



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI – UFSJ
ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS
CAMPUS ALTO PARAÓPEBA/UFSJ

**Utilização da Lógica Fuzzy para estimar a dosagem na aplicação de
fertilizantes N e K**

Aluna: Rosimar Fantone Lopes

Orientador: Dr. Edson Romano Nucci

Ouro Branco - MG

Dezembro/2022

Rosimar Fantone Lopes

Utilização da Lógica Fuzzy para estimar a dosagem na aplicação de fertilizantes N e K

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia de Bioprocessos, pela Universidade Federal de São João Del Rei, Campus Alto Paraopeba.

Orientador: Prof: Dr: Edson Romano Nucci

Ouro Branco, 21 de dezembro de 2022

Banca examinadora:

Prof. Dr. José Augusto Zorel

Prof. Dr. Helder Tormentino

Prof. Dr. Edson Romano Nucci

Orientador

RESUMO

A produção de biofertilizantes concerne à condução controlada de todo o processo envolvendo a digestão de resíduos orgânicos. O objetivo deste estudo foi apresentar um modelo, baseado na lógica Fuzzy, para estimar o processo e as dosagens adequadas na aplicação de fertilizantes. Como ferramenta metodológica, foi aplicado o modelo difuso para aplicação de fertilizantes. O modelo foi fundamentado a partir de dados e composição do solo e de componentes pertinentes na aplicação de fertilizantes obtidos da literatura. Para encontrar as soluções do modelo, foi desenvolvido um programa computacional no software Scilab® para a realização das simulações. Por meio dos resultados pode-se observar a aplicabilidade da lógica fuzzy em modelos matemáticos de análise na aplicação de fertilizantes como forma de contornar o problema da escassez de dados pertinentes, sendo uma ferramenta viável e de grande valia como auxiliadora na tomada de decisões. A utilização do programa computacional para resolver as equações do modelo também se mostrou eficiente ao gerar resultados de forma rápida e condizentes com a realidade de produção de biofertilizante. O sistema Fuzzy é adequado para estimar a dosagem de biofertilizantes, modeladas com funções de pertinências triangulares ou trapezoidais.

Palavras Chave: Lógica Fuzzy; Fertilizantes; Modelos matemáticos.

ABSTRACT

The production of biofertilizers concerns the controlled conduction of the entire process involving the digestion of organic residues. The objective of this study was to present a model, based on Fuzzy logic, to optimize the process and the appropriate dosages in the application of fertilizers. As a methodological tool, the fuzzy model for fertilizer application was applied. The model was based on data and soil composition and relevant components in the application of fertilizers obtained from the literature. To find the model solutions, a computational program was developed in the Scilab® software to carry out the simulations. Through the results, it can be observed the applicability of fuzzy logic in mathematical models of analysis in the application of fertilizers as a way to circumvent the problem of scarcity of relevant data, being a viable tool and of great value as an aid in decision making. The use of the computer program to solve the model's equations was also efficient in generating results quickly and in line with the reality of biofertilizer production. The Fuzzy system is suitable for predicting the dosage of biofertilizers, modeled with triangular or trapezoidal membership functions.

Keywords: Fuzzy Logic; Fertilizers; Mathematical Models.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	5
2 OBJETIVOS.....	6
2.1 Objetivo geral	6
2.2 Objetivos específicos	6
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
4 METODOLOGIA.....	13
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	16
6 CONCLUSÃO	23
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	22

1 INTRODUÇÃO

A produção de biofertilizantes concerne à condução controlada de todo o processo envolvendo a digestão de resíduos orgânicos. Neste estudo, foi desenvolvido um modelo matemático para aplicação de fertilizantes fundamentado nas equações adequadas, inserindo ainda a lógica dos números difusos, mais conhecida como lógica Fuzzy. Trata-se de uma teoria que trabalha com uma distribuição matemática de forma diferente da teoria tradicional (teoria boleana). A Teoria Fuzzy admite um grau de pertinência para que seja feita a associação de números mais e menos prováveis de ocorrer sem a necessidade de uma grande quantidade de dados. Dessa forma, foi feita a aplicação de um modelo de aplicação de fertilizantes mediante a análise de risco e a avaliação dos resultados com base nos dados fornecidos, como forma de demonstrar sua praticidade e usabilidade. (MANOEL FILHO, FRANCISCO 2013)

Dessa forma, elaborou um modelo de aplicação de fertilizantes mediante a análise de risco e a avaliação dos resultados com base nos dados fornecidos, como forma de demonstrar sua praticidade e usabilidade.

Utilizando a lógica da Teoria Fuzzy, principalmente no que se refere à análise de risco. Vincula se essa teoria a um modelo de fácil utilização, pode ser uma alternativa promissora para a aplicação de fertilizantes em condições em que haja poucos dados de simulação.

