

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese/dissertação será disponibilizado somente a partir de 17/02/2022.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu



DEYVER BORDIN

**SISTEMAS COMPUTACIONAIS BASEADOS EM REGRAS *FUZZY* PARA
PREVISÃO DE COMPONENTES DE PRODUÇÃO DE CULTURAS IRRIGADAS**

Botucatu

2020

DEYVER BORDIN

**SISTEMAS COMPUTACIONAIS BASEADOS EM REGRAS *FUZZY* PARA
PREVISÃO DE COMPONENTES DE PRODUÇÃO DE CULTURAS IRRIGADAS**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

Orientadora: Camila Pires Cremasco Gabriel

Botucatu

2020

B729s Bordin, Deyver
Sistemas computacionais baseados em regras fuzzy para previsão de componentes de produção de culturas irrigadas / Deyver Bordin. -- Botucatu, 2020
123 p. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu
Orientadora: Camila Pires Cremasco Gabriel

1. Agronomia. 2. Irrigação. 3. Software. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: SISTEMAS COMPUTACIONAIS BASEADOS EM REGRAS FUZZY PARA PREVISÃO DE COMPONENTES DE PRODUÇÃO DE CULTURAS IRRIGADAS

AUTOR: DEYVER BORDIN

ORIENTADORA: CAMILA PIRES CREMASCO GABRIEL

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:


Prof.ª Dr.ª CAMILA PIRES CREMASCO GABRIEL

Coordenadora do Curso de Engenharia de Biosistemas / Faculdade de Ciências e Engenharia - UNESP - Tupã


Prof. Dr. DANIEL DOS SANTOS VIAIS NETO

Coordenador do Curso de Tecnologia em Agronegócio / Faculdade de Tecnologia de Presidente Prudente


Prof. Dr. JOÃO CARLOS CURY SAAD

Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP


Prof. Dr. SERGIO AUGUSTO RODRIGUES

Bioprocessos e Biotecnologia / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP


Prof. Dr. ALFREDO BONINI NETO

Coordenador do Curso de Engenharia de Biosistemas / Faculdade de Ciências e Engenharia - UNESP - Tupã

Botucatu, 17 de fevereiro de 2020.

Dedico,

primeiramente a Deus e a todos que contribuíram de maneira direta e / ou indireta para a superação deste grande desafio.

AGRADECIMENTOS

A Deus, mantenedor e precipitador de toda graça. Graça essa e verdade que vieram por intermédio de Jesus Cristo, que foi quem tornou Deus conhecido.

A Deus, por ser o mentor e criador da massa, matéria, tempo e tudo o que a partir disso ocorreu.

A Deus pela imensurável graça e misericórdia que cada vez mais tem se intensificado em minha vida, o que me possibilitou chegar a esse momento.

Aos meus pais, familiares e amigos que muito me apoiaram nos momentos de dificuldades.

A Profa. Dra. Camila Pires Cremasco Gabriel e seu esposo Prof. Dr. Luís Roberto Almeida Gabriel Filho (Beto) que me adotaram como filho e me conduziram desde a graduação até este momento.

Pessoas estas indescritíveis como profissionais, mas que, pela infinita misericórdia de Deus, muito melhores enquanto seres humanos. É também nesse sentido que, a cada dia de minha vida sou grato a Deus por terem cruzado meu caminho e me aceito, mesmo com minhas singularidades.

A Profa. Camila pela dedicação, determinação, paciência, orientação e, principalmente, por sua compreensão, o que possibilitou a realização deste trabalho.

A todos os docentes e demais servidores do Campus da Unesp de Botucatu/SP, que de alguma forma contribuíram para que eu conseguisse vencer mais esta etapa.

O meu muito obrigado!

Quando chegaram, Samuel viu Eliabe e pensou: “Com certeza este aqui é o que o Senhor quer ungir”.

O Senhor, contudo, disse a Samuel: “Não considere a sua aparência nem sua altura, pois eu o rejeitei. **O Senhor não vê como o homem: o homem vê a aparência, mas o Senhor vê o coração**” (1 Samuel 16:6-7, Tradução NVI, grifo meu).

