

MODELAGEM FUZZY DOS EFEITOS DO DÉFICIT HÍDRICO EM DIFERENTES FASES FENOLÓGICAS

FERNANDO FERRARI PUTTI^{1,2}; LUÍS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO^{1,2}; JOSÉ JOAQUIM³, JOÃO CARLOS CURY SAAD¹; CAMILA PIRES CREMASCO^{1,2}

¹ FCA - UNESP - Univ Estadual Paulista, Campus de Botucatu (Rua Doutor José Barbosa de Barros, 1780 - CEP 18610-307, Botucatu - SP),

² CET - UNESP - Univ Estadual Paulista, Campus de Tupã (Av. Domingos da Costa Lopes, 780 - CEP 17602-496, Tupã-SP),

³ IF Goiânia- GO - Instituto Federal Goiano, Câmpus Rio Verde, (Rod. Sul Goiana Km 01 - CEP: CEP 75.901-970, Rio Verde - GO)

Apresentado no

XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015

13 a 17 de setembro de 2015- São Pedro- SP, Brasil

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema baseado em regras *fuzzy*, para a avaliação da cultura do feijão comum, quando submetido a diferentes lâminas de reposição em fases fenológicas diferentes. Devido a necessidade de aumento da produção de alimento e a redução pelo volume de água gasto pela a agricultura, a busca pela otimização se faz necessário para reduzir tais impactos. A parte experimental foi conduzida em casa de vegetação na Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP. O delineamento experimental foi realizado em blocos ao casualizados, com 5 lâminas de reposição e duas fases fenológicas, as quais foram a entrada do modelo. E foi constatado que o feijão comum submetido ao déficit hídrico apresentou redução na produtividade e qualidade dos grãos.

PALAVRAS-CHAVE: Recurso hídrico, produtividade, alimentos, Mandani.

FUZZY MODELING OF THE EFFECTS OF DROUGHT IN DIFFERENT PHENOLOGICAL PHASES OF COMMON BEAN (*PHASEOLUS VULGARIS* L.)

ABSTRACT: The aim of this work was to develop a system based on fuzzy rules for the evaluation of kidney beans culture, when subjected to different spare blades in different phenological stages. Because of the need for increasing food production and reducing the volume of water spent by agriculture, the search for optimization is necessary to reduce these impacts. The experimental part was conducted in a greenhouse at the Faculty of Agricultural Sciences, UNESP. The experiment was conducted in randomized block design, with 5 spare blades and two phenological phases, which were the entry model. And it notes that the common bean subjected to drought decreased productivity and quality of grain.

KEYWORDS: Water resource, productivity, food, Mandani.

INTRODUÇÃO

A necessidade da utilização sustentável dos recursos hídricos, devido ao uso excessivo de água, principalmente pela agricultura e agroindústria, faz jus a necessidade de pesquisas que possam otimizar o uso correto da água, sem prejudicar a produtividade ou qualidade dos produtos.

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) pertencente à família Fabaceae (Leguminosae) destaca-se como uma das principais culturas do país, porém, a produtividade média brasileira é baixa, como consequência do baixo emprego de insumos e de tecnologia.

Atualmente a produtividade média é de 910 kg.ha⁻¹ Conab (2014). Porém, produtividades acima de até 3 t.ha⁻¹ podem ser alcançadas em lavouras irrigadas e com alto nível tecnológico (LOPES, 2011).

A tecnologia da irrigação constitui umas das alternativas viáveis para a melhoria da produtividade do feijão comum, se destacando dentre os tratos culturais. A finalidade da irrigação é proporcionar água à cultura de maneira a atender toda a exigência hídrica durante o ciclo (SANTANA et al., 2009).

Devido à complexidade de compreender os modelos matemáticos, a lógica *fuzzy* traz a facilidade de compreender fenômenos de diversas áreas, desde a agricultura até a área médica, tornando-se uma teoria importante na análise de resultados.

Na agricultura a lógica *fuzzy* está sendo utilizada a avaliação da fertilidade das terras agrícolas na principal região do norte da China (LI; YAN, 2012). Papageorgiou et al. (2011) desenvolveram um modelo baseado em regras *fuzzy* para a previsão da produtividade da cultura do algodão e auxiliar na decisão da aplicação de defensivos químicos da agricultura de precisão. Lewis et al. (2014) desenvolveram um sistema baseado em regras *fuzzy* na determinação da tolerância a resistência a seca da “*switchgrass*” nos Estados Unidos.