Do ponto de vista acadêmico, a aplicação da lógica fuzzy em estudos na área agrícola é muito recente e pouco explorada. Associar ela a modelos matemáticos consagrados pode fornecer resultados satisfatórios e muito valiosos para o gerenciamento sustentável na aplicação de fertilizantes.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Aplicação da lógica Fuzzy para estimar o processo e as dosagens adequadas na aplicação de fertilizantes.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar o modelo matemático desenvolvido na sua forma Fuzzy, ou seja, para todos os parâmetros do modelo;
- Estabelecer as equações das variáveis de controle do sistema em sua forma Fuzzy;
- Constituir as relações entre o risco e a confiabilidade, a partir do modelo matemático em sua forma Fuzzy;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 FERTILIZANTES

Os resíduos agroindustriais podem ser um problema ambiental se não utilizados na forma adequada. Por outro lado, a adubação é uma das operações mais custosas para a agricultura e responsável por boa parte do custo de produção das hortaliças. Esses resíduos podem ser bem aproveitados como fontes de nutrientes para a agricultura e podem, em proporção e forma adequadas, serem utilizados como fertilizantes, além de terem potencial de reduzir o custo de produção de hortaliças e melhorar a qualidade do solo. (TEIXEIRA, RENATA FERNANDES, 2019)

O biofertilizante é um adubo orgânico líquido utilizado para complementar a adubação de fertilizantes sólidos e que pode ser produzido dentro da propriedade rural, com materiais fáceis de serem encontrados no comércio e até na propriedade, cuja preparação ocorre em um tempo relativamente curto. (TEIXEIRA, RENATA FERNANDES, 2019)

O biofertilizante fornece nutrientes essenciais para as plantas e auxilia no controle de doenças e de insetos por conter microrganismos benéficos ao solo. É aplicado via pulverizações nas folhas ou junto com a água de irrigação, propiciando uma resposta mais rápida que os fertilizantes sólidos. Utiliza-se na concentração de 2% para mudas e 5% para plantas no campo. (TEIXEIRA, RENATA FERNANDES, 2019).

3.2 LÓGICA FUZZY

A teoria dos conjuntos fuzzy foi introduzida no meio acadêmico pelo matemático Lotfi Asker Zadeh, em 1965, com o objetivo de representar matematicamente termos linguísticos subjetivos como: “aproximadamente” ou “em torno de” (SOUZA, 2010). De acordo com Rignel, Chenci e Lucas (2011), Zadeh se embasou nos princípios desenvolvidos por Jan Lukasiewicz, em 1920, que introduziu conjuntos com grau de pertinência combinados aos conceitos da lógica clássica.

A lógica fuzzy se fundamenta na necessidade de respostas para problemas que são naturalmente incertos, onde os dados são vagos, imprecisos ou incompletos (MARQUES, HONORAT E NEVES, 2017). Segundo Silva (2011, p.32), essa lógica

“surgiu para ser utilizada em situações onde as proposições não são sempre totalmente verdadeiras ou totalmente falsas”. O autor afirma ainda que, na maior parte das situações o cérebro humano não funciona com certezas ou incertezas absolutas, em vez disso, processa conjuntos de incertezas e verdades parciais para se obter respostas adequadas.

Na teoria tradicional dos conjuntos, um elemento pode pertencer ou não a um determinado conjunto, ao passo que na teoria dos conjuntos fuzzy admite-se um grau de pertinência para associar um elemento a um conjunto. Sales (2014) explica que, desta forma, a teoria dos números fuzzy se baseia em uma função de pertinência que representa o grau pelo qual um elemento pertence à um conjunto. Os valores desta função variam entre 0, que representa um resultado 100% falso, e 1, que corresponde a um 100% verdadeiro (SALES, 2014).

De acordo com Pereira, Ocazonez e Tomaz (2012), quando é tomada uma decisão sobre um determinado assunto, é feita uma previsão com base em situações semelhantes já ocorridas e assume-se uma certa incerteza nessa decisão. Os autores afirmam ainda que, mesmo não havendo necessidade de nenhuma previsão para que o problema seja solucionado, um fator que poderá inviabilizar essa solução é a inexistência de informações. Para amenizar essa falta de dados deixando os cálculos mais precisos, surgiu a Lógica Fuzzy, em que um método matemático é usado para caracterizar e quantificar a incerteza e a imprecisão nos dados, baseada no uso de aproximações. (VIDAL, 2016).

Chenci, Rignel e Lucas (2011) afirmam que os princípios da Lógica Fuzzy foram desenvolvidos primeiramente por Jan Lukasiewicz no ano de 1920, quando houve a combinação dos conjuntos admitindo graus de pertinência com os conceitos da lógica clássica desenvolvida por Aristóteles. Esses conhecimentos, segundo os autores, deram o embasamento necessário para que, em 1965 Lofti Asker Zadeh fosse o primeiro autor de uma publicação a respeito da Lógica Fuzzy.

Analisando o cotidiano da sociedade, em que muitas regras seguidas pelas pessoas não podem ser explicadas, como ao olhar para um indivíduo pressupor-se sua idade, mesmo sem se saber ao certo como essa suposição acontece, Russ, Simpson e Dobbins (1996) afirmam que este foi o motivo por meio do qual Zadeh (1965) desenvolveu o que hoje é conhecido por Lógica Fuzzy.

