTEMAS BASEADOS EM REGRAS FUZZY PARA A CULTURA DO MILHO EM RESPOSTA ÀS DIFERENTES DOSES DE UREIA E DE SULFATO DE AMÔNIO EM COBERTURA</b>	<b>40</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>42</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>44</b>
<i>Descrição do experimento utilizado e variáveis estudadas</i>	44
<i>Lógica Fuzzy</i>	45
<i>Modelagem Fuzzy</i>	46
<i>Sistemas baseados em regras fuzzy</i>	47
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>51</b>
<i>Funções de pertinência das variáveis de saída</i>	52
<i>Gráficos das variáveis de saída</i>	56
<b>4 CONCLUSÃO</b>	<b>62</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>63</b>
<b>CONCLUSÃO</b>	<b>67</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>68</b>

## INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays L.*), a mais importante planta comercial com origem nas Américas, é uma espécie altamente politépica, com cerca de 300 raças e milhares de variedades. Única espécie cultivada do gênero e uma das poucas plantas econômicas nativas das Américas, é uma planta completamente domesticada sendo inteiramente dependente dos cuidados do homem (FORNASIERI FILHO, 2007).

Dentre os cereais, o milho, apresenta elevada importância econômica em todo o mundo, caracterizada pelas diversas formas de sua utilização que vai da alimentação animal; é matéria-prima para produtos industriais; fonte para geração de energia e, insumo para indústria de alta tecnologia. (FORNASIERI FILHO, 2007; ADEKIYA et al, 2020)

Conforme Kist et al. (2023), o milho é uma *commoditie* estratégica, que pode ser utilizado na forma *in natura* ou transformado em ração, é insumo cada vez mais demandado junto às cadeias da proteína (aves, suínos, gado de corte e de leite, ovinos, caprinos e outras espécies).

O uso do milho em grão como alimentação animal representa a maior parte do consumo desse cereal, isto é, cerca de 70% no mundo. Nos Estados Unidos, cerca de 50% é destinado a esse fim, enquanto que no Brasil varia de 60% a 80%, dependendo da fonte da estimativa e de ano para ano (EMBRAPA, 2021).

Para um dimensionamento adequado da importância da cultura do milho no Brasil, de acordo com a Conab (2024), a área plantada com milho na safra 2022/2023 foi de 22.267 mil hectares apresentando uma produção de 131.866 mil toneladas.

Conforme o MAPA (2024), somente nos últimos vinte anos a produção brasileira cresceu, em média, 5,2% ao ano. Em relação ao período anterior (safra 2021/2022) o aumento estimado é de 16,6%, ou 18,76 milhões de toneladas a mais.

Para alcançar tal desempenho foi necessário desenvolver um conjunto de práticas e métodos de produção.

Entre as práticas de manejo que se destacam no cultivo de milho, tanto no período de safra quanto no período de safrinha, estão a utilização do sistema de plantio direto (SPD) - que é a semeadura do milho logo após a colheita da lavoura anterior sem o revolvimento do solo - e níveis de investimentos, com densidade de

plantas adequadas e realização de adubação nitrogenada em cobertura - depósito do fertilizante nitrogenado sobre o solo para dispor N para planta (BATISTA et al, 2020).

A aplicação de nitrogênio (N) para a produção de milho varia em todo o mundo a depender das diferenças nas características (físico-químicas) do solo, nas condições climáticas, disponibilidade de cultivares e expectativas de rendimento (RHEZALI; LAHLALI, 2017).

A ureia convencional, contém aproximadamente 45% de N em sua composição e por apresentar menor custo, é a fonte de nitrogênio mais empregada na produção de milho no Brasil (GARCIA et al, 2020).

Conforme Arruda de Oliveira et al. (2023), a ureia importada é a principal responsável pelo desenvolvimento do milho em solos brasileiros.

O sulfato de amônio (SA) é a segunda fonte de fertilizante nitrogenado mais utilizada no Brasil, contém 23% de N, porém, seu elevado custo de produção por unidade de N e a sua forma de comercialização minimizam o seu uso (VIEIRA, 2024).

A adubação é uma variável importante e que potencializa o desenvolvimento da cultura do milho, mas também pode causar problemas como desperdício, volatilização e/ou lixiviação de N, refletindo em perdas econômicas.

Segundo Fritsche-Neto e Borém (2022), “na cultura do milho, as perdas de N por lixiviação de nitrato são da ordem de 4% e, no mínimo, de 5% por volatilização do total aplicado.”

O presente trabalho teve como justificativa oferecer um recurso tecnológico, por meio de modelo matemático, que seja capaz de reduzir os problemas apontados por Fornasieri Filho (2007): “uma das dificuldades na recomendação da adubação nitrogenada é a falta de um método de análise que se adapte à rotina de laboratório.”

A afirmação de Fornasieri Filho (2007) condiz com o tempo de resposta elevado entre a recomendação de adubação, a aplicação da dose e o desenvolvimento da lavoura, que nem sempre é favorável, mas sempre realizada ao final do ciclo de cultivo.

Ainda, conforme Fornasieri Filho (2007), para um eficiente programa de adubação nitrogenada é necessário considerar os seguintes pontos: buscar produtividade realística; dar crédito às fontes de N (da matéria orgânica do solo, da fixação biológica e dos resíduos da cultura anterior); lembrar que a adubação

nitrogenada é específica para cada local, ou seja, resultado de um local não pode ser extrapolado para outros.

Outro ponto a ser considerado no desenvolvimento de estudos e soluções que interferem no sistema produtivo agrícola e/ou pecuário, são os objetivos de desenvolvimento sustentáveis (ODS) que são uma agenda mundial adotada durante a Cúpula das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável em setembro de 2015 composta por 17 objetivos e 169 metas a serem atingidos até 2030 (ONU, 2024; PACTO GLOBAL REDE BRASIL, 2024).

A redução do aporte de nitrogênio (N) nos sistemas de cultivo é fundamental para reduzir a poluição ambiental e atingir os objetivos de desenvolvimento sustentável - ODS (PANDIT et al., 2022).

Este trabalho foi desenvolvido considerando obter uma ferramenta que possa também colaborar com os objetivos específicos dos ODS 2 e ODS 12. O ODS 2 tenta resolver por meio de suas metas aspectos associados à pobreza, saúde, a produção de alimentos sustentável e economia. O ODS 12 aborda a produção e o consumo sustentáveis, uso eficiente de recursos naturais, redução do desperdício de alimentos, manejo de resíduos químicos de forma responsável (ESTRATÉGIA ODS, 2024; ONU, 2024).

Para tanto, o trabalho está organizado da seguinte forma: O primeiro capítulo intitulado “Aplicação de fertilizante nitrogenado para a cultura do milho: uma revisão sobre as doses de ureia e sulfato de amônio” teve como objetivo a realização de um levantamento bibliográfico para verificar se os valores de N contidos nas doses aplicadas ao milho seguiram alguma recomendação publicada por especialistas. No período estipulado para a busca de trabalhos não foram encontrados materiais referenciados por especialistas.

O segundo capítulo de nome “Sistemas baseados em regras *Fuzzy* para a cultura do milho em resposta às diferentes doses de ureia e de sulfato de amônio em cobertura”, objetivou o desenvolvimento de um modelo utilizando lógica *Fuzzy* e inferência de Mamdani para determinar quantidades de N nas doses a serem aplicadas e simular os resultados esperados para a cultura do milho conforme alteração na dose. Este sistema foi desenvolvido utilizando as fontes ureia (U) e sulfato de amônio (SA). Os dados utilizados para a formulação do modelo foram obtidos por experimento realizado por Goes et al. (2014) que estudaram as características agrônomicas do milho sob diferentes fontes e doses de nitrogênio.

Ao final, uma breve consideração geral é realizada sobre os sistemas e suas aplicações.

## **CAPÍTULO I – APLICAÇÃO DE FERTILIZANTE NITROGENADO PARA A CULTURA DO MILHO: UMA REVISÃO SOBRE AS DOSES DE UREIA E SULFATO DE AMÔNIO**

### **RESUMO**

O manejo da adubação é fundamental para o desenvolvimento da cultura do milho alcançar vantagem econômica. Considerando os diferentes métodos e dosagens de nitrogênio aplicados ao milho, o objetivo deste capítulo foi realizar um levantamento bibliográfico para estudar de forma sistêmica como são determinados: a) a fonte de N; b) a quantidade de N aplicada na dose para a cultura do milho e, c) quais os métodos de aplicação utilizados. Para tanto foram utilizados termos de busca no portal de periódicos CAPES e em seguida foram realizadas a seleção dos artigos por meio de três critérios de forma e quatro outros referentes ao conteúdo dos trabalhos. A fonte de N mais utilizada foi a ureia. A menor quantidade de N aplicada foi de 20 Kg ha<sup>-1</sup>. A maior dose foi de 450 Kg ha<sup>-1</sup> e a dose média utilizada foi de 166 Kg ha<sup>-1</sup>. A dose mais praticada pelos autores foi de 150 Kg ha<sup>-1</sup>. Foram empregados quatro métodos de aplicação do N: a) incorporação ao solo no período de preparo para plantio; b) durante a semeadura do milho depositando o fertilizante em 5-10 cm de distância da semente; c) depósito de fertilizante por sulcos e posterior fechamento e; d) aplicação por cobertura entre as linhas de plantio.

**Palavras-chave:** Nitrogênio. Adubação. Milho. Revisão Bibliográfica Sistematizada.

## CHAPTER I – APPLICATION OF NITROGEN FERTILIZER FOR CORN CROPS: A REVIEW ON DOSES OF UREA AND AMMONIUM SULFATE

### ABSTRACT

Fertilization management is essential for the development of corn crops and for achieving economic advantages. Considering the different methods and doses of nitrogen applied to corn, the objective of this chapter was to conduct a bibliographic survey to study in a systematic way how the following are determined: a) the source of N; b) the amount of N applied in the dose for the corn crop; and c) which application methods are used. For this purpose, search terms were used in the CAPES journal portal and then the articles were selected using three criteria of form and four others related to the content of the works. The most commonly used source of N was urea. The smallest amount of N applied was 20 kg ha<sup>-1</sup>. The largest dose was 450 kg ha<sup>-1</sup> and the average dose used was 166 kg ha<sup>-1</sup>. The dose most practiced by the authors was 150 kg ha<sup>-1</sup>. Four methods of N application were used: a) incorporation into the soil during the period of preparation for planting; b) during corn sowing, depositing the fertilizer 5-10 cm away from the seed; c) depositing fertilizer in furrows and subsequent closing; and; d) application by covering between planting lines.

**Keywords:** Nitrogen. Fertilizing. Corn. Systematized Bibliographic Review.

## 1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays L.*), pertence à família das *Poaceas*, é a única espécie cultivada do gênero e uma das poucas plantas econômicas nativas das Américas, completamente domesticada, não cresce em forma selvagem e não pode sobreviver na natureza, sendo inteiramente dependente dos cuidados do homem. (FORNASIERI FILHO, 2006).

O período de crescimento e desenvolvimento do milho varia conforme umidade do solo, temperatura, radiação solar e fotoperíodo. A época de plantio é resultado da incidência desses fatores, cujos limites extremos são variáveis em cada região agroclimática (CRUZ et al., 2006).

De acordo com o calendário de plantio de grãos (Conab, 2022) no território brasileiro, a primeira safra de milho é semeada entre os meses de agosto e dezembro, sendo colhida entre fevereiro e maio do ano seguinte.

No Brasil há o cultivo de até três safras de grãos no mesmo ano agrícola, e isso permite que a colheita se estenda durante, praticamente, todo o ano agrícola, dependendo da região (MAPA, 2024).

Cabe observar ainda, conforme o MAPA (2024), que desde 2011/12 essa segunda safra ultrapassou o volume produzido da primeira safra, tendo se tornado predominante desde então. A terceira safra surgiu no período 2018/2019 e ainda que tenha volumes bem inferiores às duas primeiras, vem crescendo ano após ano.

No período 2022/23 a previsão é de 27,37 milhões de toneladas na primeira safra (20,8% do total), 102,18 milhões de toneladas na segunda safra (77,5% do total) e 2,33 milhões de toneladas para a terceira safra (1,8% do total) (MAPA, 2024).

Conforme Fornasieri Filho (2006), “o milho é uma das culturas mais exigentes em fertilizantes, especialmente os nitrogenados.”

O nitrogênio (N) é um elemento chave para a manutenção dos organismos vivos, geralmente esse é o nutriente requerido em maior quantidade nos sistemas de produção agrícola (GAVASSI et al., 2022).

Rhezali e Lahlali (2017), examinaram estudos que estabeleceram uma forte correlação entre o teor de N e a atividade fotossintética em células vegetais e completam que a fertilização nitrogenada é um fator crucial para melhorar o rendimento das culturas.

No Brasil, a fonte mais usada deste nutriente na adubação é a ureia  $[(\text{NH}_2)_2\text{CO}]$  devido seu custo-benefício por unidade de nutriente, embora apresente grandes perdas por volatilização de amônia ( $\text{NH}_3$ ) e por lixiviação (BARROS DOS SANTOS et al., 2020).

Na cultura do milho, as perdas de N por lixiviação de nitrato são da ordem de 4% e, no mínimo, de 5% por volatilização do total aplicado (GAVASSI et al., 2022).

O manejo de nitrogênio para a produção de milho varia em todo o mundo devido a diferenças nas características do solo, condições climáticas, disponibilidade de híbridos e expectativas de rendimento (RHEZALI e LAHLALI, 2017).

Entre as práticas de manejo que se destacam no cultivo de milho, tanto no período de safra quanto no período de safrinha, estão a utilização do sistema de plantio direto (SPD) e níveis de investimentos, com densidade de plantas adequadas e realização de adubação nitrogenada em cobertura (BATISTA et al., 2020).

Considerando as premissas observadas, foi necessário entender como são realizadas as etapas de decisão sobre que fonte de N utilizar e em qual (quais) quantidades para que se obtenha a melhor produtividade possível.

Para tanto este capítulo dedica-se a realizar um levantamento bibliográfico para estudar de forma sistêmica como são determinados:

- a) a fonte de N;
- b) a quantidade de N aplicada na dose para a cultura do milho.
- c) quais os métodos de aplicação utilizados.

O capítulo está dividido da seguinte forma: esta introdução, em seguida são apresentados o material e os métodos. A terceira parte agrupa os resultados e explora os dados na coleta das informações. E finalizando são apresentados os resultados e conclusão.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção são descritos o material utilizado e os métodos empregados para a seleção dos trabalhos que foram lidos e tabulados para a obtenção da quantidade de N aplicada ao milho, a escolha da fonte de N e os métodos empregados na aplicação do N.

O experimento de Goes et al. (2014) apresenta valores de variáveis agronômicas necessárias para a elaboração dos modelos que serão apresentados no Capítulo 2, por esse motivo, foram utilizadas as mesmas variáveis agronômicas para esta revisão.

### *Revisão Bibliográfica sistematizada*

Foi realizada uma revisão bibliográfica sistematizada (RBS) para encontrar pesquisas desenvolvidas referentes as doses de adubação nitrogenada (ureia) adequadas ao melhor desempenho produtivo de plantas de milho.

A RBS é dada por uma revisão rigorosa acerca das pesquisas que abordam metodologias diversas e integram os resultados (SOUZA; SILVA; CARVALHO, 2010).

Rabelo e Pinto (2019) consideram a RBS como uma inovação podendo ser utilizada em estudos interdisciplinares possibilitando a construção de um esquema de conhecimento que auxilie na tomada de decisão e contribua para o desenvolvimento de novos estudos baseando-se nas temáticas presentes nas publicações científicas.

A RBS é uma abordagem metodológica ampla, que permite incluir estudos experimentais e não-experimentais para uma completa compreensão do fenômeno analisado provenientes das pesquisas utilizadas no método, sendo utilizada quando se quer realizar uma síntese e análise do conhecimento científico já produzido sobre o tema investigado (ROCHA; PINTO; DAVID, 2020).

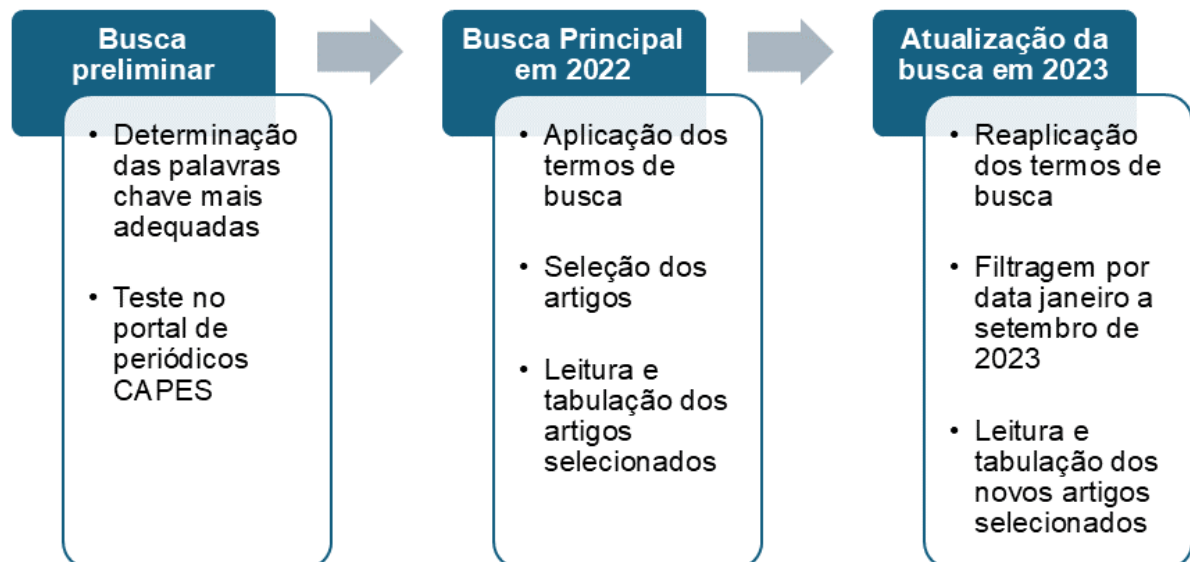
Para acessar os trabalhos publicados foi executada uma consulta às bases de dados acessíveis via Portal de Periódicos CAPES para verificar sobre a existência de tal material e, também, determinar as palavras adequadas para formar os termos de busca.

