

Sistema Fuzzy Como Ferramenta Auxiliar na Detecção da Murcha de *Fusarium* no Tomateiro

Arilson Fernando Gomes Ferreira¹, Luís Fontes Moreira¹, Gabriel Rodrigues de Arruda¹,
Rhyhan Ximenes de Brito¹, Alisson Vítor Gomes Ferreira²

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE - Campus Tianguá-CE)

²Universidade Federal do Ceará (UFC) - Campus Sobral - CE

{a.fernando.ifce, rxbrito, luisfontes123}@gmail.com

{arrudagabriel97, alissonferreiraufc}@gmail.com

Abstract. *Fuzzy systems are suitable for manipulating subjective information as in the scenario of this research on tomato fusarium wilt. It can assist professionals in detecting the disease before it manifests itself throughout the planting. The aim of this paper is to discuss the use of fuzzy logic as an auxiliary mechanism in tomato analysis to detect if it is a carrier or may develop the disease. The methodology was based on bibliographic research and data collected on a rural property in the interior of the state of Ceará. The results showed that the fuzzy system is very useful to aid in the detection of the disease, highlighting the importance of fuzzy logic for plant diagnosis.*

Resumo. *Os sistemas fuzzy são apropriados para a manipulação de informações subjetivas como no cenário desta pesquisa sobre a murcha de fusarium no tomateiro. Podendo auxiliar profissionais na detecção da doença antes que se manifeste em todo o plantio. O objetivo deste trabalho é discutir o uso da lógica fuzzy como mecanismo auxiliar na análise do tomateiro para detectar se o mesmo é portador ou poderá desenvolver a doença. A metodologia baseou-se em pesquisas bibliográficas e em dados coletados em uma propriedade rural do interior do estado do Ceará. Os resultados apresentados demonstraram que o sistema fuzzy é bastante útil para o auxílio na detecção da doença evidenciando a importância da lógica nebulosa para diagnósticos em plantas.*

1. Introdução

Diferente da lógica booleana, onde o zero representa falso e o um representa verdadeiro, ou seja, não pertencente ou pertencente a uma classe. Na lógica *fuzzy* a transição entre o membro e o não membro está em uma faixa gradual, sendo associado a um grau entre o totalmente não membro e o totalmente membro [Camargos 2002].

Os conjuntos *fuzzy* tem por objetivo aproximar o raciocínio humano à forma na qual as máquinas poderão interpretar. Na verdade, age como uma ponte que permite ainda o emprego de quantitativos, como por exemplo, muito quente e muito frio [Camargos 2002]. Essa lógica é de suma importância, podendo ser aplicada em diversos problemas. Nessa situação foi utilizada a lógica *fuzzy* como método de auxílio no diagnóstico da murcha de *fusarium* no tomateiro. A murcha ou amarelecimento de *fusarium*, é causada pelo fungo *Fusarium Oxysporum* e ocorre em praticamente todas as regiões produtoras do Brasil [de Toledo-Souza et al. 2008].

A motivação deste trabalho está relacionada a carência de sistemas que façam uso da lógica não tradicional, como a lógica *fuzzy*, para auxiliar no diagnóstico de doenças no tomateiro, de modo que se possa avaliar diversas variáveis e gerar uma saída com valores linguísticos.

Este trabalho está organizado em seis seções: Seção 2 apresenta os trabalhos relacionados; Seção 3 apresenta a fundamentação teórica; em seguida na Seção 4 é apresentada a metodologia, na Seção 5 os resultados e discussões e por fim as conclusões e trabalhos futuros na Seção 6.

2. Trabalhos Relacionados

Esta seção apresenta uma revisão bibliográfica sobre alguns trabalhos que envolvem diagnóstico por meio da lógica *fuzzy* apresentando um resumo das abordagens descritas com suas principais características.

[Neto et al. 2004] avaliaram o desenvolvimento da altura do tomateiro em diferentes tensões de água no solo e diferentes doses de salinidade da água utilizando modelagem *fuzzy*. Utilizaram-se dados de um experimento realizado em um ambiente protegido. As variáveis de entrada do sistema foram irrigação e salinidade. A variável de saída foi a altura da planta. As análises foram realizadas por meio de gráfico tridimensional e mapa de contorno. A avaliação mostrou a redução da altura da planta em alguns tratamentos.