RESUMO

Para uma satisfatória produtividade, a cultura do rabanete (*Raphanus sativus L.*) exige principalmente boa qualidade do solo e grande disponibilidade de água. A irrigação é uma técnica artificial utilizada para disponibilizar água as plantas. Seu uso deve ser criterioso e para que se obtenha menores custos de produção, deve-se evitar o uso desnecessário de água, e conseqüentemente, energia elétrica. Formas de utilização da água são cada vez mais estudadas, entre elas, a água de irrigação tratada magneticamente, que tem mostrado aprimoramentos produtivos em diversas culturas. O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um conjunto de sistemas computacionais baseados em regras *fuzzy* para previsão de componentes de produção de culturas irrigadas. Para tanto, foram utilizados dados de um experimento conduzido com água de irrigação convencional ou tratada magneticamente, sendo avaliadas variáveis biométricas, tais como: peso verde do bulbo, número de folhas, comprimento da raiz, diâmetro do bulbo, comprimento do bulbo, peso verde da raiz, peso verde da folha, peso seco da raiz, peso seco da folha e peso seco do bulbo. Como resultado, foi apresentado um conjunto de *softwares* com uma interface de simples uso e fácil compreensão, que poderá auxiliar os produtores na estimativa dos resultados das variáveis biométricas do rabaneteiro e de outras culturas irrigadas.

Palavras-chave: *Software*. modelagem matemática. hortaliça.

ABSTRACT

For satisfactory productivity, the cultivation of radish (*Raphanus sativus L.*) mainly requires good soil quality and great availability of water. Irrigation is an artificial technique used to make water available to plants. Its use must be judicious and to obtain lower production costs, unnecessary use of water and, consequently, electric energy should be avoided. Ways of using water are increasingly studied, among them, magnetically treated irrigation water, which has shown productive improvements in several cultures. The objective of this work was the development of a set of computational systems based on *fuzzy* rules for forecasting production components of irrigated crops. For that, data from an experiment conducted with conventional irrigation water or magnetically treated water were used, and biometric variables were evaluated, such as green bulb weight, number of leaves, root length, bulb diameter, bulb length, green weight root weight, green leaf weight, dry root weight, dry leaf weight, and dry bulb weight. As a result, a set of *software* was presented with a simple to use and easy to understand interface, which can assist producers in estimating the results of the biometric variables of the radish feet and other irrigated crops.

Keywords: *Software*. mathematical modeling. greenery.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sistema <i>fuzzy</i> para avaliação das variáveis biométricas do rabanete.....	33
Figura 2 – Funções de pertinência definidas para os conjuntos <i>fuzzy</i> das variáveis de entrada DAT e lâminas de irrigação.	35
Figura 3 – Funções de pertinência dos conjuntos <i>fuzzy</i> das variáveis de saídas – água convencional – Ciclo 1: (a) peso verde do bulbo (PVB) [g], (b) número de folhas (NF) [unid.], (c) comprimento da raiz (CR) [mm], (d) diâmetro do bulbo (DB) [mm], (e) comprimento do bulbo (CB) [mm], (f) peso verde da raiz (PVR) [g], (g) peso verde da folha (PVF) [g], (h) peso seco da raiz (PSR) [g], (i) peso seco da folha (PSF) [g], (j) peso seco do bulbo (PSB) [g].....	36
Figura 4 – Fluxograma de funcionalidade do <i>software</i>	42
Figura 5 – Interface do <i>software</i> de classificação do rabanete.....	43
Figura 6 – Interface inicial da seção 1 do <i>software</i> de avaliação do rabanete.	44
Figura 7 – Interface inicial da seção 2 do <i>software</i> de avaliação do rabaneteiro.	44
Figura 8 – Interface do <i>software</i> (seção 1) no momento de inserir os dados para análise, sendo o ciclo, tipo de água, DAT.	45
Figura 9 – Resultado da análise no <i>software</i> , no qual foi inserido ciclo 1, água tratada magneticamente, DAT de 30 dias.	46
Figura 10 – Gráfico de representação dos valores estimados das variáveis de saída.	46
Figura 11 – Simulações com variação do DAT, considerando lâmina de irrigação igual a 100%.	48
Figura 12 – Simulações com variação na lâmina de irrigação, considerando DAT igual a 35 dias.....	51
Figura 13 – Tela inicial do <i>software</i> de simulação e análise de sistemas <i>fuzzy</i> gerados a partir de qualquer conjunto de dados aferidos experimentalmente.	54
Figura 14 – Tela da funcionalidade do <i>software</i> para a inserção do número de variáveis de entrada e saída e geração do modelo <i>fuzzy</i>	54
Figura 15 – Resultado da funcionalidade “Visualizar Modelo”, com duas variáveis de entrada, e dez variáveis de saída, com o método de inferência de Mamdani, e com 15 regras.	56