Gharibi et al. (2012) reconhecem que a Lógica Fuzzy é apropriada aos sistemas ambientais, uma vez que tem a capacidade de retratar o pensamento humano de

forma matemática, além de trabalhar com informações quantitativas, qualitativas e não lineares que possuem certo grau de subjetividade.

Sales, Gomes e Souza (2014) afirmam que modelos determinísticos as incertezas inerentes a dados medidos, valores de parâmetros, condições de contorno e ajustes nas soluções numéricas das equações não são levados em consideração, havendo a necessidade da utilização de variáveis estocásticas, ou conjuntos de números fuzzy.

De acordo com Sales (2014), a Teoria Difusa, como também é conhecida, pode ser utilizada em estudos de incertezas da mesma forma que a Teoria Probabilística, ou seja, é uma metodologia que consegue quantificar riscos. A teoria da probabilidade era usada com êxito em diversas áreas de estudo, porém nela é bem mais difícil tratar incertezas devido ao elevado grau de complexidade dos problemas analisados, como afirmam Chenci, Rignel e Lucas, (2011). Da mesma forma, Adiléa (2003) explica que a Lógica Fuzzy é uma ferramenta que consegue trabalhar com informações vagas, convertendo-as em um formato numérico de fácil manipulação.

Abar (2004) e Chenci, Rignel e Lucas (2011) explicam que na Lógica Fuzzy, para cada variável estabelecida não é, necessariamente, admitido um valor preciso, mas sim um valor com grau de pertinência entre os elementos, em relação a seu conjunto; esse grau, que pode variar entre 0 e 1, referências equivalentes a um valor menos provável de ocorrer e a um valor mais provável de ocorrer, respectivamente. Dessa forma, esta lógica facilita a concepção de modelos, deixando-os menos complexos, e atrai diversos pesquisadores e profissionais de diversas áreas.

Diversos setores produtivos intensificaram o uso de sistemas inteligentes para apoiar a tomada de decisão. Isso vem ocorrendo devido a fatores como a globalização, grandes volumes de informações e a necessidade de uma gestão eficiente. A importância dos sistemas inteligentes para diversas organizações está na capacidade de tais sistemas preservarem, aproveitarem e fazerem uso de recursos cada vez mais valiosos, como a experiência da gestão da organização no processo decisório (REZENDE, 2003).

A chave para a implementação destes sistemas hoje em dia está relacionada com os avanços obtidos nas tecnologias computacionais. Esses avanços são caracterizados por melhorias e novos canais de comunicação, otimizações de poder computacional e, principalmente, inteligência artificial. Este último é primordial e possui diversos ramos e técnicas para aplicação de sistemas inteligentes. Tais

sistemas são feitos com a finalidade de resolver problemas atuais, fornecendo ferramentas para desenvolver softwares que modelam o raciocínio humano (raciocínio aproximado). Nesse contexto, a lógica fuzzy e a teoria dos conjuntos fuzzy desempenham um papel fundamental implementados (ENGELBRECHT, 2007).

Alguns exemplos de aplicações inteligentes que utilizam a teoria de sistemas fuzzy são apresentados por ENGELBRECHT, 2007. O autor explora alguns problemas do mundo real, incluindo o controle automático de comportas de barragens para usinas hidrelétricas, sistemas de frenagem em veículos, compensação de vibração em filmadoras, controle de elevadores e controle de sistemas de ar condicionado.

Há uma tendência natural dos seres humanos em agrupar objetos semelhantes em conjuntos. Na teoria clássica dos conjuntos, um conjunto A pertencente a um universo de discurso X pode ser representado por uma função característica $A(x)$, $x \in X$, isto é:

$$A(x) = \begin{cases} 1, & \text{se } x \in X \\ 0, & \text{se } x \notin X \end{cases}$$

Percebe-se que esta estrutura é restritiva, ideal para conjuntos com limites bem definidos, pois, para qualquer objeto que pertença ao universo de discurso X , pode-se determinar com exatidão se o mesmo pertence ou não ao conjunto A . O conceito fundamental dos conjuntos fuzzy é suavizar esta restrição.

Conforme Zadeh, (1965), um conjunto fuzzy é caracterizado por uma função de pertinência, que mapeia os elementos de um domínio, espaço ou universo de discurso X para um número real em $[0, 1]$. Formalmente, $\tilde{A}: X \rightarrow [0, 1]$. Desta forma, um conjunto fuzzy apresenta-se como um conjunto de pares ordenados, em que o primeiro elemento é $x \in X$, e o segundo, $\mu_{\tilde{A}}(x)$, é o grau de pertinência ou a função de pertinência de x em $\tilde{A}$, que mapeia x no intervalo $[0, 1]$, ou seja, $\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) \mid x \in X\}$. A pertinência de um elemento a um determinado conjunto passa a ser uma questão de gradação. Nos casos extremos, o grau de pertinência é 0, ocasião em que o elemento não pertence ao conjunto, ou o grau de pertinência é 1, se o elemento pertence 100% ao conjunto Turksen, 1991; Zimmermann, 1991. Portanto, um conjunto fuzzy surge a partir do “alargamento” de um conjunto clássico (nítido), passando a incorporar medidas de incerteza.