Na irrigação, Touati et al. (2013) desenvolveram um sistema *fuzzy* integrado com sensores capazes de determinar a lâmina de irrigação e o tempo necessário para aplicar tal lâmina, assim buscando a redução do desperdício de água.

A disponibilidade de fertilizantes e de água deve ser ocorrer no momento e na quantidade necessária para as culturas, sendo que seu excesso pode acarretar em redução da produção, deste modo Papadopoulos et al. (2011) aplicaram a lógica *fuzzy* para desenvolver um sistema de apoio a decisão na determinação da adubação nitrogenada para as lavouras.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um modelo matemático baseado em regras *fuzzy* para a avaliação da cultura do feijão comum submetido ao déficit hídrico em diferentes fases fenológicas.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição do experimento

O experimento foi conduzido em dois anos consecutivos (2010 e 2011), em sistema de semeadura direta durante o inverno (abril-setembro), numa área experimental da fazenda Lageado, Câmpus de Botucatu, região centro oeste do Estado de São Paulo que se encontra a 22°51' de latitude sul, 48°26' de longitude oeste de Greenwich, e com altitude de 786 m. De acordo com Cepagri (2010), pela classificação de Koeppen, o tipo climático é o Cwa, caracterizado como clima temperado quente mesotérmico com chuvas no verão e seca no inverno.

O solo da área experimental é classificado como Nitossolo Vermelho Distroférrico, textura argilosa (EMBRAPA, 2006). As características químicas e físicas foram avaliadas quatro meses anteriormente à instalação do experimento no campo, obtidas de vinte e quatro trincheiras. As coletas de solo foram obtidas nas camadas de 0 a 10 e de 10 a 20 cm de profundidade. Em seguida encaminhadas para caracterização química e física do solo. Os resultados das análises química do solo pela metodologia de Raji et al. (2001), e físicas do solo (EMBRAPA, 1997). A área encontrava em pousio, sobre resíduo de braquiária e antes do experimento foi realizado o plantio de milho de modo elevar o teor de palha e matéria orgânica do solo.

Os valores médios das características químicas do solo, na camada de 0 a 20 cm, antes da instalação do ensaio, foram de: 4,7 de pH em CaCl₂; 21,0 g.dm⁻³ de matéria orgânica; 4,7 mg.dm⁻³ de P_{resina}; 1,7; 13; 7; 30 e 1 mmolc.dm³, respectivamente, de K, Ca, Mg, H + Al e Al, e 41,5% de saturação por bases (V%), 0,16; 11,55; 38,5; 13,85; 1,15 mg.dm⁻³ de B, Cu, Fe, Mn

e Zinco, respectivamente. No segundo ano, na mesma camada de 0 a 20 cm, antes da instalação do ensaio, tais valores foram de: 4,85 de pH em CaCl₂; 24,0 g.dm⁻³ de matéria orgânica; 24 mg.dm⁻³ de P_{resina}; 1,9; 29; 14; 40 e 1 mmolc.dm⁻³, respectivamente, de K, Ca, Mg, H + Al e Al, e 51% de saturação por bases (V%); 0,28; 11,9; 43,5; 16,5; 1,2 mg.dm⁻³ de B, Cu, Fe, Mn e Zinco, respectivamente. De textura argilosa, 423,1; 444,7 e 132,1 g kg⁻¹ de areia, silte e argila, respectivamente.

No primeiro e segundo ano agrícola, obteve-se a densidade do solo, com valores de 1,35 e 1,38 g.cm⁻³ e 1,39 e 1,41 g.cm⁻³ para a camada de 0 a 15 cm e de 15 a 30 cm de profundidade, respectivamente.

A calagem foi realizada antes da semeadura de modo elevar o índice de saturação por bases (V%) a 70% ao nível adequado à cultura do feijão. O calcário foi distribuído manualmente na superfície do solo.

A semeadura direta da cv. IAC-Alvorada foi realizado no espaçamento de 0,45 entre linhas e com 13 sementes por metro linear, de modo a obter uma densidade final de 200.000 a 240.000 plantas ha⁻¹. Utilizou-se semeadora-adubadora, modelo exacta air JM 2980 PD Jumil, seguindo a curva de nível do terreno.