Figura 16 – Resultado da funcionalidade “Funções de Pertinência” – Primeira aba, exibindo simultaneamente todas funções de pertinência das variáveis.....	57
Figura 17 – Resultado da funcionalidade “Funções de Pertinência” – Segunda aba 2, exibindo as funções de pertinência da primeira variável de entrada (DAT), e quarta aba, exibindo as funções de pertinência da primeira variável de saída (Número de Folhas).....	58
Figura 18 – Resultado da funcionalidade “Curvas / Superfícies” – Primeira aba, representando o comportamento da variável de saída “Número de Folhas” em uma superfície tridimensional, e também na forma bidimensional (mapa de contorno), considerando-se todas respostas em função das variáveis de entrada lâminas de irrigação e DAT.....	59
Figura 19 – Pontos selecionados pelo usuário mostrando as coordenadas (x, y, z) na superfície e (x, y) no mapa bidimensional, relativos ao resultado da funcionalidade “Curvas e Superfícies” na primeira aba da variável de saída “Número de Folhas”...	60
Figura 20 – Estrutura geral do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 2 entradas (DAT e lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	61
Figura 21 – Funções de pertinência de entrada e saída do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 2 entradas (DAT e lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	62
Figura 22 – Mosaico de superfícies tridimensionais do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 2 entradas (DAT e lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	65
Figura 23 – Mosaico de mapas de contorno do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 2 entradas (DAT e lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	66
Figura 24 – Superfícies tridimensionais com respectivas mapas de contorno do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 2 entradas (DAT e lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	67
Figura 25 – Estrutura geral do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 2 entradas (DAT e lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	74

Figura 26 – Funções de pertinência de entrada e saída do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 2 entradas (DAT e lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	75
Figura 27 – Mosaico de superfícies tridimensionais do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 2 entradas (DAT e lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	78
Figura 28 – Mosaico de mapas de contorno do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 2 entradas (DAT e lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	79
Figura 29 – Superfícies tridimensionais com os respectivos mapas de contorno do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 2 entradas (DAT e lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	80
Figura 30 – Estrutura geral do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (DAT) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	87
Figura 31 – Funções de pertinência de entrada e saída do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (DAT) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	88
Figura 32 – Mosaico de curvas modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (DAT) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	91
Figura 33 – Curvas do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (DAT) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	92
Figura 34 – Estrutura geral do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (DAT) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	95
Figura 35 – Funções de pertinência de entrada e saída do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (DAT) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	96
Figura 36 – Mosaico de curvas modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (DAT) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	99
Figura 37 – Curvas do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (DAT) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	100
Figura 38 – Estrutura geral do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	103

Figura 39 – Funções de pertinência de entrada e saída do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	104
Figura 40 – Mosaico de curvas modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	107
Figura 41 – Curvas do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	108
Figura 42 – Estrutura geral do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	112
Figura 43 – Funções de pertinência de entrada e saída do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	112
Figura 44 – Mosaico de curvas modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	115
Figura 45 – Curvas do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	116