A seguir, apresenta-se alguns conceitos básicos dos conjuntos fuzzy, baseados principalmente em (Klir, 1995; Zimmermann, 1991; Fuhrmann, 1990; Klir, 1988; Dubois, 1980; Zadeh, 1965; Pedrycz, 1998).

3.2.1 Função de Pertinência

A função de pertinência é o componente crucial de um conjunto fuzzy, e muitas operações são definidas em conformidade com a mesma (Zadeh, 1965). Uma vez identificados objetos ou conjuntos fuzzy, a primeira tarefa a cumprir é descobrir a melhor forma de determinar a função de pertinência (Inuiguchi, 2000; Arslan, 2001).

Muitas vezes, a estimação da função de pertinência $\mu_{\tilde{A}}(x)$, em situações do mundo real, vem de informações vagas e incompletas (Belchior, 1997), ocorrendo pela subjetividade dos especialistas, dependendo dos exemplos observados (Tanaki, 1998). Normalmente, uma função de pertinência está na forma $\tilde{A} : X \rightarrow [0,1]$. Assim sendo, qualquer função assim representada pode ser associada a um conjunto fuzzy, dependendo dos conceitos e das propriedades que se deseja representar, considerando-se, ainda, o contexto no qual o conjunto está inserido.

Várias são as funções de pertinências, porém, os números fuzzy mais utilizados são os triangulares e trapezoidais. A função de pertinência (figura 1) para um número fuzzy F triangular é dado da forma,

$$\varphi_F(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{se } a < x \leq b \\ \frac{x-c}{b-c} & \text{se } b < x \leq c \\ 0 & \text{se } x \geq c \end{cases}$$

Figura 1

O gráfico da função (figura 2) de pertinência triangular tem a forma de um triângulo, com base em um intervalo $[a,c]$ e um vértice fora da base $(b,1)$, sendo assim, os números reais a , b e c definem o número fuzzy triangular, não sendo necessariamente simétricos.

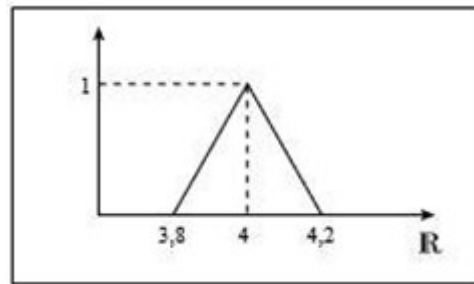


Figura 2. Exemplo de Função da pertinência triangular

4 METODOLOGIA

O modelo foi fundamentado a partir de dados e composição do solo e de componentes pertinentes ao a aplicação de fertilizantes. Uma vez definido o modelo, fez-se a transformação de suas equações para a sua forma fuzzy. Em outras palavras, foi estabelecido o modelo em sua forma “fuzzificada”, que permite avaliar o comportamento das diferentes variáveis de controle, como funções de pertinência, em que há um intervalo fechado e limitado, com limites inferiores e superiores conhecidos, porém, com informações de distribuição desconhecidas. Para encontrar as soluções do modelo, foi desenvolvido um programa computacional, Scilab®, que permite a realização das simulações, e foi feita a aplicação do estudo no presente caso deste trabalho.

A Figura 3, ilustra o sistema baseado na lógica fuzzy desenvolvido para a otimização do processo e dosagens a serem aplicadas de fertilizantes



Fonte: Autora (2022) figura 3

São consideradas diversas funções de pertinências a serem utilizadas. Nesse sentido, Godinho, Caneppele e Gasparotto (2021) consideram que a forma mais comum é a triangular, entretanto o modelo utilizado depende muito da preferência e experiência do projetista.

As funções de pertinência triangulares são caracterizadas por uma operacionalização simples utilizando siglas, podendo ser a, b e c. Sendo, o intervalo de a e c aplicados a valores diferentes de zero, e b é o ponto onde a função de pertinência é máxima (CANEPPELE et al., 2021)m destaca-se:

1. Fuzzificação do modelo

Para que um dado quantitativo se transforme em um conjunto fuzzy, é necessário estabelecer um intervalo fechado, com limites inferiores e superiores conhecidos. No caso do modelo de qualidade na aplicação de fertilizantes, cada

parâmetro do modelo se transformou em uma função de pertinência, com intervalos de confiança bem definidos, para que o modelo tenha características fuzzy. Para que a variável de controle se torne uma variável fuzzy, devem ser “fuzzificados” todos os parâmetros dessa variável, sendo assim, para cada variável de controle.

2. Composição das funções de pertinência

Neste estudo, por ser a mais utilizada, admitiu-se a distribuição fuzzy triangular, em que foram estimados os valores mínimo, médio e máximo de cada parâmetro “fuzzificado”, conforme o fator de variância estabelecido em outras literaturas. Cada função de pertinência é calculada de maneira que seus extremos, valores mínimo, médio e máximo, sejam estabelecidos de forma arbitrária, ou obedecendo a alguma lógica de desvio padrão.