[Sena et al. 2017] demonstraram o uso de uma aplicação para detectar falhas no funcionamento de máquinas rotativas por coleta seletiva de frequências e amplitudes de picos. O sistema foi desenvolvido em linguagem gráfica no ambiente de programação LabVIEW. Os parâmetros vibracionais foram dispostos como variáveis modificadoras para o resultado final da lógica *fuzzy*, que é usada para conduzir as predições de falhas do sistema.

Já [Ferrari 2018] investigou a possibilidade de elaborar modelagens neuro *fuzzy* para estimativa do desenvolvimento e produtividade do rabanete, quando submetido a irrigação com água convencional e tratada magneticamente sob diferentes lâminas de irrigação, baseados na evapotranspiração da cultura. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com cinco lâminas de irrigação (25%; 50%; 75%, 100% e 125%), com água em duas condições (magnetizada e convencional).

3. Fundamentação Teórica

3.1. Lógica *Fuzzy*

A lógica *fuzzy* foi apresentada aos meios científicos em 1965 por Lofti Asker Zadeh, através da publicação do artigo *Fuzzy Sets no Jornal Information and Control* [de Sousa Rignel et al. 2011]. Nesta lógica, o raciocínio exato corresponde a um caso limite do raciocínio aproximado, sendo interpretado como um processo de composição de relações nebulosas [Gomide et al. 1995].

Já a lógica booleana usa distinções bem definidas para separar conjuntos, por exemplo, pode-se dizer que uma pessoa com 1.70m é considerada alta ou mediana, porém nunca os dois. Isso força a construção de linhas que diferenciem membros dos não membros de uma classe. Essa divisão muitas vezes é um processo complicado e que não reflete a realidade do problema a ser modelado [Marro et al. 2010].

O conceito *fuzzy* pode ser usado em situações que não é possível responder simplesmente sim ou não. Mesmo conhecendo as informações necessárias sobre a situação, dizer algo entre sim e não, como talvez ou quase, torna-se mais apropriado [de Sousa Rignel et al. 2011].

3.2. Murcha de *Fusarium*

A murcha-de-fusário causada por *Fusarium oxysporum Schlechtend* é uma das doenças mais importantes do tomateiro sendo disseminada na maioria dos países onde a hortaliça é cultivada. A doença pode ser limitante em lavouras conduzidas em campo aberto e em cultivos protegidos em regiões tropicais e subtropicais onde as condições climáticas são muito favoráveis ao desenvolvimento do patógeno [Reis et al. 2004].

A murcha de *fusarium* pode se manifestar em qualquer estágio de desenvolvimento do tomateiro, porém é mais comum em plantas no início de florescimento e frutificação. Os sintomas produzidos em mudas de viveiros são o clareamento das nervuras das folhas e curvamento dos pecíolos. No campo, o sintoma mais típico é o amarelecimento das folhas, geralmente a partir das mais velhas, em plantas no início de frutificação. Como consequência do avanço sistêmico do fungo através do xilema, o amarelecimento progride para as folhas mais novas, sendo seguido de murcha da planta nas horas mais quentes do dia, até que se torne irreversível. Quando se corta transversalmente o caule e raízes da planta doente, nota-se uma descoloração vascular que evidencia a presença do patógeno [de Andrade et al. 2013].



(a) Folhas amareladas



(b) Folhas murchas

Figura 1. Estágio inicial da doença murcha de *Fusarium*



(a) Alta severidade



(b) Caule

Figura 2. Estágio irreversível da doença murcha de *Fusarium*

Tanto no item (a) quanto no item (b) da Figura 1 são observáveis os sintomas iniciais da doença, onde as folhas mais velhas começam a amarelar e a planta nas horas mais quente do dia fica com as folhas murchas.

O item (a) da Figura 2 mostra o alto nível de severidade da doença, ocasionando a morte da planta. Já no item (b) da Figura 4 ao se cortar transversalmente o caule da planta doente, nota-se uma descoloração vascular que evidencia a presença do patógeno através do xilema.