A adubação de plantio foi baseada na análise química do solo, sendo adicionados 321 e 145 kg ha⁻¹ de adubo na formulação 8-28-16+zinco e 70 kg de N aplicado em cobertura e dividido em duas aplicações, para uma produtividade esperada de 2,5 a 3,5 toneladas.

Os tratos culturais e fitossanitários foram efetuados de acordo com o recomendado para a cultura do feijão, quando necessário. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições em esquema fatorial 4 × 4. Considerando-se os fatores “Irrigação na Fase-I” e “Irrigação na Fase-II”, com os níveis de reposição hídrica 100%, 80%, 60% e 40% da evapotranspiração da cultura (ETc). Os mesmos níveis aplicados na fase I, foram repetidos na fase II. Sendo o fator a combinações de reposição hídrica em duas épocas de aplicação. Nos experimentos, cada parcela tinha 7,2 m² nas dimensões de (4 m × 1,8 m), essas parcelas constituem-se de quatro linhas de feijão, com três linhas laterais de irrigação nas entrelinhas do feijoeiro. O espaçamento entre blocos foi de 2 m, e entre as parcelas de 1,5 m.

O manejo das irrigações foi baseado no cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o), a partir da evaporação do tanque Classe A, obtidas diariamente, e estes foram corrigido pelo coeficiente de correção (*K_p*) conforme (ALLEN et al. 1998), em que:

$$ET_{O_{TCA}} = K_p \times ECA, \quad (1)$$

com *K_p* dado por:

$$K_p = 0,108 - 0,0286U + 0,0422 \ln(f) + 0,1134 \ln(f) - 0,0006331[\ln(f)^2] \ln(H)$$

sendo *F* a distância da área de bordadura (10 m), *U* a velocidade do vento à 2 m altura [km h⁻¹] e *UR* a umidade relativa média diária (%).

Os valores de *K_c* foram (0,4; 1,15; 0,35) para as fases: inicial, médio e final, respectivamente e altura máxima da cultura de 0,4 m conforme (ALLEN et al.,1998).

Os tratamentos tiveram redução da lâmina em umas das duas fases (I e II), após a germinação. A Fase I, teve início no estágio V2 (22 Dias Após a Emergência-DAE) ao florescimento (40 DAE), num período médio de 18 dias. A Fase II, teve início no florescimento a maturação fisiológica dos grãos (40 a 60 DAE), período médio de 20 dias. No campo, a lâmina aplicada em cada parcela foi controlada em função do tempo pela vazão dos emissores de cada parcela (vazão dos gotejadores da parcela, dividido pela área da parcela). Neste trabalho a Fase I será adotada por “Fase Inicial do Desenvolvimento da Planta” enquanto que a Fase II por “Fase Reprodutiva”.

Foram avaliadas as seguintes variáveis: Produtividade (Produ), Peso de 100 Grãos (P100G), Número de Vagem a cada 4m (NV4M), Número de Grãos por Vagem (NGV) e Número de Vagens Chochas (NVC). Para as avaliações dos parâmetros, foram considerados duas linhas com 2 m na área útil da parcela. A debulha foi feita manualmente. A produtividade de grãos e a massa de 100 grãos foram corrigidas para 13% de umidade.

Método de elaboração do sistema *fuzzy*

A partir do experimento conduzido por Carvalho (2012), o manejo da irrigação mais adequado para a cultura do feijão, foi realizada utilizando diferentes lâminas de reposição de irrigação (% da ETc) e em diferentes fases fenológicas (Fase inicial e Fase Reprodutiva), para avaliação das características relacionadas a produção.

Para elaboração de um sistema baseado em lógica *fuzzy*, foi necessário definir um processador de entrada (ou fuzzificador), um conjunto de regras linguísticas, um método de inferência *fuzzy* e um processador de saída (ou defuzzificador), que gera um número real como saída (Figura 1).