Segundo Conforto, Amaral e Silva (2011), é preciso compreender as regras de termos de busca para se criar *strings* de busca utilizando operadores lógicos

comumente aplicados em buscas avançadas ou buscas booleanas. A construção das *strings* de busca segue um processo de definição, teste e adaptação.

A busca foi realizada em três etapas conforme ilustra a Figura 1, sendo uma busca preliminar que foi útil para formar os termos de busca mais adequados e testar a amplitude de respostas da plataforma de periódicos CAPES. A segunda etapa que foi a principal, aplicando os termos de busca e selecionando os artigos por meio dos filtros de critérios, realizada em janeiro de 2022 e, a terceira etapa foi uma atualização para incluir artigos publicados até julho do ano de 2023 sendo aplicada em setembro do mesmo ano.

**FIGURA 1** – Etapas de buscas e operações realizadas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os termos utilizados estavam em língua inglesa e a etapa de busca se deu conforme a Tabela 1.

**TABELA 1** – Lógica de busca para os termos utilizados (*strings*).

Campo 1	Conectivo 1	Termo 1	Conectivo 2	Campo 2	Termo 2
Título	é (exato)	<i>corn</i>	e ( <i>and</i> )	qualquer campo (contém)	<i>urea</i>
Título	é (exato)	<i>maize</i>	e ( <i>and</i> )	qualquer campo (contém)	<i>urea</i>
Título	é (exato)	<i>corn</i>	e ( <i>and</i> )	qualquer campo (contém)	<i>ammonium sulfat</i>
Título	é (exato)	<i>maize</i>	e ( <i>and</i> )	qualquer campo (contém)	<i>ammonium sulfat</i>

Fonte: elaborado pelo autor

Como filtros iniciais para a seleção dos artigos a serem estudados foram adotados os seguintes critérios primários:

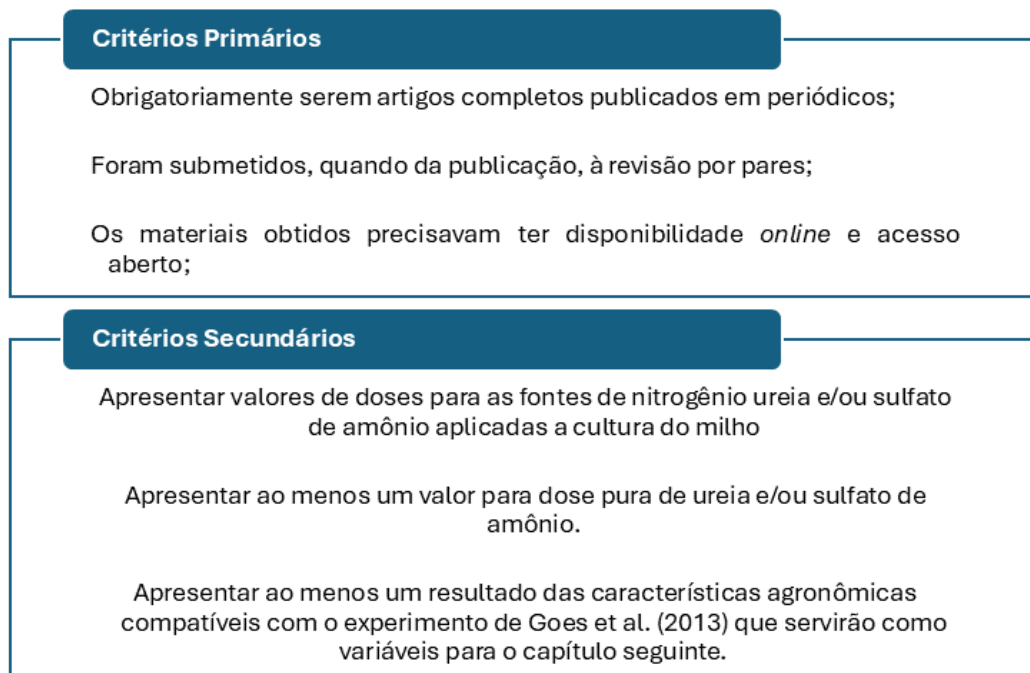
- 1) Obrigatoriamente serem artigos completos publicados em periódicos;
- 2) Foram submetidos, quando da publicação, à revisão por pares;
- 3) Os materiais obtidos precisavam ter disponibilidade *online* e acesso aberto;

Os critérios secundários de seleção foram aplicados após a leitura dos títulos e resumos contidos nos artigos, já descartados eventuais duplicidades. Foram critérios secundários:

- a) Apresentar valores de doses para as fontes de nitrogênio ureia e/ou sulfato de amônio aplicadas a cultura do milho
- b) Apresentar ao menos um valor para dose pura de ureia e/ou sulfato de amônio.
- c) Apresentar ao menos um resultado das características agronômicas compatíveis com o experimento de Goes et al. (2014) que servirão como variáveis para o capítulo seguinte.

O último critério secundário se fez necessário para que os resultados encontrados na busca apresentassem as características agronômicas estudadas por Goes et al (2014) para serem utilizadas como base de comparação. A Figura 2 apresenta os critérios aplicados.

**FIGURA 2** – Critérios aplicados após a aplicação dos termos de busca e leitura dos artigos resultado.



Juntos, os termos e critérios foram capazes de apresentar um panorama de trabalhos científicos que tratavam sobre as doses de fertilizantes aplicadas ao milho. O período de publicação dos artigos deu-se entre 2012 e 2022 com uma breve atualização acrescentando os trabalhos publicados até o mês de agosto de 2023. Os detalhes dos resultados das buscas são apresentados no próximo tópico.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os artigos selecionados foram lidos por completo, uma planilha eletrônica foi elaborada com a anotação dos dados de cada artigo para cada informação pertinente ao cultivo do milho, às doses aplicadas, aos métodos de aplicação dos fertilizantes aplicados, e aos valores das variáveis agronômicas estudadas.

A partir desta planilha foi possível realizar as análises obtidas e confeccionar as figuras apresentadas consolidando as informações.

O total de artigos obtidos pela busca após a aplicação dos critérios primários retornou 848 artigos publicados consoantes aos termos de busca inseridos. A Tabela 2 mostra a síntese da busca organizada pela ordem lógica aplicada.

**TABELA 2** – Ordem lógica da busca pelos termos (*strings* de busca) utilizados e quantidade de respostas obtidas.

Campo 1	Conectivo 1	Termo 1	Conectivo 2	Campo 2	Termo 2	Resposta
Título	é (exato)	<i>corn</i>	e ( <i>and</i> )	qualquer campo (contém)	<i>urea</i>	356
Título	é (exato)	<i>maize</i>	e ( <i>and</i> )	qualquer campo (contém)	<i>urea</i>	421
Título	é (exato)	<i>corn</i>	e ( <i>and</i> )	qualquer campo (contém)	<i>ammonium sulfate</i>	25
Título	é (exato)	<i>maize</i>	e ( <i>and</i> )	qualquer campo (contém)	<i>ammonium sulfate</i>	46

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após as leituras dos títulos e dos resumos de todos os artigos pré-selecionados, foi possível aplicar a segunda camada de filtragem objetivando atender aos critérios secundários.

Os dados de cada artigo que preencheu os requisitos de conteúdo (critérios secundários) foram tabulados utilizando planilha desenvolvida no *software* Microsoft

Excel. As informações obtidas nos títulos e resumos possibilitaram a redução do número de material que passou para a etapa de leitura completa.

Os trabalhos que foram selecionados após a leitura completa, para este estudo, totalizaram 32 artigos e são elencados na Tabela 3.

**TABELA 3 – Artigos selecionados para o estudo.**

1	ABBASI, M. K.; et al. Effect of N fertilizer source and timing on yield and N use efficiency of rainfed maize ( <i>Zea mays L.</i> ) in Kashmir–Pakistan. <b>Geoderma</b> , v. 195–196, 87–93, 2013.
2	AGYIN-BIRIKORANG, S.; et al. Application timing of urea supergranules for climate-resilient maize cultivars grown in Northern Ghana. <b>Journal of Plant Nutrition</b> , v. 43, n. 7, 949-964, 2020.
3	ALMEIDA, R. E. M.; et al. Effects of nitrogen fertilization on yield components in a corn-palisadegrass intercropping system. <b>Australian Journal of Crop Science</b> , v. 11, n. 03, 352-359, 2017.
4	CARVALHO, M.; et al. Response of the type of nitrogen resource in the quality of maize cultivated in southern Amazonia. <b>Tropical and Subtropical Agroecosystems</b> , v. 22, n. 3, 2019.
5	da Silva, M. A. G.; et al. Ammonium sulphate on maize crops under no tillage. <b>Bragantia</b> , v. 71, n. 1, p.90-97, 2012.
6	FAN, Z.; et al. Co-application of controlled-release urea and a superabsorbent polymer to improve nitrogen and water use in maize. <b>Archives of Agronomy and Soil Science</b> , v.68, n.7, 914-928, 2022.
7	GU, L.; et al. Nitrogen reduction combined with ETc irrigation maintained summer maize yield and increased water and nitrogen use efficiency. <b>Frontiers in Plant Science</b> , v. 14, 2023.
8	GUO, J.; et al. Blending urea and slow-release nitrogen fertilizer increases dryland maize yield and nitrogen use efficiency while mitigating ammonia volatilization. <b>Science of The Total Environment</b> , v. 790, 2021.
9	HAN, Y.; et al. Strip deep rotary tillage combined with controlled-release urea improves the grain yield and nitrogen use efficiency of maize in the North China Plain. <b>Journal of Integrative Agriculture</b> , v. 21, n. 9, 2559-2576, 2022.
10	HAO, X.; et al. Change in maize yield, N use efficiencies and climatic warming potential after urea combined with Nitrapyrin and NBPT during the growing season in a black soil. <b>Soil and Tillage Research</b> , v. 231, 2023.
11	HU, H.; et al. Coupling effects of urea types and subsoiling on nitrogen–water use and yield of different varieties of maize in northern China. <b>Field Crops Research</b> , v. 142, 85-94, 2013.
12	HU, K.; et al. Reduced and deep application of controlled-release urea maintained yield and improved nitrogen-use efficiency. <b>Field Crops Research</b> , v. 295, 2023.
13	IMRAN; et al. Adequate fertilization, application method and sowing techniques improve maize yield and related traits. <b>Communications in Soil Science and Plant Analysis</b> , v. 52, n.19, 2318-2330, 2021.
14	KAPP-JUNIOR, C.; Regression modeling nitrogen fertilization requirement for maize crop by combining spectral reflectance and agronomic efficiency. <b>Journal of Plant Nutrition</b> , v. 43, n.14, 2152-2163, 2020.
15	KHAN, H.; et al. Integrated management of different nitrogen sources for maize production. <b>Pakistan Journal of Agricultural Sciences</b> , v. 50, 55-61, 2013.
16	KUMAR, K.; et al. Enhancing maize yield in a conservation agriculture-based maize ( <i>Zea mays</i> )-wheat ( <i>Triticum aestivum</i> ) system through efficient nitrogen management. <b>Indian Journal of Agricultural Sciences</b> , v. 93, n. 4, 420–424, 2023.
17	LI, C; et al. Mixture of controlled release and normal urea to optimize nitrogen management for high-yielding (>15 Mg ha <sup>-1</sup> ) maize. <b>Agronomy Journal</b> , v. 112, n. 4, 3101-3113, 2020.
18	LI, G.; et al. Controlled-release urea combining with optimal irrigation improved grain yield, nitrogen uptake, and growth of maize. <b>Agricultural Water Management</b> , v. 227, 2020.
19	LIANG, H.; et al. Integrated N management improves nitrogen use efficiency and economics in a winter wheat–summer maize multiple-cropping system. <b>Nutr Cycl Agroecosyst</b> , v.115, 2019.
20	LIU, J.; et al. Assessment of yield and nitrogen utilization of the mixed cru and urea in wheat–maize production in a 5-year field trial. <b>Sustainability</b> , v. 14, 2022.

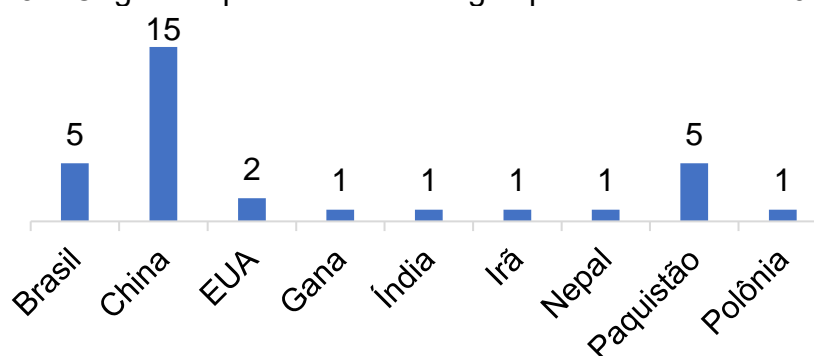
- 21 MUHAMMAD, B.; et al. Substituting urea by organic wastes for improving maize yield in alkaline soil. **Journal of Plant Nutrition**, v. 42, n. 19, 2423-2434, 2019.
- 22 PANDIT, N. R.; et al. Slow but sure: the potential of slow-release nitrogen fertilizers to increase crop productivity and farm profit in Nepal. **Journal of Plant Nutrition**, v. 45, n.19, 2986-3003, 2022.
- 23 PEREIRA, C. S.; et al. Urease inhibitor on performance of corn hybrids in second crop in Sinop-MT. **Scientific Electronic Archives**, v. 13, n. 6, p. 40–45, 2020.
- 24 QUINN, D. J.; et al. Corn optimum nitrogen fertilizer rate and application timing when following a rye cover crop. **Field Crops Research**, v. 291, 2023.
- 25 SABOURIFARD, H.; et al. The quality and quantity response of maize (*Zea mays L.*) yield to planting date and fertilizers management. **Food Chemistry Advances**, v. 2, 2023.
- 26 SANTOS, R. B.; et al. Oil-based polyurethane-coated urea reduces nitrous oxide emissions in a corn field in a Maryland loamy sand soil. **Journal of Cleaner Production**, v. 249, 2020.
- 27 SZULC, P.; et al. Response of maize varieties (*Zea mays L.*) to the application of classic and stabilized nitrogen fertilizers-nitrogen as a predictor of generative yield. **Plants (Basel)**, v. 12, n. 3, 2023.
- 28 ULLAH, I.; et al. Gibberellic acid and urease inhibitor optimize nitrogen uptake and yield of maize at varying nitrogen levels under changing climate. **Environ Sci Pollut Res Int.** v. 29, n. 5, 6568-6577, 2022.
- 29 WANG, J.; et al. Nitrogen application increases soil microbial carbon fixation and maize productivity on the semiarid Loess Plateau. **Plant Soil**, v. 488, 9–22, 2023.
- 30 XIE, Y.; et al. Reduction in nitrogen fertilizer applications by the use of polymer-coated urea: effect on maize yields and environmental impacts of nitrogen losses. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, n. 5, 2259-2266, 2019.
- 31 XU, X.; et al. Use of controlled-release urea to improve yield, nitrogen utilization, and economic return and reduce nitrogen loss in wheat-maize crop rotations. **Agronomy**, v. 11, 2021.
- 32 ZHENG, W.; et al. Improving crop yields, nitrogen use efficiencies, and profits by using mixtures of coated controlled-released and uncoated urea in a wheat-maize system. **Field Crops Research**, v. 205, 106-115, 2017.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Foram encontrados trabalhos oriundos de diferentes nacionalidades. O maior número de publicações sobre o tema foi realizado pela China com um total de 15 artigos publicados dentro do período de estudo.

O Brasil empatou como Paquistão na segunda colocação ao publicarem em forma de artigo completo cinco trabalhos. A Figura 2 apresenta todos os países de origem e respectivas quantidades de artigos publicados no período estudado.

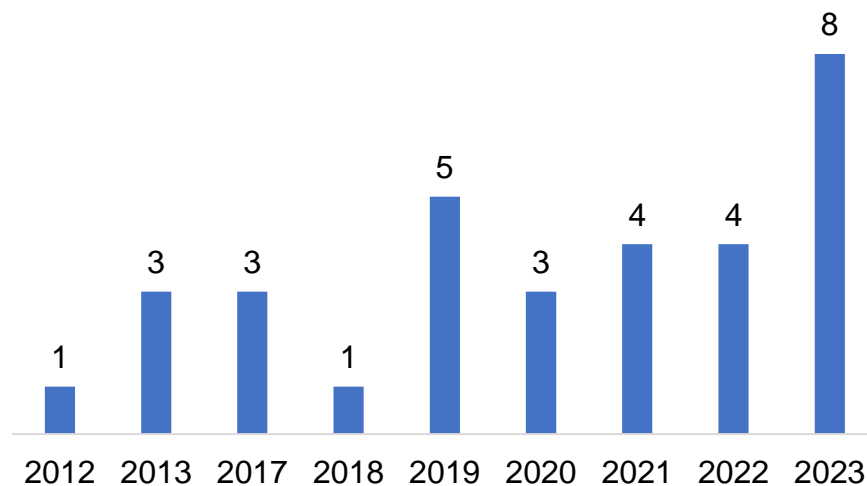
**FIGURA 3** – Origem e quantidade de artigos publicados entre 2012 e 2023.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto a distribuição dos trabalhos ao longo do período determinado, foi verificado que os anos de 2014 a 2016 não apresentaram artigos que cumpriam com os critérios secundários. A quantidade de artigos publicados que satisfizesse aos critérios de conteúdo apresentou destaque para o ano de 2023 (ano da última atualização da busca) que apresentou um total de 8 trabalhos que estudaram diferentes doses de N para o milho, conforme Figura 3.