O desvio padrão adotado nesse estudo foi de 20%, escolhido arbitrariamente como forma de aplicação, mas para outros estudos que exijam uma maior precisão na análise dos dados, este percentual pode ser definido de maneira mais precisa. Dessa forma, definido o valor médio do número de base e utilizados valores de desvio padrão igual a 20%, os extremos são calculados. Assim, para o valor mínimo, o cálculo é de 0,8 do valor médio estabelecido, e o valor máximo é de 1,2.

3. Cálculo do risco e da confiabilidade

De acordo com Sales (2014), o risco é um termo que pode ser representado matematicamente por um valor numérico, e a confiabilidade é seu complemento. Por exemplo, dizendo que há 13% de risco de ocorrer um evento, a confiabilidade corresponde aos 87% restantes.

Desse modo, utilizando a ideia de Ganoulis (1994), foi gerada uma distribuição matemática, ou conjunto de dados, a partir do modelo para que seja obtido um valor numérico.

A função marginal de segurança é calculada a partir da diferença entre a resistência do reservatório e dados obtidos pela equação em sua forma fuzzy.

O risco e a confiabilidade do sistema são estabelecidos a partir da função marginal de segurança, de modo que o risco é representado pela divisão da área que se encontra à esquerda do eixo das ordenadas pela área total da função marginal de

segurança. Já a confiabilidade é o restante, ou seja, a divisão da área que se encontra à direita do eixo das ordenadas pela área total da função marginal de segurança.

É relevante informar que os valores dos graus de pertinência estão presentes no intervalo $[0,1]$ e o eixo das ordenadas é o limite da função marginal de segurança, sendo o risco e a confiabilidade obtidos em forma percentual. Sabe-se ainda que os valores menos prováveis de ocorrer correspondem ao grau de pertinência 0 e valores mais prováveis de ocorrer correspondem ao grau de pertinência 1.

A partir desta teoria, explicada por Ganoulis (1994), pode-se identificar o risco e a confiabilidade do sistema, sob condições preestabelecidas, com o auxílio de um programa computacional.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O programa utilizado nesse estudo, Scilab -R, permite a avaliação das variáveis de controle, na forma de função de pertinência e a análise de cada parâmetro do sistema, mediante a metodologia fuzzy. Para que isso fosse possível, foi estabelecido um conjunto de sub-rotinas com funções bem definidas.

O programa permite a avaliação das variáveis de controle, na forma de função de pertinência e a avaliação do risco de contaminação durante a aplicação dos fertilizantes (aplicação de dosagens equivocadas), por meio da metodologia fuzzy. A Figura 4 ilustra o comportamento das concentrações de déficit na dosagem de fertilizantes.

Figura 4 – Comportamento das concentrações de Déficit na dosagem de fertilizantes

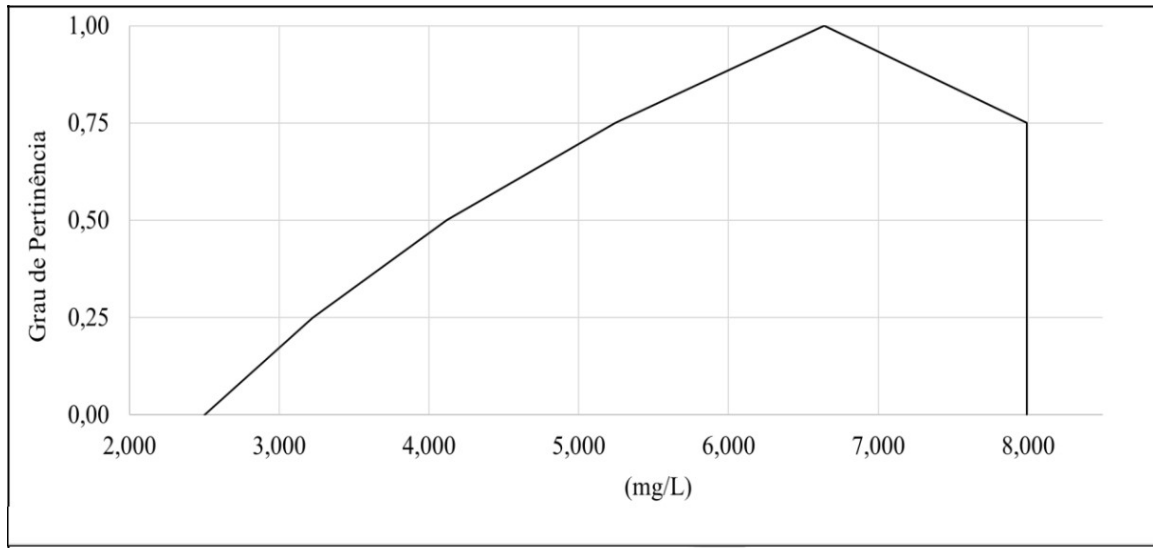


Fonte: Elaborada pela autora.

As linhas inferior e superior ilustradas representam os valores da concentração para o nível de pertinência igual a 0,5. Entre essas duas linhas, observa-se a região de corte para os números fuzzy com graus de pertinência superiores a 0,5.