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros climáticos durante o experimento.....	29
Tabela 2 – Definição de funções de pertinência triangulares de variáveis de entrada.	34
Tabela 3 – Definição das funções de pertinência triangulares das variáveis de saída.	37
Tabela 4 – Planilhas gerada pelo relatório final do <i>software</i> contendo os parâmetros de todas funções de pertinência de entrada e saída do modelo <i>fuzzy</i>	70
Tabela 5 – Planilhas gerada pelo relatório final do <i>software</i> com todos intervalos das variáveis de entrada e saída.	73
Tabela 6 – Planilhas gerada pelo relatório final do <i>software</i> contendo a base de regras do modelo <i>fuzzy</i>	73
Tabela 7 – Planilhas gerada pelo relatório final do <i>software</i> contendo os parâmetros de todas funções de pertinência de entrada e saída do modelo <i>fuzzy</i>	83
Tabela 8 – Planilhas geradas pelo relatório final do <i>software</i> com todos intervalos das variáveis de entrada e saída.	86
Tabela 9 – Planilhas gerada pelo relatório final do <i>software</i> contendo a base de regras do modelo <i>fuzzy</i>	86
Tabela 10 – Planilhas gerada pelo relatório final do <i>software</i> com todos intervalos das variáveis de entrada e saída.	93
Tabela 11 – Planilhas gerada pelo relatório final do <i>software</i> contendo os parâmetros de todas funções de pertinência de entrada e saída do modelo <i>fuzzy</i>	94
Tabela 12 – Planilhas gerada pelo relatório final do <i>software</i> contendo a base de regras do modelo <i>fuzzy</i>	94
Tabela 13 – Planilhas gerada pelo relatório final do <i>software</i> com todos intervalos das variáveis de entrada e saída.	101
Tabela 14 – Planilhas gerada pelo relatório final do <i>software</i> contendo os parâmetros de todas funções de pertinência de Entrada e Saída do modelo <i>fuzzy</i>	102
Tabela 15 – Planilhas gerada pelo relatório final do <i>software</i> contendo a Base de Regras do modelo <i>fuzzy</i>	102
Tabela 16 – Planilhas gerada pelo relatório final do <i>software</i> com todos intervalos das variáveis de entrada e saída.	109

Tabela 17 – Planilhas gerada pelo relatório final do <i>software</i> contendo os parâmetros de todas funções de pertinência de Entrada e Saída do modelo <i>fuzzy</i>	110
Tabela 18 – Planilhas gerada pelo relatório final do <i>software</i> contendo a Base de Regras do modelo <i>fuzzy</i>	111
Tabela 19 – Planilhas gerada pelo relatório final do <i>software</i> com todos intervalos das variáveis de entrada e saída.	117
Tabela 20 – Planilhas gerada pelo relatório final do <i>software</i> contendo os parâmetros de todas funções de pertinência de Entrada e Saída do modelo <i>fuzzy</i>	118
Tabela 21 – Planilhas gerada pelo relatório final do <i>software</i> contendo a Base de Regras do modelo <i>fuzzy</i>	119

LISTA DE SÍMBOLOS

AC	Água convencional
ATM	Água tratada magneticamente
CR	Comprimento da raiz
CB	Comprimento do bulbo
DB	Diâmetro do bulbo
DAT	Dias após transplante
NF	Número de folhas
PSF	Peso seco da folha
PSR	Peso seco da raiz
PSB	Peso seco do bulbo
PVF	Peso verde da folha
PVR	Peso verde da raiz
PVB	Peso verde do bulbo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	25
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	29
2.1	Descrição do experimento objeto da modelagem matemática	29
2.2	Descrição do Laboratório de Matemática Aplicada e Computacional	31
2.3	Modelagens <i>fuzzy</i>	32
2.4	Determinação das variáveis de entrada	33
2.5	Determinação das variáveis de saída.....	35
2.6	Método de inferência e defuzzificação.....	39
2.7	Plataforma computacional para a cultura do rabanete	39
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
3.1	<i>Software</i> elaborado para avaliação da cultura do rabanete.....	41
3.2	<i>Software</i> elaborado para quaisquer culturas	53
3.2.1	Resultados do <i>software</i> genérico para a cultura do rabanete com variações simultâneas nos dias após transplântio e nas lâminas de irrigação	55
3.2.1.1	Resultados para irrigação com AC	55
3.2.1.2	Resultados para irrigação com ATM.....	74
3.2.2	Resultados do <i>software</i> genérico para a cultura do rabanete sem estresse hídrico com variações nos dias após transplântio	87
3.2.2.1	Resultados para irrigação com AC	87
3.2.2.2	Resultados para irrigação com ATM.....	95
3.2.3	Resultados do <i>software</i> genérico para a cultura do rabanete no momento de colheita com variações nas lâminas de irrigação	103
3.2.3.1	Resultados para irrigação com AC	103
3.2.3.2	Resultados para irrigação com ATM.....	111
4	CONCLUSÕES	120
	REFERÊNCIAS.....	121