**FIGURA 4** – Distribuição dos artigos selecionados dentro do período estudado.



Fonte: Elaborado pelo autor.

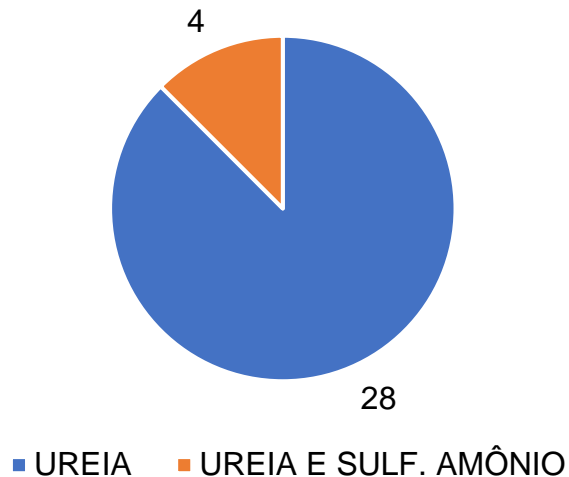
Os estudos anteriores ao ano de 2018 utilizaram com maior frequência diferentes quantidades de N nas doses aplicadas para estudar a influência delas no desenvolvimento do milho.

Os avanços advindos com o desenvolvimento de novas tecnologias em conjunto com as demandas socioambientais, fizeram com que os objetivos de estudo migrassem do desenvolvimento do milho para alternativas às perdas de N na adubação do milho. Esses estudos utilizaram variações das doses de ureia convencional em comparação a aplicação de ureia revestida com polímeros que retardam a liberação de N.

As fontes de nitrogênio selecionadas para este trabalho foram todas puras, sem qualquer tipo de mistura, dissolução ou inibição das reações naturais dos compostos nitrogenados. A principal fonte de nitrogênio utilizada nas pesquisas foi a ureia sendo aplicada em todos os experimentos, alguns dos trabalhos estudados expuseram a razão como o custo/benefício, disponibilidade local e facilidade de aplicação, e ainda por comparações a ureia revestida (o que não foi estudado neste

trabalho). Apenas quatro trabalhos utilizaram o sulfato de amônio como fonte de N para o milho, nesses casos a ureia também foi utilizada de forma independente. A Figura 4 apresenta a proporção de uso das fontes.

**FIGURA 5** – Utilização das fontes ureia e sulfato de amônio nos artigos estudados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Dos 32 trabalhos, 12 artigos utilizaram mais de uma quantidade de N nas doses aplicadas, sendo que os demais estudos apresentaram ao menos uma dose.

A quantidade (dose) de nitrogênio mais empregada entre todos os trabalhos foi de 150 Kg ha<sup>-1</sup>. A menor dose, dentre os estudos, foi de 20 Kg ha<sup>-1</sup> (empregada no estudo de Kapp-Junior et al., 2020). Já a maior dose de N aplicada ao milho nos estudos foi de 450 Kg ha<sup>-1</sup> (informada na obra de Zheng et al, 2017). A quantidade média de N aplicado por todos os trabalhos foi de 166 Kg ha<sup>-1</sup>. Essas quantidades referem-se a dose completa de N, que em alguns trabalhos foi dividida em mais de uma aplicação. A Tabela 4 apresenta os artigos e suas doses de N e quantidades de aplicações.

**TABELA 4** – Artigos, suas doses de N e quantidades de aplicações.

TÍTULO DO ARTIGO	PAÍS	FONTE N	DOSES DE N E APLICAÇÕES (Kg ha <sup>-1</sup> )			
			1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>
Enhancing maize yield in a conservation agriculture-based maize ( <i>Zea mays</i> )-wheat ( <i>Triticum aestivum</i> ) system through efficient nitrogen management	ÍNDIA	UREIA	150	-	-	-
Urease inhibitor on performance of corn hybrids in second crop in Sinop-MT	BRASIL	UREIA	250	-	-	-

Mixture of controlled release and normal urea to optimize nitrogen management for high-yielding (>15 Mg ha <sup>-1</sup> ) maize	China	UREIA	180	240	-	-
The quality and quantity response of maize ( <i>Zea mays</i> L.) yield to planting date and fertilizers management	Irã	UREIA	200	-	-	-
Corn optimum nitrogen fertilizer rate and application timing when following a rye cover crop	EUA	UREIA	34	-	-	-
Effect of N fertilizer source and timing on yield and N use efficiency of rainfed maize ( <i>Zea mays</i> L.) in Kashmir–Pakistan	Paquistão	AMBOS	120	-	-	-
Controlled-release urea combining with optimal irrigation improved grain yield, nitrogen uptake, and growth of maize	China	UREIA	315	-	-	-
Slow but sure: the potential of slow-release nitrogen fertilizers to increase crop productivity and farm profit in Nepal	Nepal	UREIA	60	60	-	-
Improving crop yields, nitrogen use efficiencies, and profits by using mixtures of coated controlled-released and uncoated urea in awheat-maize system	China	UREIA	300	450	-	-
Application timing of urea supergranules for climate-resilient maize cultivars grown in Northern Ghana	Gana	UREIA	112,5	-	-	-
Nitrogen application increases soil microbial carbon fixation and maize productivity on the semiarid Loess Plateau	China	UREIA	100	200	300	-
Assessment of Yield and Nitrogen Utilization of the Mixed CRU and Urea in Wheat–Maize Production in a 5-Year Field Trial	China	UREIA	291	-	-	-
Blending urea and slow-release nitrogen fertilizer increases dryland maize yield and nitrogen use efficiency while mitigating ammonia volatilization	China	UREIA	180	240	-	-
Gibberellic acid and urease inhibitor optimize nitrogen uptake and yield of maize at varying nitrogen levels under changing climate	Paquistão	UREIA	120	150	-	-
Nitrogen reduction combined with ETc irrigation maintained summer maize yield and increased water and nitrogen use efficiency	China	UREIA	240	-	-	-
Substituting urea by organic wastes for improving maize yield in alkaline soil	Paquistão	UREIA	150	-	-	-
Coupling effects of urea types and subsoiling on nitrogen–water use and yield of different varieties of maize in northern China	China	UREIA	225	-	-	-
Reduction in nitrogen fertilizer applications by the use of polymer-coated urea: effect on maize yields and environmental impacts of nitrogen losses	China	UREIA	240	-	-	-
Oil-based polyurethane-coated urea reduces nitrous oxide emissions in a corn field in a Maryland loamy sand soil	EUA	UREIA	160	-	-	-
Regression modeling nitrogen fertilization requirement for maize crop by combining spectral	BRASIL	UREIA	0; 20; 40 e 60	0; 80; 160 e 240	-	-

reflectance and agronomic efficiency							
Co-application of controlled-release urea and a superabsorbent polymer to improve nitrogen and water use in maize	China	UREIA	160	-	-	-	
Reduced and deep application of controlled-release urea maintained yield and improved nitrogen-use efficiency	China	UREIA	250	-	-	-	
Adequate Fertilization, Application Method and Sowing Techniques Improve Maize Yield and Related Traits	Paquistão	AMBOS	150	-	-	-	
Change in maize yield, N use efficiencies and climatic warming potential after urea combined with Nitrapyrin and NBPT during the growing season in a black soil	China	UREIA	74	74	-	-	
Response of Maize Varieties (Zea mays L.) to the Application of Classic and Stabilized Nitrogen Fertilizers—Nitrogen as a Predictor of Generative Yield	Polônia	UREIA	150	-	-	-	
Use of Controlled-Release Urea to Improve Yield, Nitrogen Utilization, and Economic Return and Reduce Nitrogen Loss in Wheat-Maize Crop Rotations	China	UREIA	150	-	-	-	
Integrated N management improves nitrogen use efficiency and economics in a winter wheat–summer maize multiplecropping system	China	UREIA	120	120	-	-	
Strip deep rotary tillage combined with controlled-release urea improves the grain yield and nitrogen use efficiency of maize in the North China Plain	China	UREIA	225	-	-	-	
Effects of nitrogen fertilization on yield components in a corn-palisdegrass intercropping system	BRASIL	UREIA	50	100	150	200	
Integrated management of different nitrogen sources for maize production	Paquistão	UREIA	250	-	-	-	
Response of the type of nitrogen resource in the quality of maize cultivated in southern Amazonia	BRASIL	AMBOS	65; 130; 195 e 260	-	-	-	
Ammonium sulphate on maize crops under no tillage	BRASIL	AMBOS	120 e 144	-	-	-	

Fonte: Elaborado pelo autor.

As aplicações foram realizadas de diferentes modos a saber: a) incorporação ao solo no período de preparo para plantio; b) durante a semeadura do milho depositando o fertilizante em 5-10 cm de distância da semente; c) depósito de fertilizante por sulcos e posterior fechamento e; d) aplicação por cobertura entre as linhas de plantio.

Os parâmetros técnicos que influenciaram as opções das quantidades para tais doses não foram explicitamente relacionados nos experimentos, à exceção de alguns trabalhos chineses que utilizaram recomendações do órgão nacional chinês

para agricultura e adubação e, do Paquistão que utilizou de práticas de manejo de adubação realizadas por agricultores regionais.

Não foram mencionados nos trabalhos brasileiros quaisquer tipos de referência para a escolha das quantidades aplicadas de N, apenas o suprimento mínimo de N para o desenvolvimento da planta do milho.

#### 4 CONCLUSÃO

Conforme observado nas leituras dos artigos selecionados, não foram utilizadas pelos autores dos trabalhos recomendações técnicas para adubação do milho que foram previamente publicadas.

A fonte de N mais utilizada foi a ureia (convencional), testada em todos os experimentos. A fonte de N sulfato de amônio foi aplicada em quatro trabalhos.

A menor quantidade de N aplicada foi de 20 Kg ha<sup>-1</sup>. A maior dose foi de 450 Kg ha<sup>-1</sup> e a dose média utilizada foi de 166 Kg ha<sup>-1</sup>. A dose mais praticada pelos autores foi de 150 Kg ha<sup>-1</sup>.

Foram empregados quatro métodos de aplicação do N: a) incorporação ao solo no período de preparo para plantio; b) durante a semeadura do milho depositando o fertilizante em 5-10 cm de distância da semente; c) depósito de fertilizante por sulcos e posterior fechamento e; d) aplicação por cobertura entre as linhas de plantio.

## REFERÊNCIAS

- ABBASI, M. K.; TAHIR, M. M.; RAHIM, N. Effect of N fertilizer source and timing on yield and N use efficiency of rainfed maize (*Zea mays L.*) in Kashmir–Pakistan. **Geoderma**, v. 195–196, 87-93, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.11.013>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706112004090>. Acesso em: 27 janeiro 2024.
- AGYIN-BIRIKORANG, S.; TINDJINA, I.; FUSEINI, A. R. A.; DAUDA, H. W.; ISSAHAKU, R. A.; SINGH, U. Application timing of urea supergranules for climate-resilient maize cultivars grown in Northern Ghana. **Journal of Plant Nutrition**, v. 43, n. 7, 949-964, 2020. DOI: 10.1080/01904167.2019.1702207. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01904167.2019.1702207>. Acesso em: 27 janeiro 2024.
- ALMEIDA, R. E. M.; FAVARIN, J. L.; OTTO, R.; JUNIOR, C. P.; OLIVEIRA, S. M.; TEZOTTO, T.; LAGO, B. C. Effects of nitrogen fertilization on yield components in a corn-palisadegrass intercropping system. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 03, 352-359, 2017. DOI: 10.21475/ajcs.17.11.03.pne273. Disponível em: [http://www.cropj.com/almeida\\_11\\_3\\_2017\\_352\\_359.pdf](http://www.cropj.com/almeida_11_3_2017_352_359.pdf). Acesso em: 27 janeiro 2024.
- BARROS DOS SANTOS, J.; NASCIMENTO SILVA, A.; DE OLIVEIRA CRUZ, J.; BARROS DOS SANTOS, R.; FERREIRA DA SILVA, R. Características agronômicas e avaliação econômica do milho sob doses de nitrogênio na forma de ureia comum e peletizada. **Agri-environmental Sciences**, v. 6, 2020. DOI: <https://doi.org/10.36725/agries.v6i0.3561>. Disponível em: <https://revista.unitins.br/index.php/agri-environmental-sciences/article/view/3561>. Acesso 27 janeiro 2024.
- BATISTA, V. V.; ADAMI, P. F.; OLIGINI, K. F.; RUTHES, B. E. S.; LINK, L.; GIARETTA, R. Níveis de nitrogênio no cultivo de milho segunda safra com elevadas densidades de plantas. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, n. 1, 83-100, 2020. DOI:10.17765/2176-9168.2020v13n1p83-100. Disponível em: <https://www.proquest.com/docview/2425834345?parentSessionId=3I2B63DTm5QBS6jvTDd29RnJDtyCgwQJznyrPFbHuXE%3D&sourcetype=Scholarly%20Journals>. Acesso 27 janeiro 2024.
- CARVALHO, M., MENDES, E., YAMASHITA, O., DALLACORT, R., SILVA, I., OLIVEIRA, L., & DOMINGUES, S. Response of the type of nitrogen resource in the quality of maize cultivated in southern Amazonia. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v. 22, n. 3, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.2888>. Disponível em: <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/2888>. Acesso em: 27 janeiro 2024.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Calendário de Plantio e Colheita de Grãos no Brasil 2022. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 27 janeiro 2024.

CONFORTO E. C., AMARAL D. C., SILVA S. L. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. 8º Congresso Brasileiro de Gestão do Desenvolvimento de Produtos (CBGDP), Porto Alegre, 2011. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/267380020\\_Roteiro\\_para\\_Revisao\\_Bibliografica\\_Sistematica\\_Aplicacao\\_no\\_Deenvolvimento\\_de\\_Produtos\\_e\\_Gerenciamento\\_de\\_Projetos](https://www.researchgate.net/publication/267380020_Roteiro_para_Revisao_Bibliografica_Sistematica_Aplicacao_no_Deenvolvimento_de_Produtos_e_Gerenciamento_de_Projetos). Acesso em 10 de agosto de 2024.

DA SILVA, M. A. G.; MANNIGEL, A. R.; MUNIZ, A. S.; PORTO, S. M. A.; MARCHETTI, M. E.; NOLLA, A.; BERTANI, R. M. de A. Ammonium sulphate on maize crops under no tillage. **Bragantia**, vol. 71, n. 1, 90–97, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052012000100014>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/V5vvGXHr6Ly4q4C9j56FXRC/?lang=en#>. Acesso em 27 janeiro 2024

FAN, Z.; TIAN, X.; ZHAI, S.; LIU, Z.; CHU, P.; LI, C.; SUN, S.; LI, T. Co-application of controlled-release urea and a superabsorbent polymer to improve nitrogen and water use in maize. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v.68, n.7, 914-928, 2022. DOI: 10.1080/03650340.2020.1862803. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03650340.2020.1862803>. Acesso em: 27 janeiro 2024.

GAVASSI, M. A.; FELÍCIO, M. S.; SANTOS, T. B.; HABERMANN, G.; DOMINGUES, D. S. A fisiologia dos estresses abióticos II: nitrogênio, fósforo, alumínio e metais pesados. In: FRITSCHÉ-NETO e BORÉM. **Melhoramento de plantas para estresses abióticos**. 2ed. Viçosa, MG : Ed. UFV, 2022. Cap. 4, p. 63-92.

GU, L.; MU, X.; QI, J.; TANG, B.; ZHEN, W.; XIA, L. Nitrogen reduction combined with ETc irrigation maintained summer maize yield and increased water and nitrogen use efficiency. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1180734>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2023.1180734/full>. Acesso em: 27 janeiro 2024.

GUO, J.; FAN, J.; ZHANG, F.; YAN, S.; ZHENG, J.; WU, Y.; LI, J.; WANG, Y.; SUN, X.; LIU, X.; XIANG, Y.; LI, Z. Blending urea and slow-release nitrogen fertilizer increases dryland maize yield and nitrogen use efficiency while mitigating ammonia volatilization. **Science of The Total Environment**, v. 790, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148058>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721031296>. Acesso em: 27 janeiro 2024.

HAN, Y.; GUO, D.; MA, W.; GE, J.; LI, X.; MEHMOOD, A. N.; ZHAO, M.; ZHOU, B. Strip deep rotary tillage combined with controlled-release urea improves the grain yield and nitrogen use efficiency of maize in the North China Plain. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 21, n. 9, 2559-2576, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jia.2022.07.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095311922000181>. Acesso em: 27 janeiro 2024.

HAO, X.; SUN, L.; ZHOU, B.; MA, X.; WANG, S.; LIU, S.; JI, J.; KUANG, E.; QIU, S. Change in maize yield, N use efficiencies and climatic warming potential after urea combined with Nitrapyrin and NBPT during the growing season in a black soil. **Soil and Tillage Research**, v. 231, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105721>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167198723000880>. Acesso em: 27 janeiro 2024.