Em outras palavras, qualquer concentração presente nesta região, tem o grau de pertinência superior a 0,5, o que indica a região de maior possibilidade de ocorrência dos valores de concentração. A distância entre essas duas linhas representa a largura da base dos números fuzzy com grau de pertinência maior ou igual a 0,5. Como exemplo, nota-se a linha central da figura, que representa os valores da concentração com grau de pertinência 1. A Figura 5 ilustra a dosagem de fertilizantes utilizando o modelo Fuzzy.

Figura 5: Dosagem de fertilizante, considerando sua forma *fuzzy*



Fonte: Elaborada pela autora.

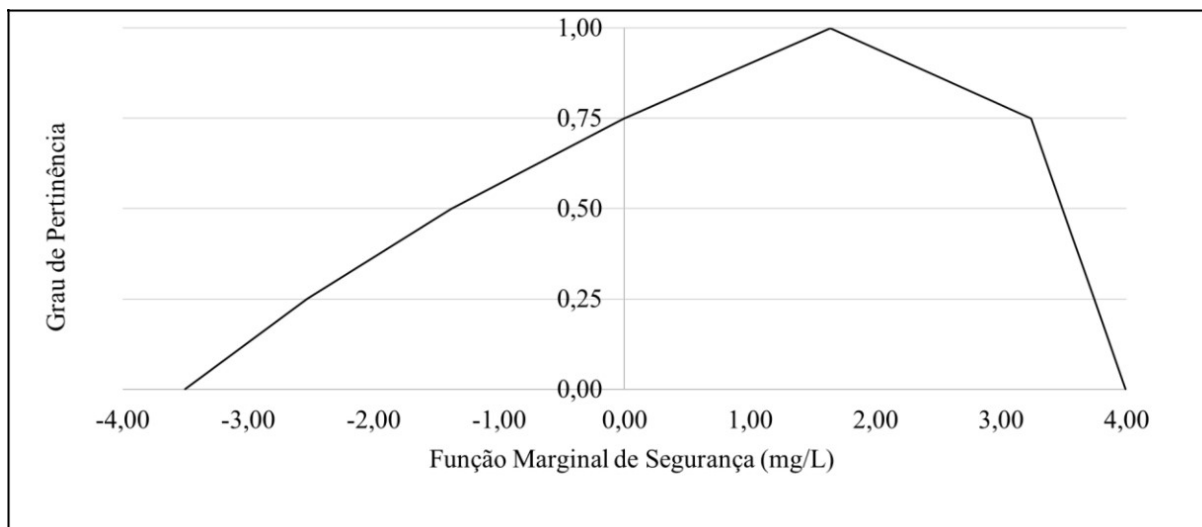
Os valores com grau de pertinência igual a zero são aqueles com menor possibilidade de ocorrer, enquanto que aqueles valores próximos ao grau de pertinência 1 têm maior possibilidade de ocorrer, sendo este igual a 6,64 mg/L da concentração

Os resultados ilustrados na Figura 4 mostram a eficácia do programa computacional e suas possibilidades para o desenvolvimento de metodologias de índices de risco de falhas.

Para que seja estabelecido o cálculo do risco e da confiabilidade, é necessário que seja feito primeiramente o cálculo da Função Marginal de Segurança, Figura 5, em que é feita a relação entre os dados obtidos pelas simulações do modelo e os valores determinados em legislação, sendo, a partir dela, possível o cálculo do risco e da confiabilidade.

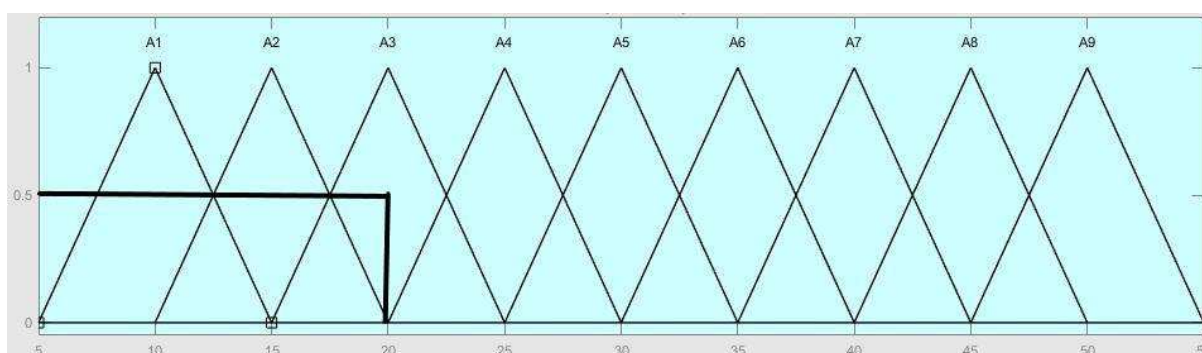
Associando as variáveis de entrada com a saída, foi reconhecido que o ponto de maior grau de pertinência dentro deste conjunto difuso foi para uma valores em ponto médio para ambos os Fertilizantes, resultando em uma média produção, como mostra a Figura 6.