1 INTRODUÇÃO

O rabanete (*Raphanus sativus L.*) é uma planta herbácea que pertence à família das Brassicaceae. Originário do Mediterrâneo é conhecido em diversos países, no entanto, frente a outros alimentos tem uma modesta demanda. Pode ser consumido na forma crua ou cozida, suas raízes globulares caracterizam-se por possuírem a casca avermelhada e a polpa branca (PAIVA et al., 2013). É pouco calórico e em sua composição está presente significativa quantidade de vitaminas C e B6, ácido fólico, potássio e fibras alimentares (CAMARGO et al., 2007).

Para uma satisfatória produtividade na cultura do rabanete, é imprescindível principalmente uma boa qualidade de solo e grande disponibilidade de água. Além disso, seu ciclo varia entre 25 a 35 dias, variando em função principalmente da temperatura e da qualidade do solo (EMBRAPA, 2012). Quando produzido em temperaturas médias abaixo de 25°C produz-se raízes com melhor palatabilidade.

Recente estudo do Fundo das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2014), aponta a agricultura como o setor que mais consome água doce no Brasil. Ainda neste estudo, a agropecuária utiliza cerca de 70% da água do país e quase metade é utilizada com projetos de irrigações mal elaborados, falta de controle pela quantidade de água necessária para determinada cultura ou até mesmo no processamento inadequado de produtos.

Os resultados desse uso indiscriminado de água podem ter sérias implicações na qualidade da vida humana, pois com a crise hídrica não somente os lençóis freáticos como os rios podem diminuir ou até mesmo secar.

Segundo a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO, 2015), o uso de água cresceu em um ritmo duas vezes maior que o populacional no último século. Isso é bastante preocupante, visto que a água é uma necessidade humana essencial e sua ausência tem implicações socioeconômicas, estando relacionada diretamente a vida, à saúde e a alimentação. Essa situação é alarmante, pois estima-se que a população irá dobrar até a metade do século e, conseqüentemente, a demanda por alimentos e água.

Segundo a UNESCO (2015), a falta de saneamento básico, além de não acompanhar o crescimento populacional, não oferece estrutura condizente com a dimensão da atual população. Nesse sentido, o grande desafio é gerir de forma eficiente e sustentável o uso da água.

De acordo com a ONU (1992), pela “Declaração Universal dos Direitos da Água”:

“Os recursos naturais de transformação da água em água potável são lentos, frágeis e muito limitados. Assim sendo, a água deve ser manipulada com racionalidade, precaução e parcimônia. O equilíbrio e o futuro de nosso planeta dependem da preservação da água e de seus ciclos. Estes devem permanecer intactos e funcionando normalmente para garantir a continuidade da vida sobre a Terra. Esse equilíbrio depende em particular da preservação dos mares e oceanos, por onde os ciclos começam”.

Considerando lento o ciclo de transformação da água, o equilíbrio e futuro de nosso planeta dependem de sua preservação, sendo assim, é imprescindível que façamos o uso racional de nossos recursos hídricos, principalmente na agricultura, que é responsável por grande parcela desse consumo. Com a percepção dessa necessidade, surge a “*pegada hídrica*”, que é um método que promete apontar a quantidade de água necessária para a fabricação ou cultivo de determinado bem ao longo de toda cadeia produtiva.

Levando em consideração que água em abundância é imprescindível para a produção do rabanete e que este é um escasso e precioso recurso, é lógico e justificável o estudo de formas de otimização do uso da água em todas as suas formas de utilização, especialmente na irrigação, que muito consome e desperdiça no Brasil.

Putti (2013) aponta que o uso da água de irrigação induzida magneticamente, proporciona maior qualidade e produtividade na cultura, ficando demonstrado em uma produção da alface em que se obteve melhores resultados frente a utilização de água convencional na irrigação.