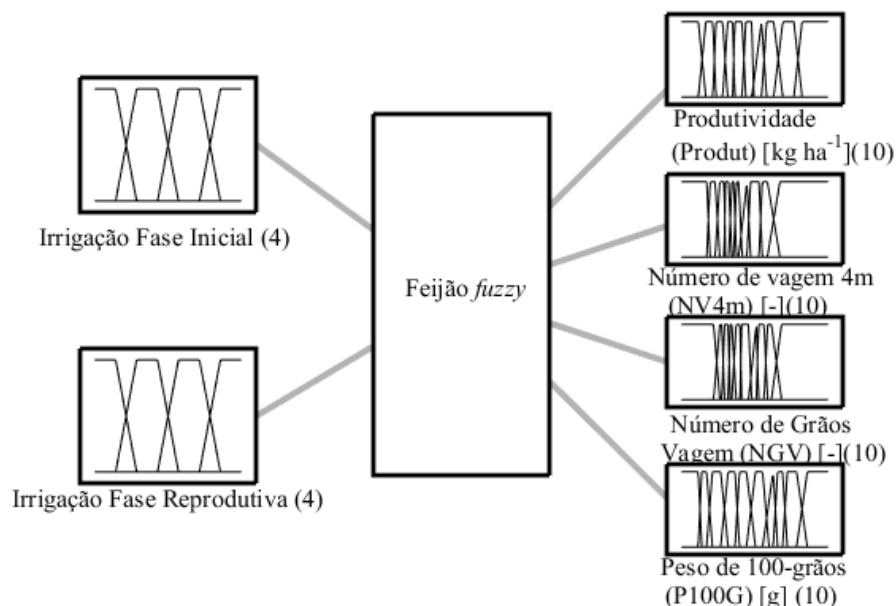


FIGURA 1. Sistema baseado em lógica *fuzzy* proposto para a modelagem matemática de efeito das lâminas de irrigação em Diferentes Fases Fenológicas (Fase Inicial e Fase Reprodutiva), 5 variáveis de saída (Produtividade, Número de Vagem a cada 4m, Número de Grãos por Vagem, Peso de 100 Grãos) para a avaliação da cultura do feijão. **System based on fuzzy logic proposed for the mathematical modeling of effect of irrigation levels in Different Phases phenological (Initial Phase Reproductive Phase), 5 output variables (productivity, number of pod every 4m, number of grains per pod, weight 100 grains) for evaluating the bean crop.**

Para o estabelecimento dos processadores de entradas, foi necessária a definição dos conjuntos *fuzzy* nos domínios de cada variável de entrada: Lâmina de Irrigação da Fase Inicial do Desenvolvimento da Planta e da fase Reprodutiva.

As variáveis de entrada do sistema baseado em lógica *fuzzy* proposto foram o déficit hídrico na irrigação em “Fase Inicial” e “Fase Reprodutiva”. Para ambas variáveis, foram utilizadas 4 funções de pertinência denominadas “L1”, “L2”, “L3” e “L4” (Tabela 1).

As funções de pertinência foram construídas de modo que as lâminas de irrigação adotadas no experimento (40, 60, 80 e 100% da ETc) possuem o grau de pertinência 1, respectivamente L1, L2, L3 e L4, possuem grau de pertinência 1. Os suportes das funções de pertinência trapezoidais associada foram calculadas de modo que a terça parte possuir pontos com grau de pertinência 1, e as duas demais partes tem grau de pertinência decrescente.

TABELA 1. Definições das funções de pertinência da variável de entrada “Fase Inicial” e “Fase Reprodutiva”. **Definitions of membership functions of the input variable " Initial Phase " and " reproductive phase".**

Conjunto <i>Fuzzy</i>	Tipo	Delimitadores
“L1”	Trapezoidal	[39 40 48.57 57.14]
“L2”	Trapezoidal	[48.57 57.14 65.71 74.28]
“L3”	Trapezoidal	[65.71 74.28 82.85 91.42]
“L4”	Trapezoidal	[82.85 91.42 100 101]

As variáveis biométricas que apresentaram médias com diferenças significativas foram adotadas como as variáveis de saída do sistema *fuzzy*. Esta análise estatística foi realizada por Carvalho (2013), com nível de significância $\alpha = 1\%$

Com o objetivo de generalizar a metodologia de construção dos conjuntos *fuzzy* e as funções de pertinência das variáveis de saída, adotou-se a utilização de 10 conjuntos *fuzzy* denominados C_n , $1 \leq n \leq 10$.