HU, H.; NING, T.; LI, Z.; HAN, H.; ZHANG, Z.; QIN, S.; ZHENG, Y. Coupling effects of urea types and subsoiling on nitrogen–water use and yield of different varieties of maize in northern China. **Field Crops Research**, v. 142, 85-94, 2013. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.12.001>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037842901200411X>. Acesso em: 27 janeiro 2024.

HU, K.; ZHAO, P.; WU, K.; YANG, H.; YANG, Q.; FAN, M.; LONG, G. Reduced and deep application of controlled-release urea maintained yield and improved nitrogen-use efficiency. **Field Crops Research**, v. 295, 2023. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.108876>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378429023000692>. Acesso em: 27 janeiro 2024.

IMRAN; AMANULLAH; ALI KHAN, A.; MAHMOOD, T.; TAWAHA, A. R. T.; KHANUM, S. Adequate fertilization, application method and sowing techniques improve maize yield and related traits. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 52, n.19, 2318-2330, 2021. DOI: 10.1080/00103624.2021.1925688. Disponível em:

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00103624.2021.1925688>. Acesso em: 27 janeiro 2024.

KAPP-JUNIOR, C.; CAIRES, E. F.; GUIMARÃES, A. M.; AULER, A. C. Regression modeling nitrogen fertilization requirement for maize crop by combining spectral reflectance and agronomic efficiency. **Journal of Plant Nutrition**, v. 43, n.14, 2152-2163, 2020. DOI: 10.1080/01904167.2020.1766074. Disponível em:

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01904167.2020.1766074>. Acesso em:

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01904167.2020.1766074>. Acesso em: 27 janeiro 2024.

KHAN, H.; IQBAL, S.; AKBAR, N.; SALEEM, M. F.; IQBAL, A. M. Integrated management of different nitrogen sources for maize production. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, v. 50, 55-61, 2013. Disponível em:

<https://www.semanticscholar.org/paper/Integrated-management-of-different-nitrogen-sources-Khan-Iqbal/53fa3ad1530d2c6be88062ad941ba53558929fbe>. Acesso em: 27 janeiro 2024.

KUMAR, K.; PARIHAR, C. M.; NAYAK, H.; GODARA, S.; AVINASH, G.; PATRA, K.; SENA REDDY, K. S.; DAS, T. K.; JAT, S. L.; GHATALA, M. K.; SINGH, U.; SHARAWAT, Y. S. Enhancing maize yield in a conservation agriculture-based maize (*Zea mays*)- wheat (*Triticum aestivum*) system through efficient nitrogen management. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 93, n. 4, 420–424, 2023. DOI: <https://hdl.handle.net/10883/22776>. Disponível em:

<https://hdl.handle.net/10883/22776>. Disponível em:

<https://cgspace.cgiar.org/items/879b0428-0219-44bc-b598-88b8856cdc76>. Acesso em: 27 janeiro 2024.

LI, C.; WANG, Y.; LI, Y.; ZHU, L.; CAO, Y.; ZHAO, X.; FENG, G.; GAO, Q. Mixture of controlled release and normal urea to optimize nitrogen management for high-yielding (>15 Mg ha<sup>-1</sup>) maize. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 4, 3101-3113, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/agj2.20252>. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/agj2.20252>. Acesso em: 27 janeiro 2024.

LI, G.; ZHAO, B.; DONG, S.; ZHANG, J.; LIU, P.; LU, W. Controlled-release urea combining with optimal irrigation improved grain yield, nitrogen uptake, and growth of maize. **Agricultural Water Management**, v. 227, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105834>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377419301064>. Acesso em: 27 janeiro 2024.

LIANG, H.; ZHANG, X.; HAN, J.; LIAO, Y.; LIU, Y.; WEN, X. Integrated N management improves nitrogen use efficiency and economics in a winter wheat–summer maize multiple-cropping system. **Nutr Cycl Agroecosyst**, v.115, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10705-019-10014-3>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10705-019-10014-3>. Acesso em: 27 janeiro 2024.

LIU, J.; ZHU, G.; SHI, G.; YI, W.; XIAO, Q. Assessment of yield and nitrogen utilization of the mixed cru and urea in wheat–maize production in a 5-year field trial. **Sustainability**, v. 14, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su142214943>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/22/14943>. Acesso em: 27 janeiro 2024.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA - MAPA. Exportações Brasileiras: Milho. Secretaria de Comércio e Relações internacionais. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/relacoes-internacionais/documentos/Milho.pdf>. Acesso em 01 de agosto de 2024.

MUHAMMAD, B.; ADNAN, M.; MUNSIF, F.; FAHAD, S.; SAEED, M.; WAHID, F.; ARIF, M.; AMANULLAH, JR.; WANG, D.; SAUD, S. NOOR, M.; ZAMIN, M.; SUBHAN, F.; SAEED, B.; RAZA, M. A.; MIAN, I. A. Substituting urea by organic wastes for improving maize yield in alkaline soil. **Journal of Plant Nutrition**, v. 42, n. 19, 2423-2434, 2019. DOI: 10.1080/01904167.2019.1659344. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01904167.2019.1659344>. Acesso em: 27 janeiro 2024.

PANDIT, N. R.; GAIHRE, Y. K.; CHOUDHARY, D.; SUBEDI, R.; THAPA, S. B.; MAHARJAN, S.; KHADKA, D.; VISTA, S. P.; RUSINAMHODZI, L. Slow but sure: the potential of slow-release nitrogen fertilizers to increase crop productivity and farm profit in Nepal. **Journal of Plant Nutrition**, v. 45, n.19, 2986-3003, 2022. DOI: 10.1080/01904167.2022.2067053. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01904167.2022.2067053>. Acesso em: 27 janeiro 2024.

PEREIRA, C. S.; WIEST, G.; FIORINI, I. V. A.; SCHOFFEN, M.; ZANETTI, V. H.; SILVA, A. A. Urease inhibitor on performance of corn hybrids in second crop in Sinop-MT. **Scientific Electronic Archives**, v. 13, n. 6, p. 40–45, 2020. DOI: 10.36560/13620201087. Disponível em: <https://sea.ufr.edu.br/SEA/article/view/1087>. Acesso em: 27 janeiro 2024.

QUINN, D. J.; POFFENBARGER, H. J.; MIGUEZ, F. E.; LEE, C. D. Corn optimum nitrogen fertilizer rate and application timing when following a rye cover crop. **Field Crops Research**, v. 291, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108794>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429022003653>. Acesso em: 27 janeiro 2024.

RABELO, C. R. O.; PINTO, V. B. Tendências nos estudos de representação temática da informação: uma revisão integrativa dos artigos científicos indexados na Brapci. **Em Questão**, v. 25, n. 2, p. 66-88, 2019. DOI: <https://doi.org/10.19132/1808-5245252.66-88>. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/4656/465658944003/html/>. Acesso em 27 janeiro 2024.

RHEZALI, A.; LAHLALI, R. Nitrogen (N) mineral nutrition and imaging sensors for determining n status and requirements of maize. **J. Imaging**, v. 3, n. 51, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/jimaging3040051>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2313-433X/3/4/51>. Acesso em 27 janeiro 2024.

ROCHA, C. C.; PINTO, V. B.; DAVID, P. B. Arquitetura da informação: revisão integrativa em bases de dados de ciência da informação. **Informação & Informação**, v. 25, n. 2, p. 49–73, 2020. DOI: 10.5433/1981-8920.2020v25n2p49. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/informacao/article/view/38061>. Acesso em 27 janeiro 2024.

SABOURIFARD, H.; ESTAKHR, A.; BAGHERI, M.; HOSSEINI, S. J.; KESHAVARZ, H. The quality and quantity response of maize (*Zea mays L.*) yield to planting date and fertilizers management. **Food Chemistry Advances**, v. 2, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100196>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772753X23000163>. Acesso em: 27 janeiro 2024.

SANTOS, R. B.; CAVIGELLI, M. A.; MONTES, S. E.; SCHOMBERG, H. H.; LE, A.; THOMPSON, A. I.; KRAMER, M.; POLITO, W. L.; RIBEIRO, C. Oil-based polyurethane-coated urea reduces nitrous oxide emissions in a corn field in a Maryland loamy sand soil. **Journal of Cleaner Production**, v. 249, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119329>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965261934199X>. Acesso em: 27 janeiro 2024.

SOUZA, M. T. de; SILVA, M. D. da; CARVALHO, R. de. Integrative review: what is it? How to do it? **Einstein**, v. 8, n.1, p. 102-106, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1679-45082010RW1134>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/eins/a/ZQTBkVJZqcWrTT34cXLjtBx/abstract/?lang=pt#>. Acesso em 27 janeiro 2024.

SZULC, P.; KRAUKLIS, D.; AMBROŻY-DERĘGOWSKA, K.; WRÓBEL, B.; NIEDBAŁA, G.; NIAZIAN, M.; SELWET, M. Response of maize varieties (*Zea mays* L.) to the application of classic and stabilized nitrogen fertilizers-nitrogen as a predictor of generative yield. **Plants (Basel)**, v. 12, n. 3, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12030600>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36771683/>. Acesso em: 27 janeiro 2024.

ULLAH, I.; DAWAR, K.; TARIQ, M.; SHARIF, M.; FAHAD, S.; ADNAN, M.; ILAHI, H.; NAWAZ, T.; ALAM, M.; ULLAH, A.; ARIF, M. Gibberellic acid and urease inhibitor optimize nitrogen uptake and yield of maize at varying nitrogen levels under changing climate. **Environ Sci Pollut Res Int.** v. 29, n. 5, 6568-6577, 2022. DOI: 10.1007/s11356-021-16049-w. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34455561/>. Acesso em: 27 janeiro 2024.

WANG, J.; XIE, J.; LI, L.; ZHUZHU, L.; ZHANG, R.; JIANG, Y. Nitrogen application increases soil microbial carbon fixation and maize productivity on the semiarid Loess Plateau. **Plant Soil**, v. 488, 9–22, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05457-7>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-022-05457-7>. Acesso em: 27 janeiro 2024.

XIE, Y.; TANG, L.; HAN, Y.; YANG, L.; XIE, G.; PENG, J.; TIAN, C.; ZHOU, X.; LIU, Q.; RONG, X.; ZHANG, Y. Reduction in nitrogen fertilizer applications by the use of polymer-coated urea: effect on maize yields and environmental impacts of nitrogen losses. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, n. 5, 2259-2266, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.9421>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jsfa.9421>. Acesso em: 27 janeiro 2024.

XU, X.; HE, P.; WEI, J.; CUI, R.; SUN, J.; QIU, S.; ZHAO, S.; ZHOU, W. Use of controlled-release urea to improve yield, nitrogen utilization, and economic return and reduce nitrogen loss in wheat-maize crop rotations. **Agronomy**, v. 11, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11040723>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/4/723>. Acesso em: 27 janeiro 2024.

ZHENG, W.; LIU, Z.; ZHANG, M.; SHI, Y.; ZHU, Q.; SUN, Y.; ZHOU, H.; LI, C.; YANG, Y.; GENG, J. Improving crop yields, nitrogen use efficiencies, and profits by using mixtures of coated controlled-released and uncoated urea in awheat-maize system. **Field Crops Research**, v. 205, 106-115, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.02.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429016308978>. Acesso em: 27 janeiro 2024.

## CAPÍTULO II – SISTEMAS BASEADOS EM REGRAS *FUZZY* PARA A CULTURA DO MILHO EM RESPOSTA ÀS DIFERENTES DOSES DE UREIA E DE SULFATO DE AMÔNIO EM COBERTURA

### RESUMO

O milho é altamente dependente de nitrogênio (N) elemento diretamente ligado ao desenvolvimento da planta. Recomendações para doses de N dependem de especialistas que consideram diversos fatores para o cálculo. Modelos matemáticos que utilizam lógica *Fuzzy* são sistemas especialistas e podem auxiliar na tomada de decisão. O objetivo deste trabalho foi desenvolver dois Sistemas Baseados em Regras *Fuzzy* (SBRF) para a cultura do milho em resposta a diferentes doses de ureia e de sulfato de amônio. Para o desenvolvimento dos SBRFs utilizou-se os dados provenientes de experimento realizado por Goes et al. (2014) que avaliaram 13 variáveis a saber: Número de espigas por planta; Índice de área foliar; Diâmetro da espiga; Diâmetro do colmo; Altura de inserção da primeira espiga; Altura de planta; Número de grãos por espiga; Número de fileiras por espiga; Número de grãos por fileira; Massa de cem grãos; Produtividade de grãos; Teor de nitrogênio foliar e Teor de nitrogênio no grão. Os conjuntos *Fuzzy* de entrada foram elaborados empregando os valores das doses aplicadas a cinco funções de pertinência ( $C_i$ ,  $i = 1, 2, 3, 4, 5$ ). Os delimitadores de entrada foram calculados para atender a forma triangular de função de pertinência. Para as funções de pertinência dos conjuntos de saída foram utilizadas técnicas estatísticas para a determinação das funções de pertinência com base nos dados auferidos no experimento. A inferência por Mamdani foi utilizada para as etapas de *fuzzificação* e *defuzzificação* das variáveis. Os SBRFs puderam apresentar diversos valores específicos para cada uma das variáveis estudadas sendo possível aplicar os modelos atendendo às diversas finalidades do milho.

**Palavras-chave:** Mamdani. Inferência. *Fuzzy*. Milho. Nitrogênio

## CHAPTER II – FUZZY RULE-BASED SYSTEMS FOR CORN CROP IN RESPONSE TO DIFFERENT DOSES OF UREA AND AMMONIUM SULFATE IN TOPDRESSING

### ABSTRACT

Corn is highly dependent on nitrogen (N), an element directly linked to plant development. Recommendations for N doses depend on experts who consider several factors for calculation. Mathematical models that use Fuzzy logic are expert systems and can assist in decision making. The objective of this study was to develop two Fuzzy Rule-Based Systems (FRBS) for corn crops in response to different doses of urea and ammonium sulfate. To develop the FRBS, data from an experiment carried out by Goes et al. (2014) were used, which evaluated 13 variables, namely: Number of ears per plant; Leaf area index; Ear diameter; Stalk diameter; First ear insertion height; Plant height; Number of grains per ear; Number of rows per ear; Number of grains per row; One hundred-grain mass; Grain productivity; Leaf nitrogen content and Grain nitrogen content. The input fuzzy sets were prepared using the values of the doses applied to five membership functions ( $C_i, i=1,2,3,4,5$ ). The input delimiters were calculated to meet the triangular form of the membership function. For the membership functions of the output sets, statistical techniques were used to determine the membership functions based on the data obtained in the experiment. Mamdani inference was used for the fuzzification and defuzzification steps of the variables. The FRBS were able to present several specific values for each of the variables studied, making it possible to apply the models to meet the various purposes of corn.

**Keywords:** Mamdani. Inference. *Fuzzy*. Corn. Nitrogen.

## 1 INTRODUÇÃO

A ureia (U) convencional é a fonte de nitrogênio (N) mais utilizada na produção do milho. Seu menor custo de aquisição e maior teor de N do que outras fontes de N (nitrato de amônio e sulfato de amônio) são atrativos para uso em cobertura. A U é mais propensa a perdas, 20 a 70% por volatilização de amônia quando aplicado na superfície do solo (SOUZA et al., 2017).

O sulfato de amônio (SA) é a segunda fonte de fertilizante nitrogenado mais utilizada no Brasil. Este fertilizante, contém 23% de N em sua composição, mas, seu elevado custo de produção por unidade de N e a sua baixa disponibilidade na forma granulada fazem com que a sua utilização na agricultura não apresente uma maior evolução (VIEIRA, 2017).

As importações de fertilizantes Nitrogenados, Fosfatados e Potássicos saltaram de 32% em 1988 para mais de 80% em 2019, alcançando mais de 9,5 bilhões de dólares em importações (ANDA, 2020).

Os fertilizantes nitrogenados representaram 35% do volume total importado, com 8,77 milhões de toneladas. A Rússia foi o principal local de origem do nitrato de amônio e China e Bélgica foram os principais de sulfato de amônio (SAE-PR, 2020).

O uso racional da adubação nitrogenada é fundamental, não somente para aumentar a eficiência (GARCIA et al., 2020), mas também para potencializar a produtividade da cultura e reduzir os custos de produção (BARROS DOS SANTOS et al., 2020).

Nesse seguimento, estudos envolvendo modelos matemáticos que realizem rotinas de cálculos envolvendo informações sobre a atividade são muito importantes para os tomadores de decisão (DOKIĆ, JOVIĆ, 2017).

De acordo com Cardoso et al. (2018), "aplicações de modelos matemáticos e de modelos estatísticos têm permitido definir satisfatoriamente o comportamento dos fenômenos que ocorrem na natureza, em particular na agricultura".

Modelos matemáticos que utilizam lógica *Fuzzy* são desenvolvidos e aplicados a múltiplas atividades agrícolas há muito tempo, perfazendo desde soluções gerenciais para determinação do peso ideal de abate de bovinos de corte (GABRIEL FILHO et al., 2011), e influência do aumento de temperatura para cultivo de orquídeas (PUTTI et al., 2014), estudando também o desenvolvimento da cultura da alface e do

rabanete submetidos a água tratada magneticamente (PUTTI et al., 2016) em diversas lâminas de irrigação (BOSO, 2018) e sem estresse hídrico (CHOUERI, 2018) e o crescimento do tomateiro frente a irrigação com água salinizada (VIAIS NETO et al., 2016).

Considerando os avanços na aplicação de modelos matemáticos aplicados a agricultura e a necessidade de melhores métodos de controle e avaliação da produção agrícola, em especial a adubação nitrogenada do milho, os objetivos deste capítulo são:

- Desenvolver um Sistema Baseado em Regras *Fuzzy* (SBRF) para a cultura do milho em resposta a diferentes doses de ureia.