Gabriel Filho (2011) demonstra melhor produtividade e desenvolvimento geral na criação de animais que consomem água tratada magneticamente.

Estas pesquisas, além do estudo por comparação de médias dos tratamentos com uso de análises estatísticas, permitem a modelagem matemática de seus resultados. Neste sentido, uma teoria promissora vem se destacando com o uso da lógica *fuzzy*.

Segundo Cremasco (2008), a lógica *fuzzy* estabelece a criação de algoritmos genéticos capazes de imitar parte do raciocínio humano. Estes métodos foram sintetizados, criando-se um programa computacional baseado em regras determinadas a partir desta lógica, surgindo então um sistema baseado em regras *fuzzy*. Esta teoria, que busca aplicar à matemática conceitos difusos, foi introduzida por Zadeh (1965).

A teoria *fuzzy* vem sendo utilizada em diversos ramos científicos tais como: na avaliação da racionalidade e eficiência do consumo de energia elétrica em granjas de galinhas poedeiras (CREMASCO, 2008), na avaliação do bem-estar de galinhas (PEREIRA, 2008), para avaliar se rebanhos bovinos estão propícios para o abate (GABRIEL FILHO, 2011), na análise espacial da erosão hídrica em um latossolo vermelho amarelo sob cultivo de café conilon (SILVA et al., 2007), na definição de zonas de manejo na lavoura de café com base na condutividade elétrica e as implicações produtivas (VALENTE et al., 2012).

Adicionalmente, surge a necessidade da elaboração de softwares que facilitem o acesso aos resultados gerados pelos modelos matemáticos *fuzzy*. Diversas pesquisas fazem uso do software Matlab para a estruturação do modelo matemático *fuzzy* e também para a criação de softwares. Além disso, também é muito utilizada a linguagem de programação Delphi, permitindo mais liberdade ao programador para que insira maiores possibilidades de ações de parte do usuário.

Segundo Bordin (2016) esta linguagem de programação gera resultados para Windows, Mac, Android, IOS e WEB, além de ser totalmente visual e orientada a objetos. É uma maneira rápida de gerar aplicativos ricos em recursos. Seu ambiente de rápido desenvolvimento com design visual do tipo “arrastar-e-soltar” facilita e simplifica todo e qualquer trabalho, reduzindo o tempo de execução das tarefas.

Segundo ainda o mesmo autor, o ambiente de desenvolvimento do Delphi possui inúmeros componentes pré-instalados (são centenas controles visuais como: botões de rádio, caixas de seleção, barra de progresso, entre outros). Seu ambiente facilita todo o trabalho e diminui o tempo de desenvolvimento, além disso, é possível a instalação de componentes de terceiros (são milhares gratuitos e comerciais) que aumenta ainda mais o poder da linguagem e conseqüentemente a produtividade.

Suas aplicações podem ser, praticamente, para toda e qualquer natureza e grau de complexidade, pois mesmo com seus recursos nativos, é possível, como por exemplo, acesso direto aos diversos Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados, além de possibilitar aplicações com tela interativa sensível ao toque, aplicativos multicamadas, para computação nas nuvens, é possível construir aplicativos que necessitam de velocidade: visualização de dados, controle de hardware em tempo real, manipulação de objetos em 3D, etc (BORDIN, 2016).

O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um conjunto de sistemas computacionais baseados em regras *fuzzy* para previsão de componentes de produção de culturas irrigadas.

Os objetivos específicos desta pesquisa foram:

O desenvolvimento de um *software* para a avaliação de dados biométricos da cultura do rabanete utilizando como variáveis de entrada dias após transplante (DAT) e lâminas de irrigação (água convencional ou tratada magneticamente).

O desenvolvimento de um *software* genérico para a avaliação de dados diversos de produção de culturas irrigadas.

REFERÊNCIAS

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. 3. ed. Jaboticabal-SP: Funep, 2006. 237p.

BORDIN, D. **Plataforma computacional *fuzzy* para avaliação nos estágios do tomateiro dos efeitos da irrigação e salinidade da água**. 60 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócio e Desenvolvimento) – FCE/UNESP. Tupã, 2016.