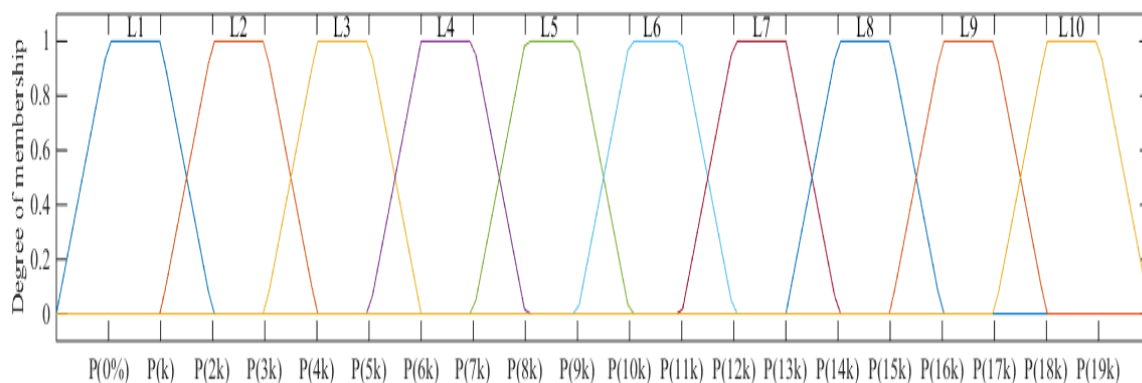


FIGURA 2. Funções de pertinência das variáveis de saída segundo a proposta metodológica de utilização de percentis. **Membership functions of the output variables according to the methodology proposed use of percentiles.**

Para a obtenção da base de regras do sistema *Fuzzy*, considerou-se os 16 conjuntos *Fuzzy* das variáveis de entrada, conforme metodologia desenvolvida em Cremasco et al. (2010) e aplicada por Putti et al. (2014), Gabriel Filho et al. (2011) e Pereira et al. (2008), assim como apresenta os pontos de cada variável assim consideradas e as combinações dos conjuntos *fuzzy* descritas.

Para a obtenção da base de regras do sistema *fuzzy*, considerou-se as 16 (4×4) combinações entre os conjuntos *fuzzy* das variáveis de entrada (FI e FR).

A partir da metodologia desenvolvida por Cremasco et al. 2008 e aplicações em Gabriel Filho et al., (2011), PEREIRA et al., (2008) e Putti et al., (2014), foi possível desenvolver a base de regras do sistema *fuzzy*. O método de inferência Mandani foi utilizado para o cálculo do valor numérico das variáveis de saída. Com o auxílio da ferramenta *Fuzzy Logic Toolbox* do software MATLAB®, foi possível elaborar a representação do sistema baseado em regras *fuzzy*, determinando as superfícies, mapas de contorno e as funções de pertinência.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A elaboração das funções de pertinências dos conjuntos de saída para as variáveis Produtividade [kg ha^{-1}], Peso de 100 Grãos [-], foi realizada a partir dos dados aferidos no experimento agrônomo (Carvalho, 2013).

A Tabela 2 representa a base de regras do sistema fuzzy, de acordo com as variáveis Produtividade (Produt.) e Peso de 100 grãos (P100G).

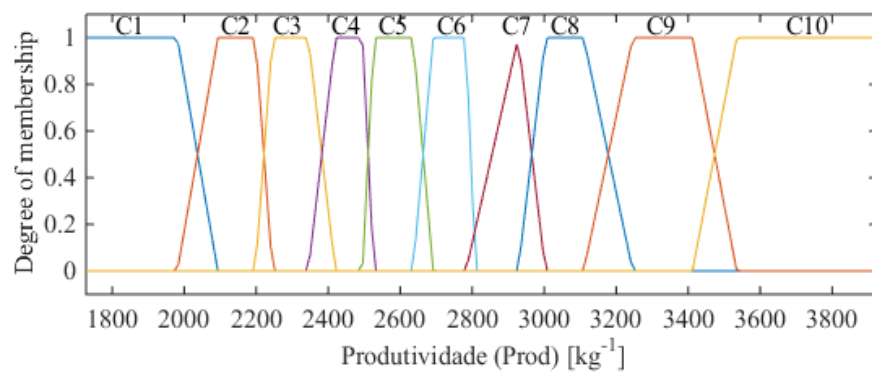
TABELA 2. Base de regras do sistema baseado em lógica *fuzzy* para a Produtividade (kg ha^{-1}), Peso de 100 Grãos [-]. **Basic rules of *fuzzy* logic based system for Productivity (kg ha^{-1}), Weight of 100 grains.**