4. Metodologia

Com o auxílio do MatLab foi desenvolvido uma aplicação baseada em regras da lógica *fuzzy*, com o intuito de auxiliar no diagnóstico da murcha de *fusarium* no tomateiro. Nesta ferramenta é possível determinar n entradas e n saídas, além da possibilidade de fazer simulações de acordo com situações programadas.

Os dados utilizados no sistema foram coletados no sítio Brejo situado na cidade de Ibiapina-CE. Assim foram usadas como variáveis de entrada características que o tomateiro apresenta quando está com a doença, como: amarelamento das folhas, necrose marginal ou total do limbo e curvamento dos pecíolos. Dessa forma a partir das combinações das variáveis gerou-se um total de 64 regras de inferência, algumas dessas regras estão sendo representadas pela Figura 3.

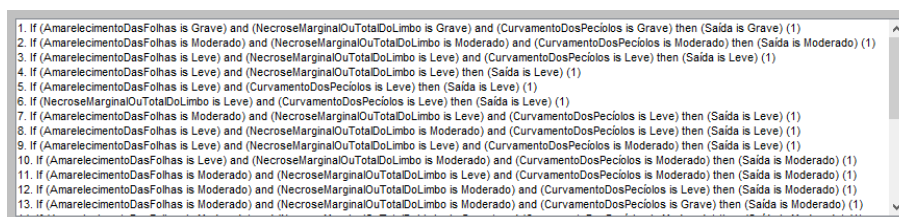


Figura 3. Regras de Inferência

Os sintomas citados foram utilizados como entradas no desenvolvimento da aplicação, os mesmos foram classificados em uma escala entre 0 e 1, onde 0 é a menor atribuição e 1 é a maior atribuição, significando que o sintoma é inexistente ou tem grau muito alto elevado de persistência na planta. O sistema desenvolvido está sendo representado pela Figura 4.

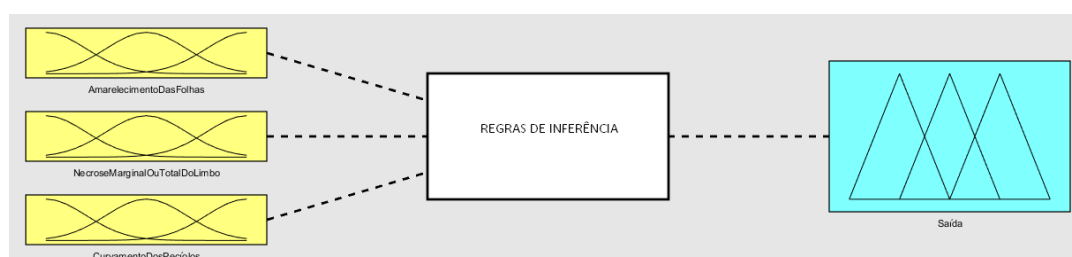


Figura 4. Representação do Sistema Desenvolvido

5. Resultados e Discussões

Para demonstrar a eficácia da aplicação foram analisados diversos casos de testes através da coleta de dados. Nesta seção foram destacados 2 dos resultados gerados pelo sistema,

com base na análise do TomateiroX e TomateiroY.

A Tabela 1 apresenta os dados para a gravidade de cada sintoma e o diagnóstico obtido com o TomateiroX, onde foi verificado que os sintomas pré-definidos apresentaram os seguintes resultados: amarelecimento das folhas 0.76, um sinal moderado tendendo ao estágio grave; necrose marginal ou total do limbo 0.85, considerado um estado grave; e curvamento dos pecíolos 0.92, considerado um estado grave. O diagnóstico obtido foi de 0.842 demonstrando um caso em que a doença estaria em uma fase inicial de infestação, sinalizando um alerta pela proximidade de uma possível epidemia.