- Desenvolver um SBRF para a cultura do milho em resposta a diferentes doses de sulfato de amônio.

Como base para a elaboração dos SBRFs foram considerados o aproveitamento de banco de dados oriundo de Goes et al. (2014) que estudaram a cultura do milho submetida a diferentes doses de aplicação de nitrogênio utilizando como fontes a ureia e o sulfato de amônio e; o desenvolvimento das etapas de elaboração do SBRF da cultura do milho para a ureia e sulfato de amônio.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Este tópico aborda sinteticamente a descrição do trabalho de Geos et al. (2014), trabalho que gerou os dados primários aplicados na elaboração dos SBRFs para a cultura do milho em resposta a diferentes doses de ureia e sulfato de amônio.

Em seguida apresenta as etapas de elaboração dos SBRFs propostos.

### *Descrição do experimento utilizado e variáveis estudadas*

Os SBRFs propostos foram elaborados utilizando-se os dados provenientes de experimento realizado por Goes et al. (2014), que, na ocasião, avaliaram estatisticamente as características agronômicas do milho de terceira safra sob variação de doses e fontes de nitrogênio.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições, dispostos em esquema fatorial 2 x 5, sendo: duas fontes de N (ureia e sulfato de amônio); e cinco doses de N (0, 40, 80, 120 e 160 Kg ha<sup>-1</sup>). O N foi depositado ao lado das plantas, sendo que a metade da dose foi aplicada na quarta folha expandida e a outra metade na sexta folha (GOES et al., 2014).

As características agronômicas do milho estudadas por Goes et al. (2014) e que foram utilizadas para as saídas do SBRF são apresentadas na Tabela 1.

**TABELA 1** - Características agronômicas do milho utilizadas para as saídas do SBRF.

<b>Variável</b>	<b>Nome</b>	<b>Sigla</b>	<b>Unidade de medida</b>
1	Número de espigas por planta	EPP	un
2	Índice de área foliar	IAF	-
3	Diâmetro da espiga	DE	mm
4	Diâmetro do colmo	DC	mm
5	Altura de inserção da primeira espiga	AIE	m
6	Altura de planta	AP	m
7	Número de grãos por espiga	GPE	g
8	Número de fileiras por espiga	FPE	un
9	Número de grãos por fileira	GPF	un
10	Massa de cem grãos	MCG	g
11	Produtividade de grãos	PROD	Kg ha <sup>-1</sup>
12	Teor de nitrogênio foliar	NFO	g kg <sup>-1</sup>
13	Teor de nitrogênio no grão	NGR	g kg <sup>-1</sup>

Fonte: retirado de Goes et al. (2014) adaptado pelo autor.

## *Lógica Fuzzy*

A lógica foi criada por Aristóteles, que estabeleceu um conjunto de regras rígidas para que conclusões pudessem ser aceitas logicamente válidas levando a uma linha de raciocínio lógico baseado em premissas e conclusões. Com uma estrutura binária, uma declaração é dada completamente como falsa ou verdadeira (SILVA et al., 2019).

No mundo real, porém, muitas vezes as coisas não são tão claras, existe uma incerteza (XEXÉO, 2022).

Um "sim" ou um "não" como resposta é na maioria das vezes, incompleta. Na verdade, entre a certeza de ser e a certeza de não ser, existem infinitos graus de incerteza (SILVA et al., 2019).

No estudo da *Lógica Fuzzy* a ideia de precisão é quebrada. A incerteza é incorporada à ciência, permitindo estados onde verdade e falsidade convivem e a realidade é modelada de maneira a incorporar suas imprecisões e conflitos (XEXÉO, 2022).

Ainda, conforme Xexéo (2022), *Lógica Fuzzy* e Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* são os nomes dados a um enorme conjunto de teorias e técnicas que podem ser usadas para tratar a incerteza. Propostas na década de 60 por Zadeh (1965), elas podem ser utilizadas em várias condições em que a lógica tradicional é inadequada.

A Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* tem sido uma boa ferramenta, para modelar matematicamente fenômenos reais, levando em conta detalhes relevantes e específicos de cada situação (PEIXOTO et al., 2020).

Conjunto *Fuzzy* é um conceito que estende a noção de conjunto atribuindo a cada elemento de um conjunto de referência, o universo, um valor que representa seu grau de pertinência no conjunto *Fuzzy* (PEDRYCZ e GOMIDE, 2007).

Pedrycz e Gomide (2007) ainda ressaltam que “os valores de associação correspondem ao grau em que um elemento é compatível ou semelhante aos elementos típicos da classe associada ao conjunto *Fuzzy*”.

Em geral, um sistema *Fuzzy* faz corresponder a cada entrada *Fuzzy* uma saída *Fuzzy*. Espera-se que a cada entrada *crisp* (nítida) faça corresponder uma saída *crisp* (OLIVEIRA et al., 2005).

## Modelagem Fuzzy

O sistema foi elaborado com uma única variável de entrada para cada fonte de N (0, 40, 80, 120 e 160 Kg ha<sup>-1</sup>), 13 variáveis de saída (conforme Tabela 1) e 5 regras para execução do modelo. As variáveis de entrada e de saída foram compostas por 5 funções de pertinência.

Foi considerado para representar o modelo agrônômico proposto por Goes et al. (2014) a seguinte forma:  $F: X \subset \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^{13}, (x) \mapsto Y = F(x)$ , onde  $X$  é o conjunto domínio, composto pela variável ureia (Kg ha<sup>-1</sup>) em que  $X \subset [0; 160]$ , os extremos do intervalo  $X$  estão de acordo com os valores mínimos e máximos utilizados no trabalho de Goes et al. (2014).  $\mathbb{R}$  é o conjunto dos números reais e, ainda,  $Y = F(x_1) = (y_1, y_2, \dots, y_{13})$  foram determinados pelas medianas das variáveis agrônômicas do milho sendo  $y_1 = EPP, y_2 = IAF, y_3 = DE, y_4 = DC, y_5 = AIE, y_6 = AP, y_7 = GPE, y_8 = FPE, y_9 = GPF, y_{10} = MCG, y_{11} = PROD, y_{12} = NFO$  e  $y_{13} = NGR$ .

Para a elaboração do SBRF, definiu-se um processador de entrada (*fuzzificador ou fuzzificação*), um conjunto de regras linguísticas, a metodologia Mamdani de inferência *fuzzy* e um processador de saída (ou *defuzzificador*), gerando um número real como saída.

Conforme Martínez et al. (2019), “a *fuzzificação* é um processo pelo qual os valores de entrada do sistema são transformados em conjuntos *fuzzy*, com suas respectivas faixas de valores onde são definidos. É um mapeamento do domínio dos números reais para o domínio *fuzzy*.”

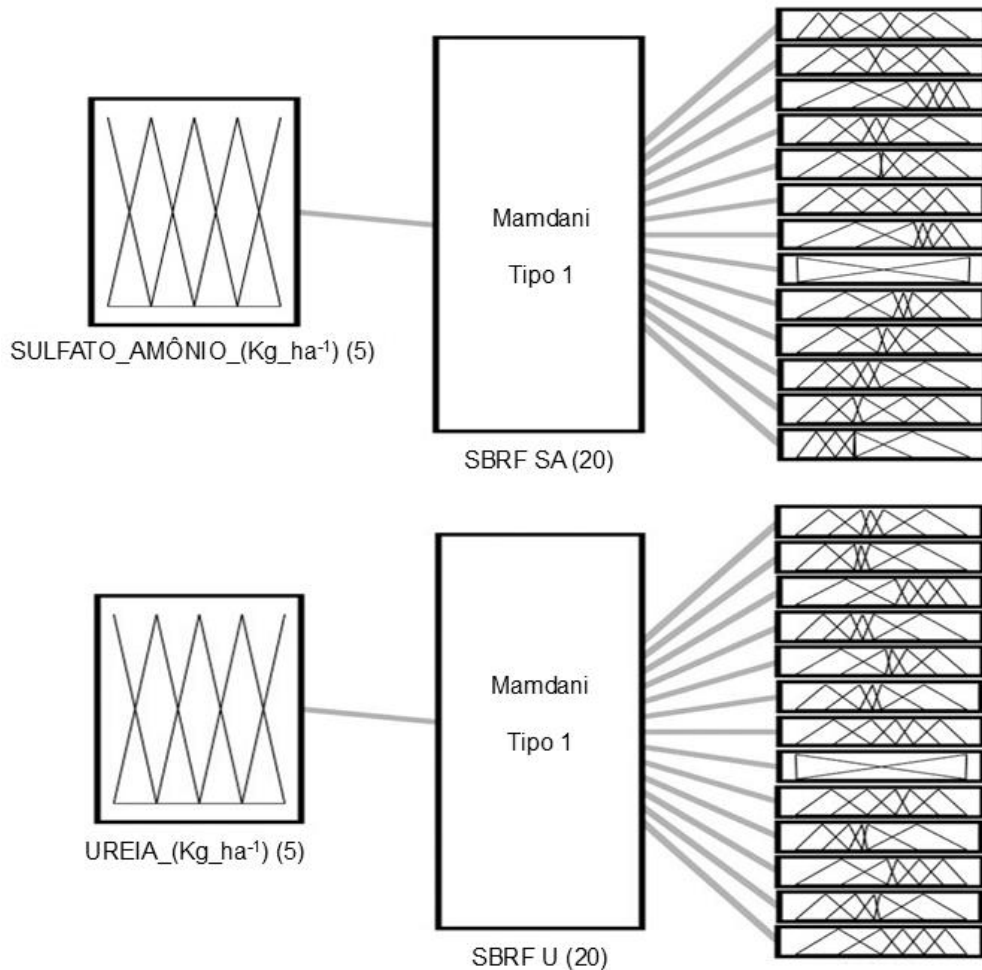
Boso (2018) acrescenta que “na *defuzzificação*, o valor da variável linguística de saída inferida pelas regras *fuzzy* é traduzida num valor real. O objetivo é obter-se um único número real que melhor represente os valores *fuzzy* inferidos da variável linguística de saída.”

Os métodos de inferência Mamdani e Takagi-Sugeno (TS) são os dois principais procedimentos de raciocínio na modelagem *Fuzzy*, apresentando o procedimento de defuzzificação como principal diferença. No modelo Mamdani, toda a estrutura de regras possui variáveis linguísticas e conjuntos *Fuzzy* enquanto o modelo Sugeno possui as funções lineares das variáveis de entrada (BAGIS e KONAR, 2016).

### Sistemas baseados em regras fuzzy

Os SBRFs elaborados para o milho submetidos aos fertilizantes nitrogenados ureia e sulfato de amônio são apresentados pela Figura 1.

**FIGURA 1** – SBRFs com uma variável de entrada (ureia ou sulfato de amônio), método de inferência e 13 variáveis de saída (características agrônômicas do milho).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme Xexéo (2022) “não há nenhuma regra fixa para a criação de funções de pertinência, podendo ser funções arbitrárias ou tabelas, porém a literatura favoreça alguns formatos típicos como triangular, gaussiana e trapezoidal”.

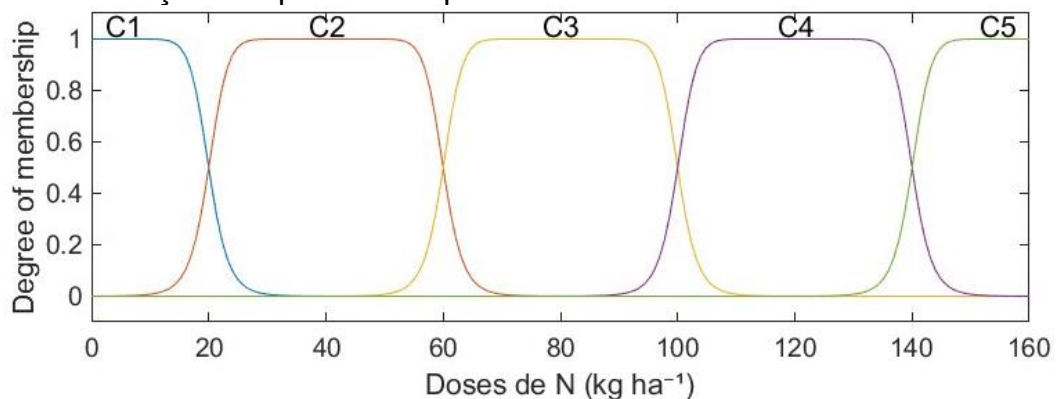
Para composição do conjunto *fuzzy* de entrada foram definidas funções de pertinência do tipo gaussiana. As funções de pertinência do conjunto de entrada foram obtidas a partir dos valores das doses de ureia aplicadas no experimento.

As cinco funções de pertinência que constituem o conjunto de entrada são indicadas por  $C_i$ ,  $i = 1, 2, 3, 4, 5$  e com a evolução para cada dose em  $40 \text{ Kg ha}^{-1}$  para  $i = 1, 2, 3, 4, 5$ .

Todas as funções de pertinência do conjunto de entrada são normalizadas, isto é, têm como grau de pertinência 1 (100% pertinente) os valores correspondentes a cada dose de ureia aplicada por Goes et al. (2014).

Os delimitadores mínimos das funções de pertinência foram obtidos subtraindo-se o valor variável no experimento (40) ao valor correspondente ao grau máximo de pertinência de cada função. E os delimitadores máximos das funções de pertinência foram dados pelo acréscimo da mesma variação (40) ao valor de máxima pertinência de cada função. A Figura 2 apresenta as funções de pertinência que foram adotadas para o conjunto de entrada para os fertilizantes ureia e sulfato de amônio.

**FIGURA 2** - Funções de pertinência para a entrada ureia ou sulfato de amônio



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 2 apresenta os conjuntos *fuzzy* definidos com o tipo de função de pertinência e os delimitadores.

**TABELA 2** – Conjuntos *fuzzy*, tipo de função de pertinência e delimitadores da variável de entrada ureia

Conjunto <i>Fuzzy</i>	Função de pertinência	Delimitadores
$C_1$	Triangular	[-40 0 40]
$C_2$	Triangular	[0 40 80]
$C_3$	Triangular	[40 80 120]
$C_4$	Triangular	[80 120 160]
$C_5$	Triangular	[120 160 200]

Fonte: Elaborado pelo autor

Os conjuntos *fuzzy* de saída foram definidos por cinco funções de pertinência do tipo triangular para cada variável de saída, em que o grau de pertinência 1 (100% pertinente) de cada uma das funções de pertinência é dado pela mediana dos valores dos dados aferidos para cada uma das variáveis estudadas.

Utilizar a média é bastante comum, porém, um melhor representante dos dados numéricos é o valor mediano, pois, permite um elevado nível de tolerância ao potencial ruído existente nos dados, ignorando valores atípicos (*outliers*) (PEDRYCZ e GOMIDE, 2007).

Para a definição dos delimitadores foram adotados os valores dos percentis (p%) dos conjuntos de dados das variáveis estudadas. De acordo com Martins (2014), “os percentis são medidas que dividem a amostra ordenada (por ordem crescente dos dados) em 100 partes, cada uma com uma percentagem de dados aproximadamente igual.”

Métodos semelhantes foram adotados por Cremasco (2008), Gabriel Filho et al. (2011), Putti et al. (2014), Gabriel Filho (2015), Gabriel Filho et al. (2016) e Boso (2018). A Tabela 3 informa sinteticamente os critérios delimitadores das funções de pertinência de saída para os conjuntos das variáveis estudadas.

**TABELA 3** – Conjuntos *Fuzzy*, tipo de função de pertinência e delimitadores das variáveis de saída.

Conjunto <i>Fuzzy</i> saída	Tipo	Crítérios delimitadores
$C_1$	Triangular	$[p0\% - (p0\% + p25\%), p0\%, p25\%]$
$C_2$	Triangular	$[p0\%, p25\%, p50\%]$
$C_3$	Triangular	$[p25\%, p50\%, p75\%]$
$C_4$	Triangular	$[p50\%, p75\%, p100\%]$
$C_5$	Triangular	$[p75\%, p100\%, p100\% + (p100\% - p75\%)]$

Legenda – p0% = percentil mínimo (valor mínimo); p25% = 25% dos valores dos dados; p75% = 75% dos valores dos dados; p100% = percentil máximo (valor máximo).

A base de regras aplicada ao sistema *fuzzy* consiste na relação que cada função de pertinência da entrada apresenta como resposta ao conjunto de saída.

Para cada uma das entradas esta relação se dá pela premissa:

“Se (antecedente) então (consequente)”, ou seja,

“Se UREIA ( $\text{Kg ha}^{-1}$ ) é  $C_i$  então a SAÍDA é  $C_{ki}$ ,  $i = 1,2,3,4,5$ .”

“Se SULFATO\_AMÔNIO ( $\text{Kg ha}^{-1}$ ) é  $C_i$  então a SAÍDA é  $C_{ki}$ ,  $i = 1,2,3,4,5$ .”

A Tabela 4 apresenta as características dos conjuntos *fuzzy* de entrada e saída para ambas as fontes de N.