Variáveis de entrada		Variáveis de saída			
		Produtividade (kg)		P100G	
Irrigação Fase Inicial	Irrigação Fase Reprodutiva	Conjunto <i>Fuzzy</i>	Média	Conjunto <i>Fuzzy</i>	Média
L1	L1	C3	2316,4	C5	25,8
L1	L2	C5	2516,83	C6	26,6
L1	L3	C6	2665,65	C4	25,26
L1	L4	C7	2850,28	C7	27,12
L2	L1	C3	2345,3	C6	26,8
L2	L2	C5	2579,24	C5	25,81
L2	L3	C7	2828,82	C5	25,73
L2	L4	C7	2918,61	C6	26,55
L3	L1	C3	2333,59	C5	26,08
L3	L2	C5	2608,15	C5	26,07
L3	L3	C6	2737,31	C4	25,11
L3	L4	C7	2881,12	C7	27,41
L4	L1	C4	2492,34	C4	25,05
L4	L2	C7	2797,38	C5	25,73
L4	L3	C8	2969,46	C5	25,81
L4	L4	C7	2885,12	C6	26,68

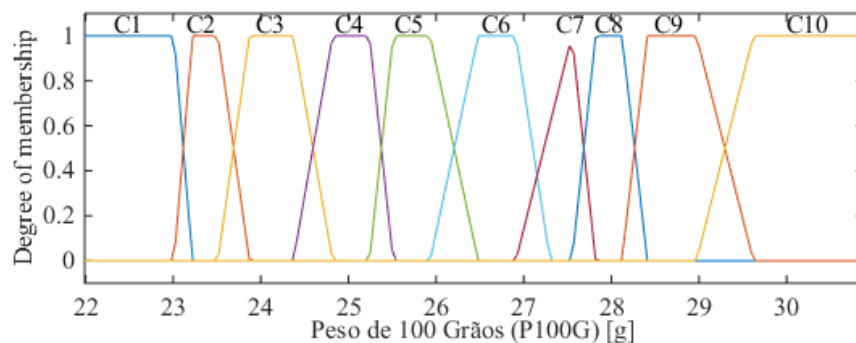
As 3 primeiras linhas representam as relações estão explicitada a seguir (enquanto que as demais são interpretadas de forma análoga):

- Se (“Fase Inicial” é (L1) e “Fase reprodutiva” é Lâmina (L1), então (“Produtividade” é C3; “Peso de 100 grãos” é C5);
- Se (“Fase Inicial” é (L1) e “Fase reprodutiva” é Lâmina (L2), então (“Produtividade” é C5; “Peso de 100 grãos” é C6);
- Se (“Fase Inicial” é (L1) e “Fase reprodutiva” é Lâmina (L2), então (“Produtividade” é C3; “Peso de 100 grãos” é C5).

Após a elaboração dos percentis para o cálculo dos vértices dos conjuntos de pertinência foi possível modelar as variáveis de saídas (Figura 3).



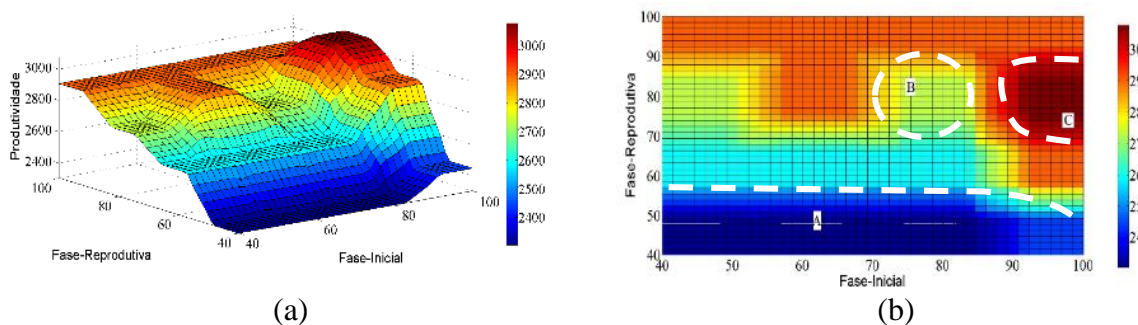
(a)