Tabela 1. Dados do Tomateiro X

Sintomas	Valor
Amarelecimento das Folhas	0.760
Necrose Marginal ou Total do Limbo	0.850
Curvamento dos Pecíolos	0.920
Diagnóstico	0.842

A Tabela 2 também apresenta dados para a gravidade de cada sintoma e o diagnóstico obtido com a planta TomateiroY, onde foi verificado que os sintomas pré-definidos apresentaram os seguintes resultados: amarelecimento das folhas 0.29, um sinal leve porém bem intenso tendendo ao estágio moderado; necrose marginal ou total do limbo 0.52, que corresponde a um grau moderado do sintoma; e curvamento dos pecíolos 0.32, considerado um grau moderado ou quase leve. O diagnóstico obtido foi de 0.387, que seria um caso em que a doença estaria em uma fase inicial de infestação, sendo um sinal de alerta pela proximidade de uma possível epidemia.

Tabela 2. Dados do Tomateiro Y

Sintomas	Valor
Amarelecimento das Folhas	0.290
Necrose Marginal ou Total do Limbo	0.520
Curvamento dos Pecíolos	0.320
Diagnóstico	0.387

6. Conclusões e Trabalhos Futuros

Este trabalho teve como finalidade mostrar a utilização da lógica *fuzzy* como mecanismo auxiliar no diagnóstico de doenças fúngicas como a murcha de *fusarium* que acomete o tomateiro. Para os testes foram utilizados dados reais gerando resultados confiáveis que poderão ser utilizados por profissionais da agricultura.

O sistema poderá ser usado para auxiliar na detecção precoce da murcha de *fusarium*, pois ao se detectar os primeiros sintomas da doença os cuidados necessários para o combate serão mais eficientes. Porém o monitoramento das áreas e épocas mais susceptíveis a infestações é um fator importante, assim como o uso da lógica nebulosa que pode ser utilizada para garantir estratégias para um manejo preventivo com a utilização de fungicidas indicados por um profissional da área.

Como trabalhos futuros sugere-se a utilização da lógica *fuzzy* em outros tipos de doenças fúngicas do tomateiro como o oídio por apresentar um grau elevado de proliferação e mortalidade no tomateiro principalmente em regiões como na Serra da Ibiapaba no estado do Ceará.

Referências

- Camargos, F. L. (2002). Lógica nebulosa: uma abordagem filosófica e aplicada. *Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)*.
- de Andrade, D. E. G. T., de Souza, L. T., and de Assis, T. C. (2013). Murcha-de-fusário: importante doença do tomateiro no estado de pernambuco. *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica*, 5:243–263.
- de Sousa Rignel, D. G., Chenci, G. P., and Lucas, C. A. (2011). Uma introduÇÃO a lÓgica fuzzy. *Revista Eletrônica de Sistemas de Informação e Gestão Tecnológica*.
- de Toledo-Souza, E. D., Filho, A. C. C., and Junior, M. L. (2008). Plantas de cobertura para controle da murcha de fusarium em feijoeiro comum no sistema plantio direto. *Circular Técnica - Embrapa*.
- Ferrari, J. M. d. S. (2018). Análise da produtividade e das variáveis biométricas do rabanete sob diferentes lâminas de irrigação com água tratada magneticamente utilizando modelagem neuro-fuzzy.
- Gomide, F. A. C., Gudwin, R. R., and Tanscheit, R. (1995). Conceitos fundamentais da teoria de conjuntos fuzzy, lÓgica fuzzy e aplicaÇÕES. *Universidade Federal do Maranhão (UFMA)*.
- Marro, A. A., de Carvalho Souza, A. M., de Sousa Cavalcante, E. R., Bezerra, G. S., and de Oliveira Nunes, R. (2010). Lógica fuzzy: Conceitos e aplicações. *Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)*.
- Neto, D. d. S. V., Filho, L. R. G., Cremasco, C. P., Putti, F. F., Bordin, D., and Junior, J. F. S. (2004). Sistema baseado em regras fuzzy da altura do tomateiro em função da irrigação e da salinidade da água no momento da colheita.
- Reis, A., Boiteux, L., GIORDANO, L. d. B., Costa, H., and Lopes, C. (2004). Ocorrência de fusarium oxysporum f. sp. lycopersici raça 3 em tomate no brasil e seleção de novas fontes de resistência ao patógeno. *Embrapa Hortaliças-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)*.
- Sena, A. J. C., BRITO, F. D., GAMA, W. R., and JUNIOR, L. C. L. S. (2017). Sistema fuzzy de auxílio ao diagnÓstico para parÂmetros vibracionais em MÁquinas rotativas.