Figura 6 – Função Marginal de Segurança



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 7 - Indicação de maior grau de pertinência para o conjunto difuso no ponto médio para a altura de planta = 20 cm

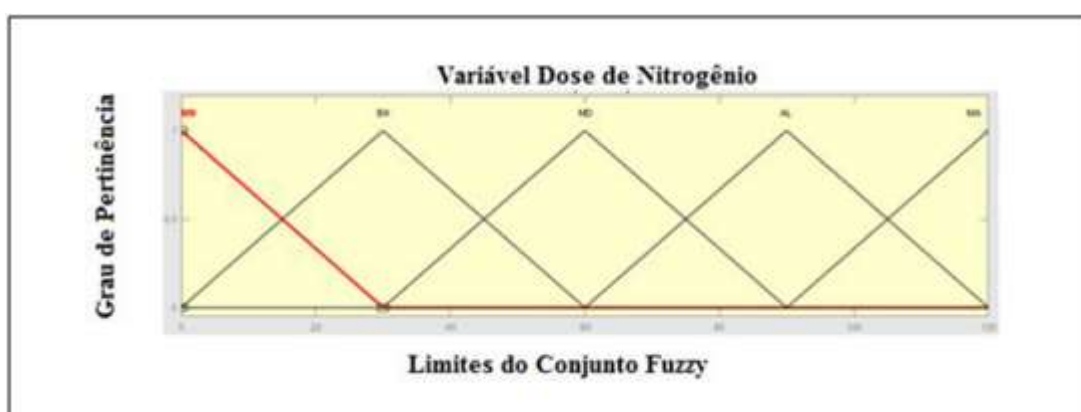


Fonte: Elaborada pela autora.

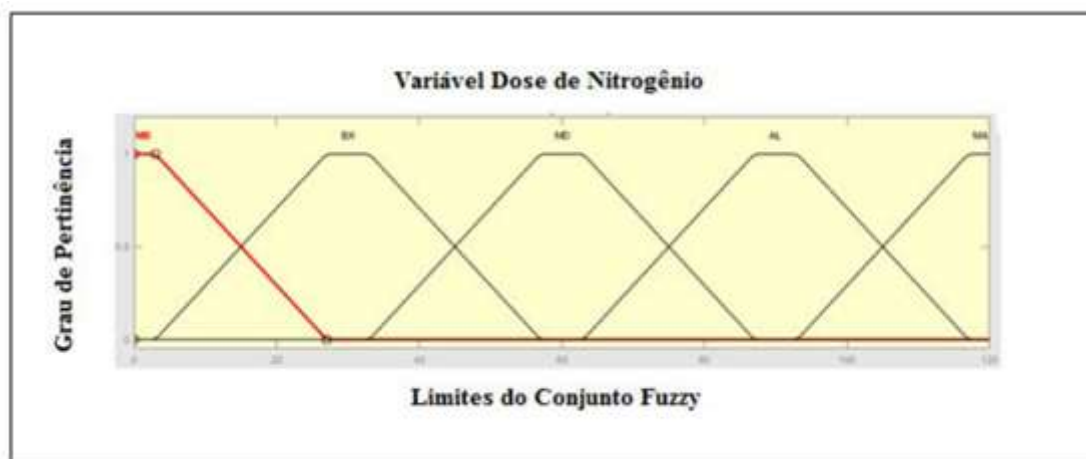
Bernardino e Garcia (2009), recomendam aplicações em doses médias de aplicações de fertilizantes a base de N e K, pois são responsáveis pelo incremento na produção de matéria seca, entretanto é importante observar a análise de solo do local, para que tenha um bom resultado no aglomerado de nutrientes.

Entretanto, caso necessitar de uma aplicação em uma dosagem alta de um fertilizante, a produtividade da hortalixa pode não obter a resposta desejada, tendo em vista que ao manejar erroneamente uma dosagem de um nutriente, pode por si próprio reduzir a absorção de outro nutriente tão importante quanto os aplicados pelos fertilizantes, este fator é chamado de lei do mínimo.

As variáveis que descrevem o estado do sistema a ser controlado, ou seja, as variáveis de entrada tem a dose de nitrogênio e a caracterização meteorológica do ano de cultivo. Foi definido para a variável “dose de nitrogênio” funções de pertinência do tipo triangular e trapezoidal (Figura 6) , ambas assumindo os termos linguísticos “muito baixa, baixa, média, alta e muito alta”, que são definidos como conjuntos fuzzy. No caso da variável “condição de ano de cultivo”, os termos linguísticos utilizados foram “desfavorável, intermediário e favorável” tanto para a função de pertinência do tipo triangular como também para a função de pertinência do tipo trapezoidal.



(a)



(b)

Figura 6. Para a variável Dosagem de Nitrogênio: (a) Função de pertinência triangular e (b) Função de pertinência trapezoidal

Percebe-se nas literaturas estudadas que as funções de pertinência mais utilizadas para os conjuntos fuzzy são a triangular e a trapezoidal. Pimenta (2009, p.8) diz que, devido a sua formulação simples e eficiência computacional, as funções do

tipo triangular e trapezoidal são amplamente utilizadas, especialmente em implementações com requisitos de funcionamento em tempo real. As funções de pertinência triangular trazem algumas características inerentes que justificam sua utilização em processos de modelagem que utilizam a lógica fuzzy.