(b)

FIGURA 3. Funções de pertinência dos conjuntos *fuzzy* da variável de saída (a) Produtividade [$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$], e (b) Peso de 100 grãos [g]. **Membership functions of fuzzy sets the output variable (a) Productivity [kg h^{-1}] and (b) Weight of 100 grains [g].**

A produtividade do feijão comum quando submetido ao déficit hídrico faz com que ocorra severas reduções, assim à máxima Produtividade ocorreu quando na Fase Inicial a lâmina de reposição foi próxima a 100% da ETc e na Fase Reprodutiva com reposição de 80% da ETc (Figura 4).



(a)

(b)

FIGURA 4. (a) Superfície e respectivo (b) Mapa de contorno da superfície do sistema *fuzzy* da Produtividade (Prod.) [$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$] submetido a diferentes taxas de reposição hídrica e em diferentes fases fenológicas. **(a) Surface and its (b) surface contour map of the fuzzy system Productivity (Prod.) [kg ha^{-1}] undergo different rates of fluid replacement and in different phenological phases .**

Na análise da Produtividade, observar-se que na Região A que quando na Fase Inicial houve a reposição entre a faixa de 40 à 60% da ETc e acontecendo na Fase Reprodutiva entre a faixa de 40 a 100% da ETc , ocorre a menor produção. Já no Região B, em que houve

aproximadamente a reposição de 80% da Fase Reprodutiva e 75% da Fase Inicial a produção foi superior ao da região A, sendo satisfatórios.

Na região C, onde na Fase Inicial a reposição de 95% da ETo e Fase Reprodutiva em torno de 75% da lâmina de reposição, os resultados foram mais expressivos na Produtividade, demonstrando que não há necessidade da reposição de 100% das lâminas para se atingir a máxima produtividade. Pode-se afirmar que acarretou uma redução no volume gasto de água na irrigação o que pode otimizar custos de irrigação.

O peso de 100 grãos apresentou efeito significativo quando submetido ao déficit hídrico. Porém foi observado que a lâminas de reposições mais baixa apresenta os maiores pesos do que as lâminas mais altas (Figura 5).

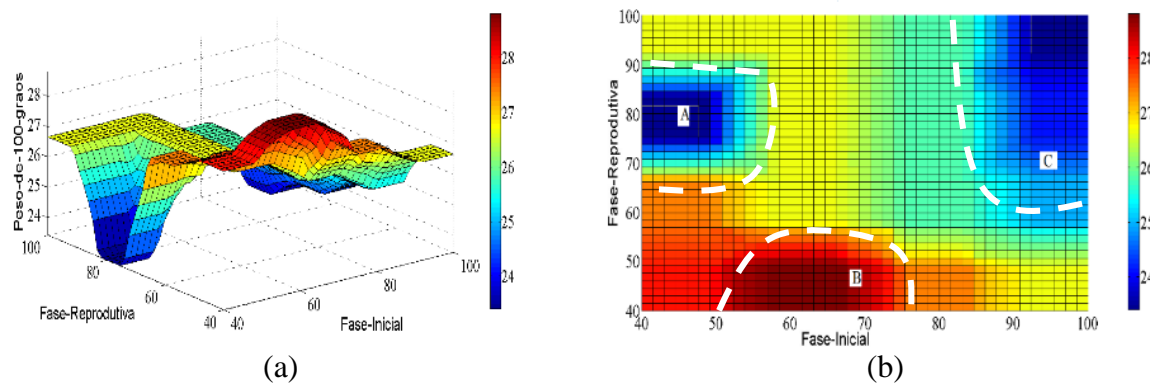


FIGURA 5. (a) Superfície e respectivo (b) Mapa de contorno da superfície do sistema *fuzzy* da Produção de 100 Grãos (P100G) [g] submetido a diferentes taxas de reposição hídrica e em diferentes fases fenológicas. **(a) Surface and its (b) surface contour map of the fuzzy system 100 Grain Production (P100G) [g] subjected to different rates of fluid replacement and in different phenological phases.**

Analisando o Peso de 100 Grãos (P100G) quando submetido ao déficit hídrico, verifica-se uma redução no aumento da lâmina de irrigação. Na Região A, a situação com irrigação na faixa de 40 a 50% na Fase Inicial e entre 70 a 90% na Fase Reprodutiva, apresenta baixo peso a cada 100 grãos. Já na Região B, verifica-se que foi a região que apresentou o maior Peso de 100 Grãos, na situação com irrigação na Fase Inicial de 70% e na Fase Reprodutiva de 45%.