**TABELA 4** – Características dos conjuntos *fuzzy* de entrada e saída para as fontes ureia e sulfato de amônio.

<b>Conjunto <i>fuzzy</i> entrada</b>	<b>Conjunto <i>fuzzy</i> de saída</b>
$C_1$	$C_{k1}$
$C_2$	$C_{k2}$
$C_3$	$C_{k3}$
$C_4$	$C_{k4}$
$C_5$	$C_{k5}$

Fonte: Elaborado pelo autor

O método de inferência utilizado foi o de Mamdani e para a implementação computacional dos sistemas desenvolvidos, foram utilizados os *softwares* Microsoft Excel (planilha eletrônica) pertencente ao pacote MS-Office e Matlab® versão R2023a desenvolvido por *The MathWorks, Inc*, cujas licenças para seu uso a FCE/UNESP, Campus de Tupã, possui. Ainda, com o auxílio da ferramenta *Fuzzy Logic Toolbox* do *software* Matlab®, foi possível elaborar a representação do SBRF e determinar as funções de pertinência que compõem os sistemas.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os conjuntos delimitadores das funções de pertinência para as fontes ureia e sulfato de amônio foram obtidos para cada uma das variáveis estudadas. Esses delimitadores são importantes pois é a partir da inferência dos valores mínimos e máximos dos conjuntos  $C_{ki}$  que se obtém um conjunto resposta para cada variável.

A Tabela 5 apresenta todos os conjuntos delimitadores e seus valores mínimos, médios e máximos obtidos a partir das variáveis de saída.

**TABELA 5** – Delimitadores dos conjuntos saída

Variável	Conjunto de saída	Delimitadores das funções de pertinência das saídas	
		Ureia	Sulfato de Amônio
EPP	C1	[0.0025 6 1.078]	[0.025 6 1.08]
EPP	C2	[0.0025 6 1.083]	[0.0418 6 1.13]
EPP	C3	[0.015 6 1.088]	[0.0475 6 1.247]
EPP	C4	[0.0263 6 1.143]	[0.0345 6 1.32]
EPP	C5	[0.025 6 1.193]	[0.0325 6 1.385]
IAF	C1	[0.0838 6 2.3]	[0.125 6 2.26]
IAF	C2	[0.0568 6 2.468]	[0.1038 6 2.51]
IAF	C3	[0.0693 6 2.527]	[0.065 6 2.675]
IAF	C4	[0.0915 6 2.745]	[0.1508 6 2.77]
IAF	C5	[0.0738 6 2.893]	[0.2538 6 3.278]
DE	C1	[0.0168 6 45.667]	[0.95 6 44.833]
DE	C2	[0.0665 6 45.7]	[0.6335 6 46.733]
DE	C3	[0.3 6 45.933]	[0.1668 6 47.367]
DE	C4	[0.65 6 46.9]	[0.1165 6 47.4]
DE	C5	[0.8168 6 48.533]	[0.2168 6 47.833]
DC	C1	[0.265 6 20.235]	[0.4525 6 20.943]
DC	C2	[0.167 6 20.765]	[0.4025 6 21.848]
DC	C3	[0.5195 6 20.903]	[0.3475 6 22.553]
DC	C4	[1.0738 6 22.843]	[0.55 6 23.238]
DC	C5	[1.1775 6 25.198]	[0.7575 6 24.753]
AIE	C1	[0.0263 6 1.078]	[0.085 6 0.893]
AIE	C2	[0.0188 6 1.13]	[0.0475 6 1.063]
AIE	C3	[0.01 6 1.153]	[0.0155 6 1.083]
AIE	C4	[0.018 6 1.17]	[0.03 6 1.125]
AIE	C5	[0.0275 6 1.225]	[0.0388 6 1.203]
AP	C1	[0.0163 6 2.015]	[0.0088 6 2.005]
AP	C2	[0.0187 6 2.048]	[0.03 6 2.023]

AP	C3	[0.0138 6 2.09]	[0.0367 6 2.125]
AP	C4	[0.0138 6 2.103]	[0.0138 6 2.17]
AP	C5	[0.0213 6 2.145]	[0.005 6 2.18]
GPE	C1	[1.5 6 638]	[4.5 6 621]
GPE	C2	[1 6 641]	[3.9168 6 630]
GPE	C3	[4.1668 6 642]	[5.2082 6 636.667]
GPE	C4	[10.5 6 657.667]	[10.3333 6 650.833]
GPE	C5	[13.1665 6 684]	[13.5835 6 678]
FPE	C1	[0.25 6 16.5]	[0.25 6 16.5]
FPE	C2	[0.25 6 17]	[0.25 6 17]
FPE	C3	[0.125 6 17.5]	[0.25 6 17.5]
FPE	C4	[0.25 6 18]	[0.125 6 18]
FPE	C5	[0.25 6 18]	[0.125 6 18]
GPF	C1	[0.3333 6 36.667]	[0.1665 6 35]
GPF	C2	[0.3333 6 36.667]	[0.6668 6 35.333]
GPF	C3	[0.5 6 38]	[0.75 6 37.667]
GPF	C4	[0.1668 6 38.667]	[0.25 6 38.333]
GPF	C5	[0.1668 6 38.667]	[0.1668 6 38.667]
MCG	C1	[0.0548 6 17.817]	[0.9068 6 16.483]
MCG	C2	[0.6978 6 17.927]	[0.5648 6 18.296]
MCG	C3	[0.8478 6 20.608]	[0.5078 6 18.742]
MCG	C4	[0.2103 6 21.318]	[0.4685 6 20.327]
MCG	C5	[0.0655 6 21.449]	[0.1443 6 20.616]
PROD	C1	[107.4293 6 7621.531]	[28.876 6 6399.675]
PROD	C2	[60.0758 6 7836.389]	[96.47 6 6457.427]
PROD	C3	[81.3673 6 7861.834]	[142.7078 6 6785.555]
PROD	C4	[256.2048 6 8161.858]	[249.94 6 7028.258]
PROD	C5	[362.3978 6 8886.653]	[378.5288 6 7785.315]
NF	C1	[0.35 6 23.1]	[0.1168 6 24.267]
NF	C2	[0.2333 6 23.8]	[0.0583 6 24.5]
NF	C3	[0.1168 6 24.033]	[0.5833 6 24.733]
NF	C4	[0.1168 6 24.267]	[1.05 6 26.833]
NF	C5	[0.1165 6 24.5]	[1.05 6 26.833]
NG	C1	[0.4668 6 14.933]	[0.175 6 16.8]
NG	C2	[0.2918 6 15.867]	[0.175 6 17.5]
NG	C3	[0.2333 6 16.1]	[0.175 6 17.5]
NG	C4	[0.175 6 16.8]	[0.1168 6 17.733]
NG	C5	[0.175 6 16.8]	[0.1168 6 17.733]

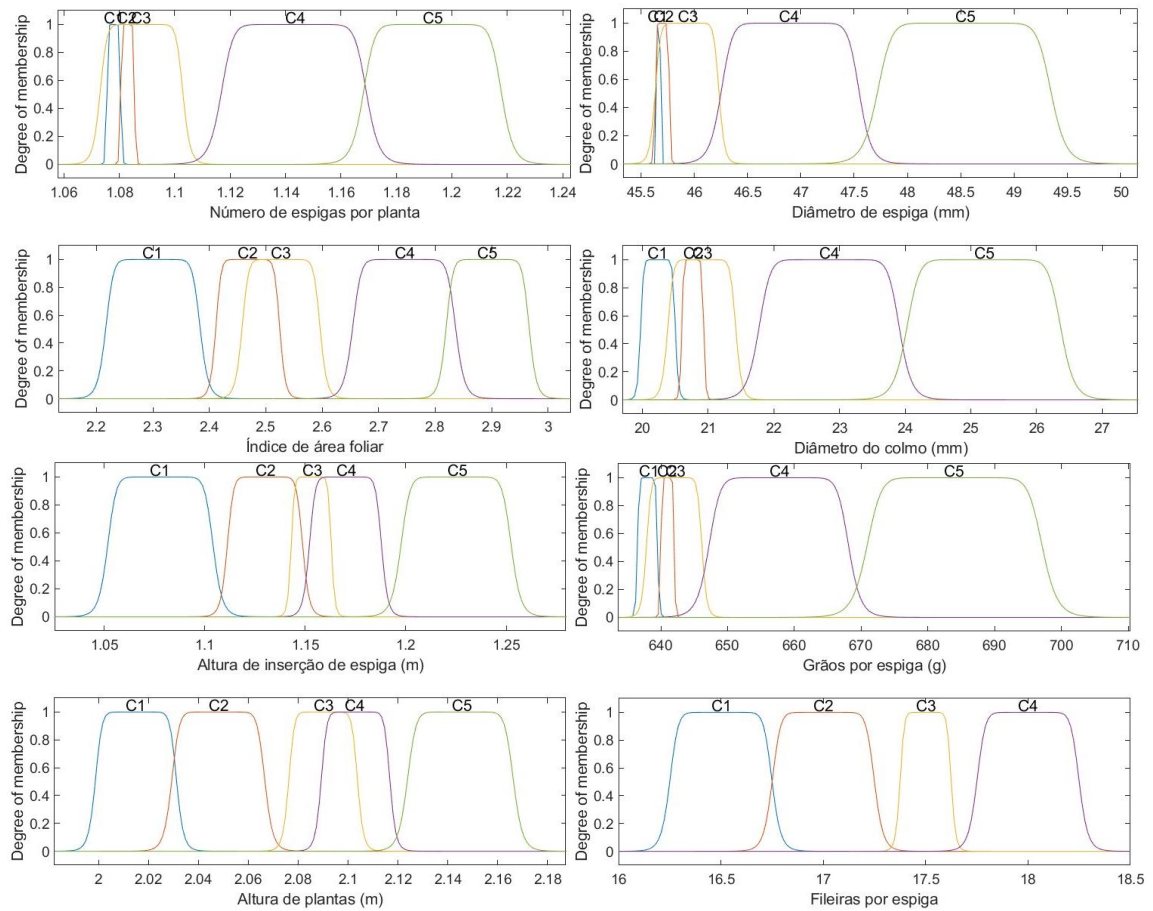
Fonte: elaborado pelo autor.

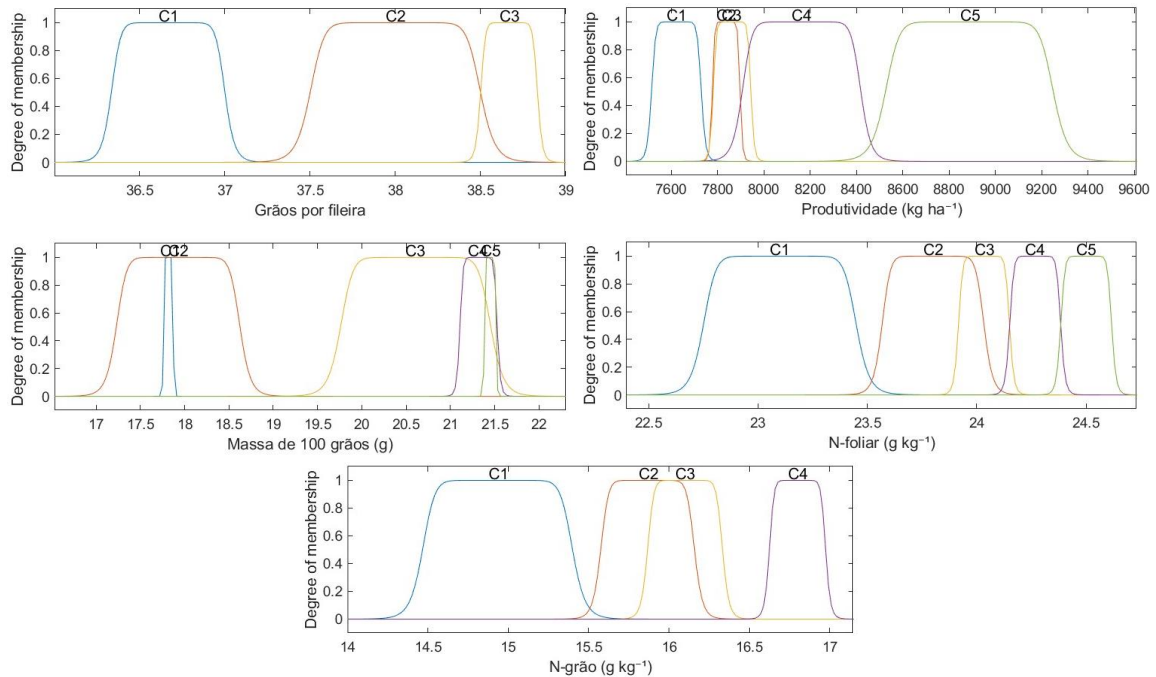
### *Funções de pertinência das variáveis de saída*

O SBRF do milho para a fonte nitrogenada ureia apresentou como saída um total de 20 respostas para cada uma as 13 saídas estudadas após a inferência de

Mamdani. Cada conjunto resposta representa os limites (mínimos e máximos) dos valores de doses que podem ser adotados para que se consiga um resultado próximo ao valor de maior pertinência da variável saída (ponto mais alto da função de pertinência). A Figura 3 apresenta as funções de pertinência de saída para os cinco conjuntos de cada uma das variáveis estudadas.

**FIGURA 3** – Funções de pertinência dos conjuntos das variáveis de saída para fonte Ureia





Fonte: elaborado pelo autor.

São apresentados conjuntos de funções de pertinência para as variáveis saídas estudadas para que seja possível visualizar os períodos pertinentes a cada conjunto.

A depender do valor desejado para determinada variável, aplica-se uma determinada dose de N, sendo possível realizar essa decisão conforme a finalidade de uso do milho.

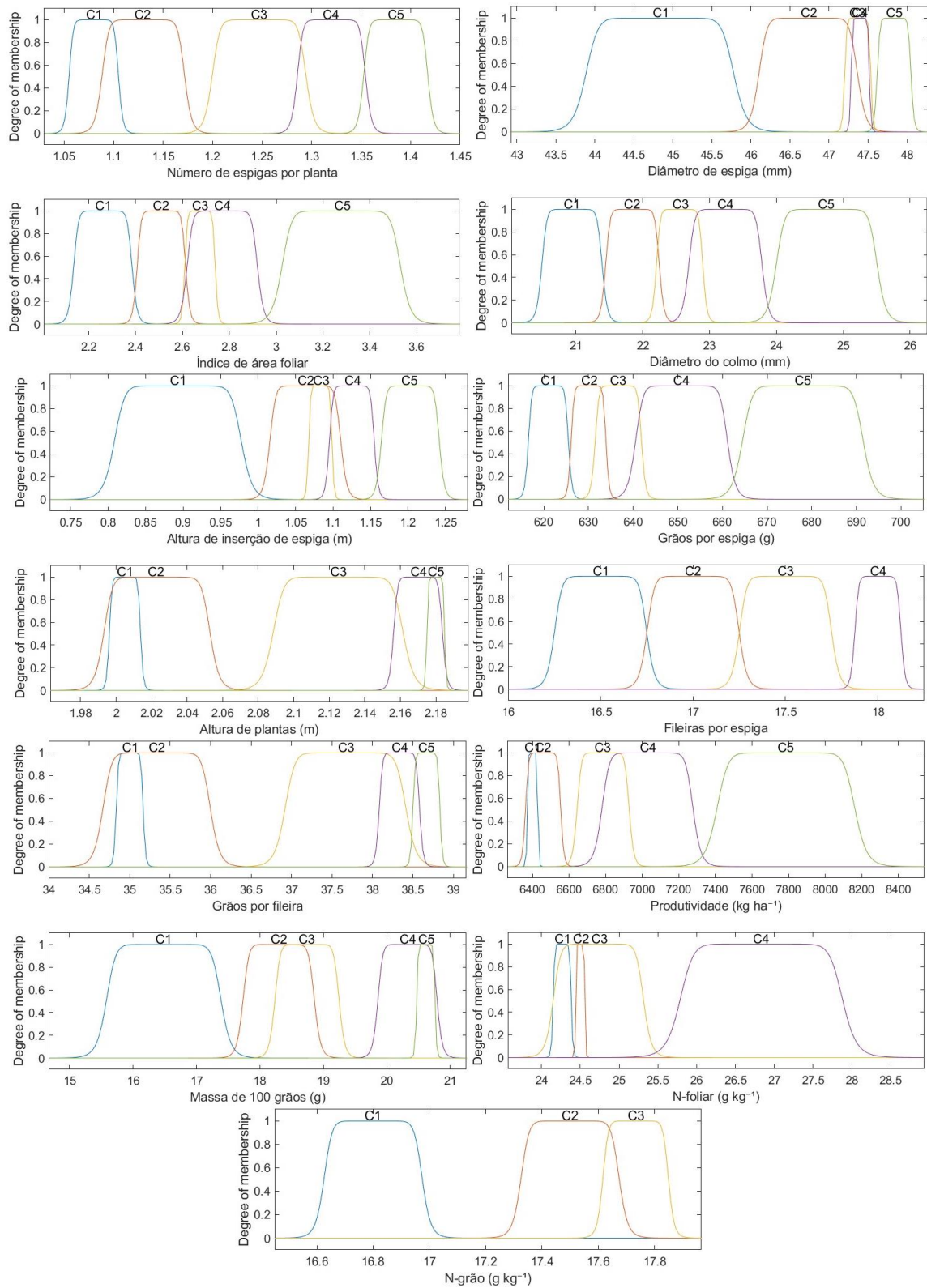
Por exemplo, caso o milho seja destinado para fornecimento de grãos para rações, é importante que este grão armazene a maior quantidade possível de N. Neste caso, deve-se priorizar quantidades de N na forma de fertilizante que seja suficiente para o desenvolvimento da planta do milho e para que essa planta preencha os grãos com N, ao nível máximo, até a fase de colheita.

Sendo assim, foi possível verificar que para a variável NG (teor de nitrogênio no grão) o maior valor foi de 18 g Kg<sup>-1</sup> (apontado pela função de saída C5). Bastando para satisfazer a dose de N referente a entrada delimitada pelo conjunto 5 das variáveis de entrada C5 = [120 160 200], sendo aplicado uma dose de N de no mínimo 120 Kg N ha<sup>-1</sup>, no caso de se utilizar a ureia como fonte de N.