BOSO, A. C. M. R. **Modelagem matemática e computacional na avaliação do uso de água magnetizada na irrigação do rabanete utilizando o sistema Mamdani**. 108 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – FCA/UNESP. Botucatu, 2018.

CAMARGO, G. A.; CONSOLI, L.; LELLIS, I.C.S.; MIELI, J.; SASSAKI, E.K. Bebidas naturais de frutas perspectivas de mercado, componentes funcionais e nutricionais. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 1, p. 181-195, 2007.

CARVALHO, W. A.; ESPÍNDOLA, C. R.; PACCOLA, A. A. **Legenda atualizada do Levantamento de Solos da Fazenda Lageado-Estação Experimental “Presidente Médice”** Boletim CI. FCA/UNESP, Botucatu, n.1, 1983. 95p.

CHOUERI, M. **Modelagem *fuzzy* para avaliação do desenvolvimento da cultura do rabanete irrigado com água tratada magneticamente sem estresse hídrico**. 54 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócio e Desenvolvimento) – FCE/UNESP. Tupã, 2018.

CREMASCO, C. P. **Aplicação da lógica *fuzzy* para avaliação do faturamento do consumo de energia elétrica e demanda de uma empresa de avicultura de postura**. 2008. Tese (Doutorado em Agronomia) – UNESP/FCA, Botucatu, 2008.

EMBRAPA. **Hortaliças em revista: Importância nutricional das hortaliças**. Brasília, DF, 2012. 16 p.

FAO - Fundo das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. **Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements - FAO - Irrigation and drainage**. Local: FAO, 1998. 56p.

FAO - Fundo das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. **Dia mundial da água: cuidar da água é fundamental para a segurança energética e a luta contra a fome.** Santiago do Chile, mar/2014.

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. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 31, n. 4, 2011.

KLAR, A. E. et al. Efeitos de diferentes lâminas de irrigação na cultura do rabanete. **IRRIGA**, v. 1, n. 1, p. 150-159, 2015.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes, 1928. Wall-map: 150cmx200cm.

MAMDANI, E. H.; ASSILIAN, S. An experiment in linguistic synthesis with a *Fuzzy* Logic Controller. **International Journal of Man-Machine Studies**, v. 7, n. 1, p. 1-13, 1975.

ONU – Organização das Nações Unidas. **Declaração universal dos direitos da água.** 1992. In: ONU-BR. Nações Unidas no Brasil. A ONU e a água. 2010.

PAIVA, A. C. C.; LINHARES, P. C. F.; MARACAJÁ, P. B.; PEREIRA, M. F. S.; ALVES, R. F.; SILVA, E. B. R. Rabanete (*Raphanus sativus* L.) em sucessão aos cultivos de cenoura e coentro em sistema orgânico de produção. **Agropecuária Científica do Semiárido**, v.9, p.88-93, 2013.

PEREIRA, D. F.; BIGHI, C. A.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; CREMASCO, C. P. C. Sistema *fuzzy* para estimativa do bem-estar de matrizes pesadas. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.28, n.4, 2008.

PUTTI, F. F. et al. Desenvolvimento Inicial da Alface (*Lactuca sativa* L.) Irrigada com Água Magnetizada. **Cultivando o Saber**. Cascavel, v.6, n.3, p.83-90, 2013.

ROSS, T. J. **Fuzzy logic with engineering applications**. 2ª ed. Wiley. England, 2010. 607 p.

SILVA, S. A. et al. Análise espacial da erosão hídrica em um latossolo vermelho amarelo sob cultivo de café conilon. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 04, p. 335-342, 2007.

SNYDER, R. L. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 118, p. 977-980, 1992.

UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos: Água para um mundo sustentável**. 2015.

VALENTE, D. S. M. et al. Definition of management zones in coffee production fields based on apparent soil electrical conductivity. **Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)**, Piracicaba, v. 69, n. 3, June 2012.

VIAIS NETO, D. S. **Modelagem fuzzy para avaliação do desenvolvimento do tomate em diferentes níveis de irrigação e doses de salinidade da água**. 2016. Tese (Doutorado em Agronomia). FCA/UNESP. Botucatu, 2016.

ZADEH, L. A. **Fuzzy sets. Information Control**, p. 338-353, 1965.