Nota-se que o Peso de 100 Grãos acumulou-se nas menores taxas de reposições. Este fato é devido a necessidade de perpetuação da espécie, em que ocorre o acúmulo de nutrientes e água, para que possa ocorrer a germinação, caso a planta entre em senescência. Assim, este mecanismo faz com que ocorra o maior peso a cada 100 grãos e assim acarretando o Número de Grãos a 4m (Figura 5).

Já na Região C, encontra-se um alto valores de irrigação, na Fase Inicial com 95% e na Fase Reprodutiva 70%, e um baixo peso a cada 100 grão.

CONCLUSÕES

A modelagem baseada em regras *fuzzy* proposta auxiliou na determinação de como manejar a cultura do feijão comum, tendo assim como resposta a produtividade *fuzzy* esperada para a cultura.

O feijão comum submetido ao déficit hídrico em diferentes fases, apresentou ser sensível à falta de água, principalmente na fase inicial, a fase está na qual a planta necessita de água para formação e desenvolvimento das vagens. Portanto, a produtividade do feijão foi influenciada pelo déficit hídrico na fase inicial.

REFERÊNCIAS

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento** Disponível:

<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_02_11_15_22_20_boletim_graos_fevereiro_2014.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2014.

CREMASCO, C. P.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; CATANEO, A. Metodologia de determinação de funções de pertinência de controladores fuzzy para a avaliação energética de empresas de avicultura de postura. **Revista Energia na Agricultura**, v. 25, n. 1, p.21-39, 2010.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed., Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 212 p. EMBRAPA, 1997. p. 47 - 63.

EMBRAPA. Centro Nacional. Pesquisa em solos. **Sistema brasileiro de classificação de Solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2006. 306p.

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, 2011.

LEWIS, S. M.; FITTS, G.; KELLYA, M.; DALE, L. A *fuzzy* logic-based spatial suitability model for drought-tolerant switchgrass in the United States. **Computers and Electronics in Agriculture**. v. 103 p. 39-47. 2014.

LI, Q.; YAN, J. Assessing the health of agricultural land with emergy analysis and fuzzy logic in the major grain-producing region. **Catena**. v.99, p. 9-17, 2012.

LOPES, A. S.; OLIVEIRA. G. Q.; SOUTO FILHO. S. N.; GOES. R. J.; CAMACHO. M. A. Manejo de irrigação e nitrogênio no feijoeiro comum cultivado em sistema plantio direto. **Revista Ciência Agrônômica**. v. 42, n. 1, p. 51-56, 2011.

PAPADOPOULOS, A.; KALIVAS, D.; HATZICHRISTOS, T.; Decision support system for nitrogen fertilization using fuzzy theory. **Computers and Electronics in Agriculture**. v.78 p.130-139, 2011.

PAPAGEORGIOUA, E. I.; MARKINOSB, A. T.; GEMTOSB, T. A. *Fuzzy* cognitive map based approach for predicting yield in cotton crop production as a basis for decision support system in precision agriculture application. **Applied Soft Computing**. v. 11, p.3643-3657, 2011.

PEREIRA, D. F.; BIGHI, C. A.; GABRIEL FILHO, L. R. A; CREMASCO, C. P. C. Sistema difusa parágrafo Estimativa do bem-Estar de Matrizes Pesadas. **Engenharia Agrícola**, v.28, n.4, p.624-634, 2008.

SANTANA, M. J.de; CARVALHO, J. de A.; de ANDRADE, M. J. B.; GERVÁSIO, G. G.; BRAGA, J. C.; LEPRI, E. B. Viabilidade técnica e econômica da aplicação de água na cultura do feijoeiro comum (*Phaseolus Vulgaris* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 02, p. 532-538, 2009.

TOUATI, F.; AL-HITMI, M.; BENHMEDA, K.; TABISHA, R. A *fuzzy* logic based irrigation system enhanced with wireless data logging applied to the state of Qatar. **Computers and Electronics in Agriculture**. v.98, p.233-241, 2013.