Essa análise pode ser aplicada para cada variável saída isoladamente ou para grupos de variáveis saída que caracterizam as aptidões/finalidades do milho.

As funções de pertinência para a entrada sulfato de amônio são apresentadas na Figura 4.

**FIGURA 4**– Funções de pertinência dos conjuntos das variáveis de saída para fonte Sulfato de amônio.

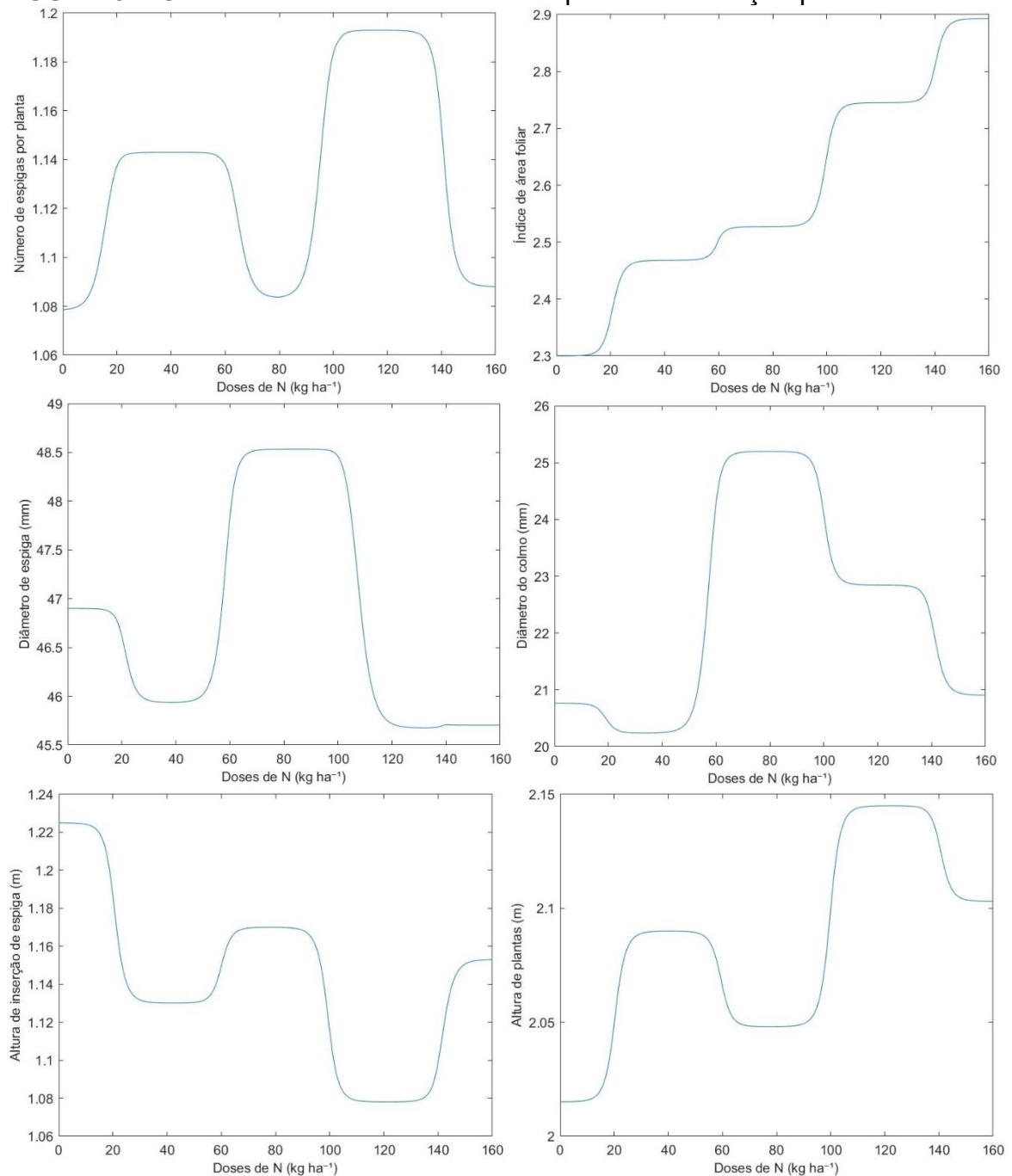


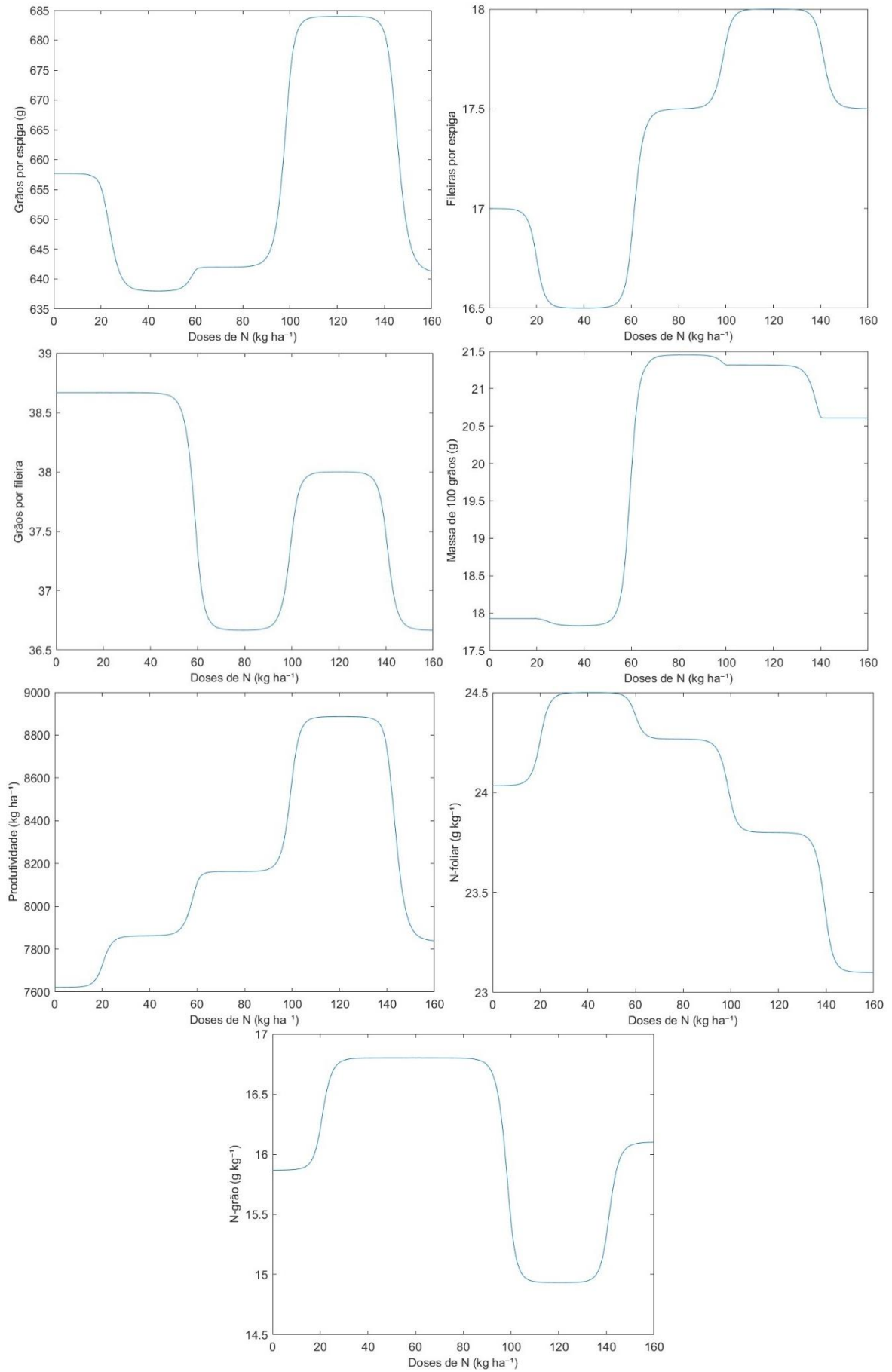
Fonte: elaborado pelo autor.

### Gráficos das variáveis de saída

Os gráficos das funções de saída foram gerados a partir das combinações das funções de pertinência após o processo de defuzzificação dos conjuntos. A Figura 5 apresenta essas saídas para a ureia.

**FIGURA 5** – Gráficos das variáveis de saída após defuzzificação para a fonte ureia





Fonte: elaborado pelo autor.

A revisão bibliográfica sistematizada (RBS) apresentada no capítulo 1 trouxe valores para algumas das variáveis estudadas para resposta a aplicação de ureia.

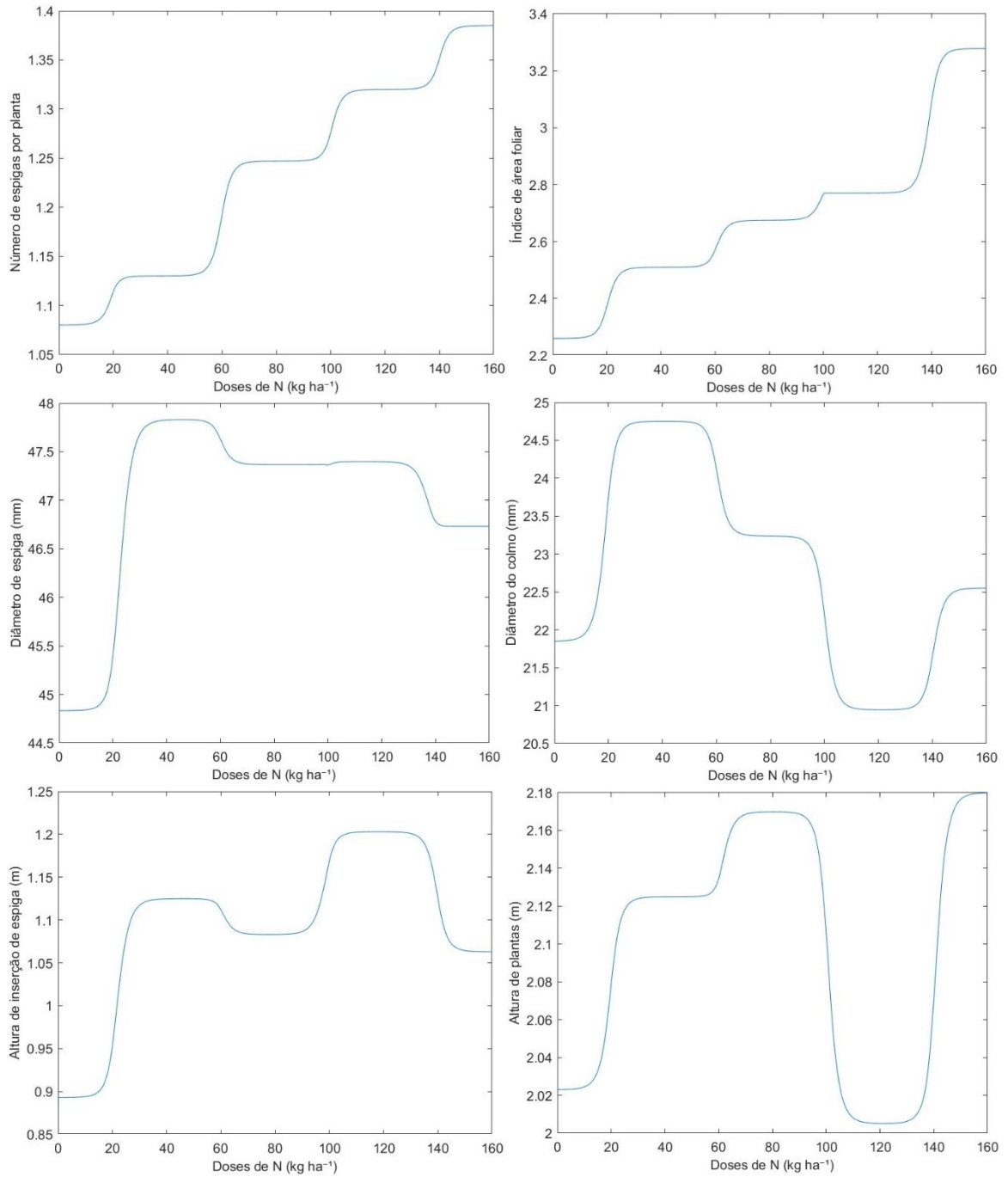
Para a variável diâmetro do colmo Carvalho et al. (2019) auferiram valor máximo de 19,66 cm utilizando uma dose de 130 Kg N ha<sup>-1</sup> com ureia, o resultado para a produção máximo apontado pelo SBRF fonte ureia, foi de 25,8 cm aplicando uma dose de 120 Kg N ha<sup>-1</sup>.

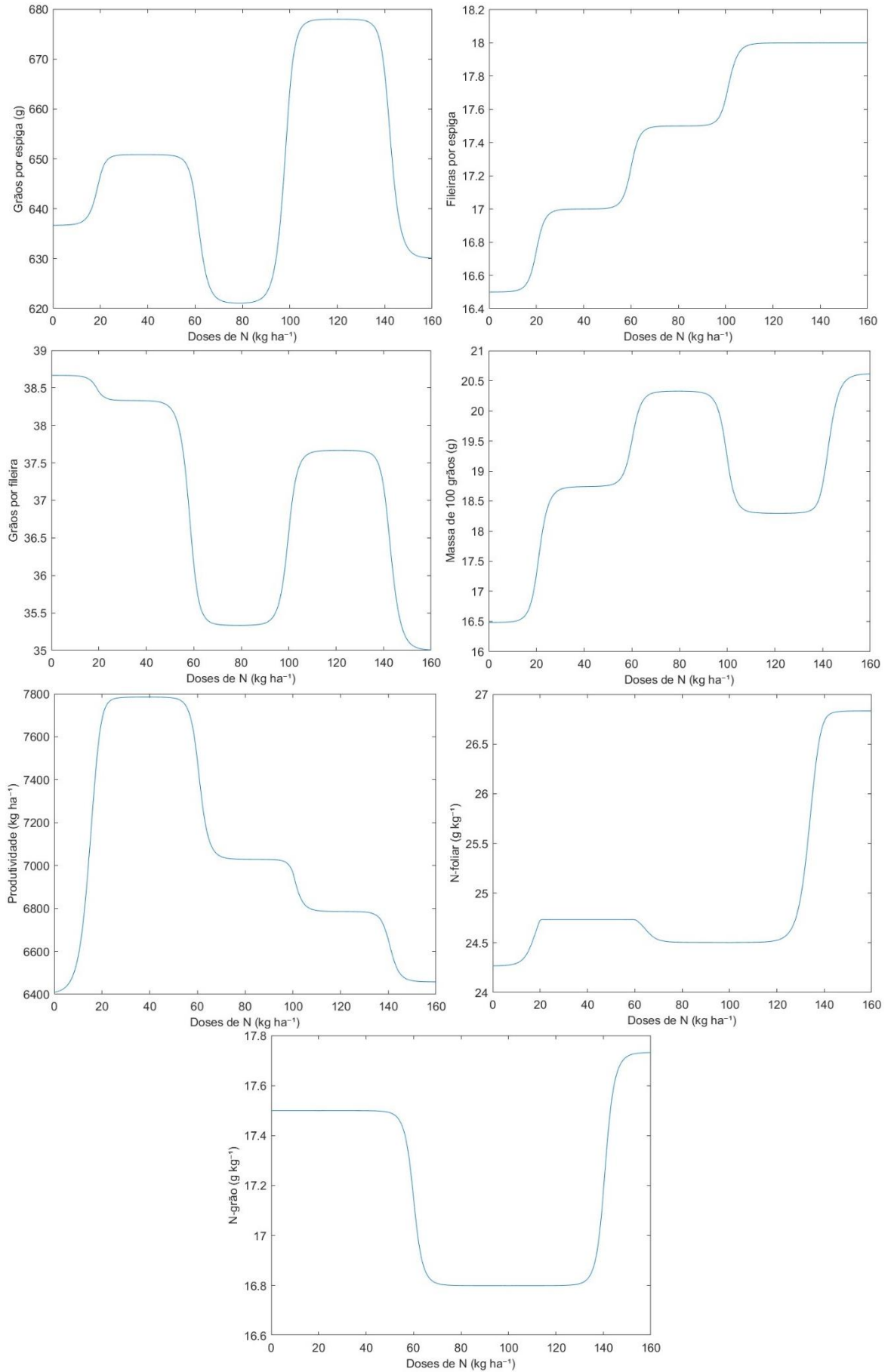
O SBRF ureia aponta que é possível alcançar a quantidade de 670 grãos por espiga (GPE) utilizando uma dose de 160 Kg N ha<sup>-1</sup> enquanto nos trabalhos estudados no capítulo 1, o melhor resultado foi de 561 GPE possibilitada por uma dose de 315 Kg N ha<sup>-1</sup> de ureia (LI et al., 2020).

Quanto a produção o SBRF fonte ureia aponta para resultados acima de 8.700 Kg ha<sup>-1</sup> com dose de N de 160 Kg N ha<sup>-1</sup>, a RBS trouxe valor máximo de 10.200 Kg ha<sup>-1</sup> (XIAOYU et al., 2023) porém, utilizando 148 Kg N ha<sup>-1</sup> divididas em duas aplicações em estágios mais avançados da planta (V4 e V6).

A Figura 6 apresenta os gráficos das variáveis de saídas para o fertilizante sulfato de amônio.

**FIGURA 6** – Gráficos das variáveis de saída após defuzzificação para a fonte sulfato de amônio.





Fonte: elaborado pelo autor.