Dentre essas características pode-se citar, a simplicidade na forma da função de pertinência; a informação satisfatória acerca do termo linguístico; e, a distribuição linear entre os termos limites do conjunto.

Pertinência é um conceito matemático que expressa a relação entre um elemento e um conjunto que o contém. Uma função de pertinência é uma representação matemática da relação entre um elemento e um conjunto que o contém. Essencialmente, este é o conceito fundamental da teoria dos conjuntos.

Na matemática, uma função de pertinência é um objeto matemático usado para descrever a pertinência de um objeto a outro. Em outras palavras, representa a relação entre dois conjuntos. É definido por um conjunto de termos que descrevem como cada elemento em cada conjunto pertence a esse conjunto específico. Ele mostra como dois conjuntos estão relacionados entre si.

6 CONCLUSÃO

A realização deste trabalho comprovou a aplicabilidade da lógica fuzzy em modelos matemáticos de análise na aplicação de fertilizantes como forma de contornar o problema da escassez de dados, sendo uma ferramenta viável e de grande valia do ponto de vista científico como auxiliadora na tomada de decisões.

A utilização do programa computacional para resolver as equações do modelo também se mostrou eficiente ao gerar resultados de forma rápida e prática.

O sistema fuzzy é adequado para estimar a dosagem de biofertilizantes, modelado com funções de pertinência triangulares ou trapezoidais, porém, para um melhor ajuste dos pontos e da base de regras, recomenda-se a utilização de variáveis de entrada altamente variáveis necessárias ao modelo reduzindo assim a complexidade do modelo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERNARDINO, F. S.; GARCIA, R. Sistemas Silvipastoris. Pesquisa Florestal Brasileira, n. 60, p. 77-87, 2009.

BISERRA, T. T. et al. Utilização de biofertilizante e adubação química em capim-piatã (*Brachiaria brizantha*). Rev. de Ciências Agrárias, Lisboa, v. 40, n. 2, p. 31-41, 2017.

CANEPPELE, F. L.; GODINHO, E. Z.; ZUIN, L. F. S.; FILHO, L. R. A. G. Aplicação da lógica fuzzy no desenvolvimento do morango no Oeste do Paraná. SODEBRÁS, v. 16, p. 06 - 09, 2021.

ABAR, C. O Conceito Fuzzy. Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2004.

BOGARDI, I.; DUCKSTEIN, L. The Fuzzy Logic paradigm of risk analysis. In: Risk Based Decision making in water Resources X. Santa Barbara, California. New York, ASCE, 2002.

CHAGAS, P. F. Perspectivas da aplicação da Teoria Fuzzy para cálculo de risco em sistemas hidrodinâmicos. 2005. 189 f. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

CHENCI, G. P.; RIGNEL, D. G. S.; LUCAS, C. A. Uma introdução à lógica Fuzzy. Revista Eletrônica de Sistemas de Informação e de Gestão Tecnológica, v. 1, n. 1, 2011.

CHO, H.; CHOI, H.; KIM, Y. A risk assessment methodology for incorporating uncertainties using fuzzy concepts. Reliability Engineering and System, South Korea, n. 78, p. 173 - 183. 2002.

DUQUE, W. O.; HUGNET, N. E.; DOMINGO, J. L.; SCHUMACHER, M. Assessing water quality in rivers with Fuzzy interference systems: A case study. Environment International, v. 32, p. 33 - 42, 2006.

GANOULIS, J. G. Engineering risk analysis of water pollution. Probabilities and Fuzzy sets. VCH publishers Inc. Weinheim; New York; Basel; Tokyo, 1994.

GHARIBI, H.; MAHVI, A.H.; NABIZADEH, R.; ARABALIBEIK, H.; YUNESIAN, M.; SOWLAT, M.H. A novel approach in water quality assessment based on fuzzy logic. Journal of Environmental Management, n. 112, p. 87 - 95. 2012.

KLIR, G. J.; FOLGER, T. A. Fuzzy Sets, Uncertainty and Information, Prentice-Hall, New Jersey, U.S.A. 1988.

LI, J. B.; HUANG, G. H.; ZENG, G. M.; MAQSOOD, I.; HUANG, Y. F. An integrated fuzzy-stochastic modeling approach for risk assessment of Ground water contamination. Journal of Environmental Management, Columbia, v. 82, n. 2, p. 173 - 188, 2007.

LU, R-S; LO, S-L. Diagnosing Reservoir Water Quality using Self-organizing Maps and Fuzzy Theory. Water Research, n. 36, p. 2265 - 2274, 2002.

MESBAH, S. M.; KERACHIAN, R.; TORABIAN, A. Trading pollutant discharge permits in rivers using fuzzy nonlinear cost functions. Desalination, v. 250, p. 313 – 317, 2010.