Considerando as diversas aplicações do milho e definindo qual a finalidade da lavoura os modelos permitem realizar simulações para verificar como se dará o desenvolvimento do milho e os possíveis resultados agronômicos medido pelas variáveis, antes de realizar a aplicação em campo.

Neste trabalho utilizou-se de experimento para coleta de dados, mas é possível realizar o mesmo modelo com dados oriundos da atividade em campo obtidos por valores e medições de safras passadas.

Isso permite gerenciar melhor a aplicação dos recursos e estudar diferentes cenários antecipadamente à semeadura da nova lavoura, permitindo ganhos de resultado por meio da estratégia de aplicação de fertilizante.

## 4 CONCLUSÃO

Conforme observado ao longo deste capítulo, foi possível desenvolver um sistema baseado em regras *fuzzy* que possibilita simular diferentes quantidades de aplicação de ureia e sulfato de amônio para antever os resultados esperados para o desenvolvimento da cultura do milho.

Em comparação com dados da RBS do capítulo 1 foi possível validar o modelo e verificar sua utilidade para o planejamento da estratégia de adubação do milho para as duas principais fontes de N (ureia e sulfato de amônio).

A formulação das funções de pertinência da entrada (ureia) e das 13 saídas foi possibilitada pelo aproveitamento do conjunto de dados experimentais utilizado para estudar o desenvolvimento do milho sob diferentes doses de ureia.

Foram apresentadas as etapas desenvolvidas durante a elaboração do SBRF para a cultura do milho submetido a diferentes doses de ureia, sendo elas elaborações das funções de pertinência de entrada e das saídas, o método de inferência e a defuzzificação.

## REFERÊNCIAS

- ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos. Dados 2019 - Principais indicadores do setor de fertilizantes. Disponível em: [https://anda.org.br/wp-content/uploads/2020/05/Principais\\_Indicadores\\_2019-1.pdf](https://anda.org.br/wp-content/uploads/2020/05/Principais_Indicadores_2019-1.pdf). Acesso em 20 de julho de 2024.
- BAGIS, A.; KONAR, M. Comparison of Sugeno and Mamdani *Fuzzy* models optimized by artificial bee colony algorithm for nonlinear system modelling. **Transactions of the Institute of Measurement and Control**. v. 38 n.5 579-592. DOI:10.1177/0142331215591239. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/epub/10.1177/0142331215591239>. Acesso em 27 janeiro 2024.
- BOSO, Ana Cláudia Marassá Roza. Modelagem matemática e computacional na avaliação do uso de água magnetizada na irrigação do rabanete utilizando o sistema Mamdani. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista (Unesp). Botucatu, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/deeb1e08-c164-4451-ac67-295e08935e74/full>. Acesso em: 27 janeiro 2024.
- BARROS DOS SANTOS, J.; NASCIMENTO SILVA, A.; DE OLIVEIRA CRUZ, J.; BARROS DOS SANTOS, R.; FERREIRA DA SILVA, R. Características agrônômicas e avaliação econômica do milho sob doses de nitrogênio na forma de ureia comum e peletizada. **Agri-environmental Sciences**, v. 6, p. 10, 30 nov. 2020. DOI: <https://doi.org/10.36725/agries.v6i0.3561>. Disponível em: <https://revista.unitins.br/index.php/agri-environmental-sciences/article/view/3561>. Acesso em: 27 janeiro 2024.
- CARDOSO, Y. S.; LOPES, M. R.; SILVA, S. de A.; ALVES, D. I.; LIMA, J. S. de S. Distribuição e incerteza da precipitação pluviométrica e do potencial erosivo das chuvas para o estado da Bahia, Brasil. **Revista Engenharia na Agricultura - REVENG**, v. 26, n. 2, p. 149–159, 2018. DOI: 10.13083/reveng.v26i2.835. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/reveng/article/view/747>. Acesso em: 27 janeiro 2024.
- CARVALHO, M., MENDES, E., YAMASHITA, O., DALLACORT, R., SILVA, I., OLIVEIRA, L., & DOMINGUES, S. Response of the type of nitrogen resource in the quality of maize cultivated in southern Amazonia. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, v. 22, n. 3, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.2888>. Disponível em: <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/2888>. Acesso em: 27 janeiro 2024.
- CHOUERI, Matheus. Modelagem *Fuzzy* para avaliação do desenvolvimento da cultura do rabanete irrigado com água tratada magneticamente sem estresse hídrico. 2018. Dissertação (Mestrado Agronegócio e Desenvolvimento) - Faculdade de Ciências e Engenharia, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Tupã, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/a8e31f0f-afb6-483e-8f3f-1051a5c2e535/full>. Acesso em: 27 janeiro 2024.

CREMASCO, Camila Pires. Aplicação da lógica *Fuzzy* para avaliação do faturamento do consumo de energia elétrica e demanda de uma empresa de avicultura de postura. 2008. 97 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

DOKIĆ, A.; JOVIĆ, S. Evaluation of agriculture and industry effect on economic health by ANFIS approach. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 479, p. 396-399, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2017.03.022>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437117302741>. Acesso em: 27 janeiro 2024.

GABRIEL FILHO, L. R. A., CREMASCO, C. P., PUTTI, F. F., CHACUR, M. G. M. Application of *Fuzzy* logic for the evaluation of livestock slaughtering. **Engenharia Agrícola**, v.31, n.4, 813-825, 2011. DOI: 10.1590/S0100-69162011000400019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/zpv4ysHczwH3Rf6Zs3GkKFy/#>. Acesso em: 27 janeiro 2024.

GABRIEL FILHO, L. R. A. et al. Software to assess beef cattle body mass through the *Fuzzy* body mass index. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 1, p. 179–193, jan. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n1p179-193/2016>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/Zd4HJdYGF5pzBhZwpmK5kvv/?lang=en>. Acesso em 27 janeiro 2024.

GARCIA, P. L.; SERMARINI, R. A.; FILHO, C. R. S. A.; BENDASSOLLI, J. A.; BOSCHIERO, B. N.; TRIVELIN, P. C. O. 15N-fertilizer recovery in maize as an additional strategy for understanding nitrogen fertilization management with blends of controlled-release and conventional urea. **Agronomy**, 10, v. 12, p. 1932, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10121932>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/12/1932>. Acesso em: 27 janeiro 2024.

GOES, R. J.; RODRIGUES, R. A. F.; TAKASU, A. T.; ARF, O. Características agrônômicas e produtividade do milho sob fontes e doses de nitrogênio em cobertura no inverno. **Revista brasileira de milho e sorgo**, v. 12, n. 3, p. 250–259, 2014. DOI: 10.18512/1980-6477/rbms.v12n3p250-259. Disponível em: <https://rbms.abms.org.br/index.php/ojs/article/view/440>. Acesso em: 27 janeiro 2024.

HAO, X.; SUN, L.; ZHOU, B.; MA, X.; WANG, S.; LIU, S.; JI, J.; KUANG, E.; QIU, S. Change in maize yield, N use efficiencies and climatic warming potential after urea combined with Nitrapyrin and NBPT during the growing season in a black soil. *Soil and Tillage Research*, v. 231, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105721>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167198723000880>. Acesso em: 27 janeiro 2024.

LI, G.; ZHAO, B.; DONG, S.; ZHANG, J.; LIU, P.; LU, W. Controlled-release urea combining with optimal irrigation improved grain yield, nitrogen uptake, and growth of maize. **Agricultural Water Management**, v. 227, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105834>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377419301064>. Acesso em: 27 janeiro 2024.

MARTINS, E. G. M. Percentis, **Revista Ciência Elementar**, v. 2, n. 3, 2014. DOI: <http://doi.org/10.24927/rce2014.218>. Disponível em: <https://rce.casadasciencias.org/rceapp/art/2014/218/>. Acesso em: 27 janeiro 2024.

OLIVEIRA, H. L. DE.; AMENDOLA, M.; NÄÄS, I. DE A. Estimativa das condições de conforto térmico para avicultura de postura usando a teoria dos conjuntos *Fuzzy*. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 2, p. 300–307, maio 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162005000200002>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/rpyDYRyGMbDpdSjLkxyy5Mj/?lang=pt>. Acesso em 27 janeiro 2024.

PEDRYCZ, Witold; GOMIDE, Fernando Antonio Campos. **Fuzzy Systems Engineering: Toward Human-Centric Computing**. Hoboken, NJ : John Wiley & Sons : IEEE, 2007.

PEIXOTO, Magda da Silva; CARVALHO, Sílvia Maria Simões de; BARROS, Laécio Carvalho de; BASSANEZI, Rodney Carlos; LAUREANO, Estevão Esmi; LODWICK, Weldon Alexander. Um modelo de controle químico do pulgão-da-soja. *In: Desafios Teóricos e Aplicados da Ecologia Contemporânea*. Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2020 cap. 8, p. 69-77. Disponível em: <https://www.atenaeditora.com.br/catalogo/post/um-modelo-de-controle-quimico-do-pulgao-da-soja>. DOI 10.22533/at.ed.1722013018. Acesso em: 27 janeiro 2024.

PUTTI, F. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; LUDWIG, R.; DA SILVA, A. O.; CREMASCO, C. P. *Fuzzy logic to evaluate vitality of Catasetum Fimbriatum species (Orchidacea)*. **IRRIGA**, v. 19, n. 3, p. 405–413, 2014. DOI: 10.15809/irriga.2014v19n3p405. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/722>. Acesso em: 27 janeiro 2024.

SAE-PR - SECRETARIA ESPECIAL DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS. Produção nacional de fertilizantes. **Estudo estratégico**, 2020. Disponível em: [https://www.gov.br/planalto/pt-br/assuntos/assuntos-estrategicos/documentos/estudos-estrategicos/sae\\_publicacao\\_fertilizantes\\_v10.pdf](https://www.gov.br/planalto/pt-br/assuntos/assuntos-estrategicos/documentos/estudos-estrategicos/sae_publicacao_fertilizantes_v10.pdf). Acesso em 10 agosto de 2024.

SILVA, L.; GONÇALVES, R.; FERREIRA, L.; SILVA, E.; SILVA, B. Estado da arte dos fundamentos e ideias da lógica *Fuzzy* aplicada as ciências e tecnologia. **Revista Brasileira de Geomática**. v. 7, n. 3, 149. 2019. DOI: 10.3895/rbgeo.v7n3.9365. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo/article/view/9365>. Acesso em: 27 janeiro 2024.

SOUZA, T. L. de; GUELFY, D. R.; SILVA, A. L. 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. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-70542017415003917>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/gxbPRzNLTrVWzNcGTMDmMg9r/?lang=en#>. Acesso em 27 janeiro 2024.

XEXÉO, Geraldo Bonorino. **Conjuntos e Lógica Fuzzy**: Introdução à Teoria e Aplicações. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2022.

ZADEH, L. A. *Fuzzy sets*. Information and Control, San Diego, v. 8, p. 338-353, 1965.

## CONCLUSÃO

Com a RBS sobre as doses de N aplicadas na cultura do milho foi possível verificar não apenas as quantidades praticadas, mas também saber que não foram adotadas recomendações de especialistas para a determinação de tais doses. Além disso, possibilitou verificar os métodos de cultivo do milho em diferentes países.

Por meio do desenvolvimento e da aplicação dos SBRF ao banco de dados produtivos de um experimento foi possível avaliar a aplicabilidade da lógica *Fuzzy* aos métodos de adubação do milho, obtendo resultados favoráveis ao implemento da tecnologia nos sistemas produtivos agrícolas.

Uma das vantagens da utilização do modelo baseado em regras *Fuzzy* é a possibilidade de executar previsões para tomada de decisão. Antevendo as alterações aplicadas na entrada e observando as mudanças correspondentes nas respostas antes de efetivamente efetuar a alteração em campo.

O emprego de lógica *Fuzzy* aos sistemas de controle e liberação de fertilizantes presentes em máquinas adubadoras ou até mesmo em veículo aéreo não tripulado (V.A.N.T.) que realize esta atividade se mostra uma alternativa promissora para a produção inteligente.

Os modelos propostos podem ajudar na redução de perdas de N, à medida em que oferecem diferentes alcances na proporção das quantidades das doses. Reduzir perdas de N por meio de aplicação consciente colabora para a economia de recursos e reduz os danos causados ao meio ambiente.

Ainda, os SBRF para as fontes de N ureia e sulfato de amônio podem ser considerados como ferramenta gerencial e de tomada de decisões para o cumprimento das metas específicas dos ODS 2 e ODS 12, em virtude de sua fácil aplicação e possibilidade de aprimoramento.

Os SBRF podem evoluir de tal maneira que recebam mais variáveis de entrada, como por exemplo, as variações dos tipos de solos; aplicação de sistemas e lâminas de irrigação e; outras fontes de N (orgânico). Por fim, os SBRF podem ser aplicados a todas as culturas agrícolas.

## REFERÊNCIAS

- ADEKIYA, A. O.; OGUNBOYE, O. I.; EWULO, B. S.; OLAYANJU, A. Effects of different rates of poultry manure and split applications of urea fertilizer on soil chemical properties, growth, and yield of maize. **The Scientific World Journal**, vol. 2020, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/4610515>. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/tswj/2020/4610515/>. Acesso em 27 janeiro 2024.
- ARRUDA DE OLIVEIRA, T. J.; DORNER, S. H.; MUNHOZ DE ALMEIDA, R. E. A DEPENDÊNCIA DO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO EM RELAÇÃO AOS FERTILIZANTES IMPORTADOS / The dependence of Brazilian agribusiness on imported fertilizers. **Informe GEPEC**, v. 27, n. 1, p. 363–383, 2023. DOI: 10.48075/igepec.v27i1.30129. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/gepec/article/view/30129>. Acesso em: 27 janeiro 2024.
- BATISTA, V. V.; ADAMI, P. F.; OLIGINI, K. F.; RUTHES, B. E. S.; LINK, L.; GIARETTA, R. Níveis de nitrogênio no cultivo de milho segunda safra com elevadas densidades de plantas. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, n. 1, 83-100, 2020. DOI:10.17765/2176-9168.2020v13n1p83-100. Disponível em: <https://www.proquest.com/docview/2425834345?parentSessionId=3l2B63DTm5QBS6jvTDd29RnJDtyCgwQJznyrPFbHuXE%3D&sourcetype=Scholarly%20Journals>. Acesso 27 janeiro 2024.
- COMPANHIA DE ABASTECIMENTO - CONAB. Acompanhamento da Safra brasileira de grãos v.10 – safra 2022/23, nº 12– Décimo segundo levantamento. Setembro 2023. **Portal de Informações Agropecuárias**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 27 janeiro 2024.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Milho - Mercado. Agência Embrapa de Informação Tecnológica (Ageitec). 2024. Disponível em: [https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/pre-producao/socioeconomia/importancia-socioeconomica#:~:text=Na%20realidade%2C%20o%20uso%20do,para%20ano%200\(Figura%201\)](https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/pre-producao/socioeconomia/importancia-socioeconomica#:~:text=Na%20realidade%2C%20o%20uso%20do,para%20ano%200(Figura%201).). Acesso em: 25 de julho de 2024.
- ESTRATEGIAODS. Sobre a Estratégia. Disponível em: <https://www.estrategiaods.org.br/conheca-os-ods/>. Acesso em 27 janeiro 2024.
- FORNASIERI FILHO, Domingos. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 2007.
- FRITSCHÉ-NETO, Roberto; BORÉM, Aluísio. **Melhoramento de plantas para estresses abióticos**. Viçosa: Ed. UFV, 2022.
- GARCIA, P. L.; SERMARINI, R. A.; FILHO, C. R. S. A.; BENDASSOLLI, J. A.; BOSCHIERO, B. N.; TRIVELIN, P. C. O. 15N-fertilizer recovery in maize as an additional strategy for understanding nitrogen fertilization management with blends of controlled-release and conventional urea. **Agronomy**, 10, v. 12, p. 1932, 2020. DOI:

<https://doi.org/10.3390/agronomy10121932>. Disponível em:  
<https://www.mdpi.com/2073-4395/10/12/1932>. Acesso em: 27 janeiro 2024.

KIST, B. B.; et al. **Anuário Brasileiro do Milho 2023**. Brazilian corn yearbook. Santa Cruz do Sul : Editora Gazeta, 88 p., 2023. Disponível em:  
<https://www.editoragazeta.com.br/produto/anuario-brasileiro-do-milho-2023/>. Acesso em 25/02/2024.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. Disponível em:  
<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em 27 janeiro 2024.

PACTO GLOBAL REDE BRASIL. Pacto global da ONU no Brasil. Disponível em:  
<https://www.pactoglobal.org.br/ods-e-agenda-2030/>. Acesso em 27 janeiro 2024.

PANDIT, N. R.; GAIHRE, Y. K.; CHOUDHARY, D.; SUBEDI, R.; THAPA, S. B.; MAHARJAN, S.; KHADKA, D.; VISTA, S. P.; RUSINAMHODZI, L. Slow but sure: the potential of slow-release nitrogen fertilizers to increase crop productivity and farm profit in Nepal, **Journal of Plant Nutrition**, v. 45, n.19, 2986-3003, 2022. DOI: 10.1080/01904167.2022.2067053. Disponível em:  
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01904167.2022.2067053>. Acesso em 27 janeiro 2024.

RHEZALI, A.; LAHLALI, R. Nitrogen (N) mineral nutrition and imaging sensors for determining n status and requirements of maize. **J. Imaging**, v. 3, n. 51, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/jimaging3040051>. Disponível em:  
<https://www.mdpi.com/2313-433X/3/4/51>. Acesso em 27 janeiro 2024.

VIEIRA, Rosana Faria. **Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas**. Brasília : Embrapa, 163 p., 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1090589/ciclo-do-nitrogenio-em-sistemas-agricolas>. Acesso em: 27 janeiro 2024.