

# SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADO UTILIZANDO LOGICA FUZZY <sup>1</sup>

EMERSON DO NASCIMENTO SILVESTRE MORGADO<sup>2</sup>,

IVAN NUNES DA SILVA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Título do Trabalho de Redes Sistemas Fuzzy

<sup>2</sup> Autor, Aluno Especial do Curso de Mestrado

<sup>3</sup> Professor, Bacharel em Ciência da Computação e Engenharia Elétrica, Mestre e Doutor em Estudos de Redes Neurais Artificiais

*Laboratório de Automação Inteligente de Processos e Sistemas, USP – EESC Av. Trabalhador São  
Carlense, 400 - CEP 13566-590, São Carlos – SP*

*E-mails: {silvestrevan@gmail.com, insilva@sel.eesc.usp.br}  
Dezembro / 2019*

**Abstract:** This work presents the idealization of an automated irrigation system based on nebulous fuzzy logic, directed to microprocessor controllers in small farms and gardens. The objective is to set the amount of water needed for planting due to the variation of the ambient temperature and humidity of air.

**Keywords:** Irrigation, fuzzy smart system, smart irrigation, smart garden

**Resumo:** Este trabalho apresenta a idealização de um sistema automatizado de irrigação com base na lógica nebulosa fuzzy, destinado à controladores microprocessados em pequenas plantações e jardins. O sistema proposto tem como objetivo adequar a quantidade de água necessária ao plantio em decorrência da variação de temperatura do ambiente e umidade do ar.

**Palavras-chave:** Irrigação, sistema de inteligente fuzzy, irrigação inteligente, jardim inteligente

## 1. Introdução

O manejo adequado da irrigação é um das principais técnicas associadas ao crescimento e desenvolvimento adequado das plantas. Algumas culturas, como exemplo da batata, são muito sensível ao deficit de água mesmo em pequenos períodos de estiagem comprometem o sucesso da lavoura.[6] A produção também pode ser afetada pelo excesso de água, por reduzir a aeração do solo, o que pode favorecer a incidência de doenças, além de lixiviar nutrientes móveis do solo. Deste modo a irrigação excessiva ou deficiente influencia diretamente no desenvolvimento e no crescimento dos vegetais, tornando o manejo da irrigação uma prática indispensável para alcançar maior produtividade, maior eficiência e manter o bem estar da planta.

Por manejo de irrigação entende-se determinar quando e quanto irrigar. A resposta para tais questões depende de diversos fatores, como tipo de solo, condições climáticas, sistema de irrigação e estágio de desenvolvimento da cultura[2]. Devido à natureza não-linear do problema e do ambiente multivariável envolvidas no processos de

irrigação, o uso da lógica nebulosa ou fuzzy é sugerida no auxílio dos sistemas tradicionais de irrigação com temporização pré-definida.

## 2. Definição do Problema

Dado um plantio qualquer de pequeno porte, como um jardim ou uma pequena horta, como automatizar o sistema de irrigação destes locais de forma a torná-los menos dependentes de cuidados diários humano e promovendo o melhor cuidado com o plantio para evitar problemas decorrente do excesso ou falta de água do sistema de irrigação?

### Solução do Problema

Abaixo serão listadas as principais características a serem consideradas para o correto dimensionamento do sistema de irrigação conforme apresentado em [2].

**Método de irrigação** - É a forma na qual a água será aplicada ao solo na região onde se encontram as plantas. Os sistemas de irrigação mais comuns são por sulco,

aspersão convencional, aspersão por pivô central e por irrigação localizada (gotejamento, microaspersão e mangueira perfurada).

**Capacidade de Campo** - Representa a quantidade de água retida pelo solo depois que o excesso é drenado livremente. Sua determinação tem sido usualmente realizada em laboratório, mas sempre que possível deve ser avaliada diretamente no campo.

**Ponto de Murcha Permanente** - representa o limite mínimo de umidade existente no solo, abaixo do qual uma planta em crescimento ativo apresenta perda de turgescência das folhas, da qual não se recupera, mesmo quando colocada em atmosfera saturada durante a noite.

**Densidade aparente** - A densidade aparente do solo, também chamada de densidade global, geralmente expressa em g/cm<sup>3</sup>, é a relação entre a massa do solo seco e o seu volume total, incluindo o espaço poroso. Permite estimar o grau de compactação de um solo e transformar as percentagens de umidade gravimétrica do solo em termos de umidade volumétrica e, dessa forma, determinar a lâmina de água no solo.

**Profundidade efetiva do sistema radicular** - Em irrigação, normalmente não se considera todo o perfil do solo explorado pelo sistema radicular das plantas, mas apenas a profundidade efetiva, que deve ser tal que de 80% a 90% do sistema radicular esteja nela contido.

**Evapotranspiração** - A evapotranspiração é a forma pela qual a água da superfície terrestre passa para a atmosfera no estado de vapor, tendo papel importantíssimo no Ciclo Hidrológico em termos globais. Esse processo envolve a evaporação da água de superfícies de água livre (rios, lagos, represas, oceano, etc), dos solos e da vegetação úmida (que foi interceptada durante uma chuva) e a transpiração dos vegetais.

Diversos métodos podem ser utilizados para determinar a necessidade de água das plantas como método de Blaney-Criddle, Hargreaves e Penman [2][3].

Desta forma a definição de quando e quanto de água deve-se utilizar em um determinado plantio requer uma série de considerações e análises, torna-se uma tarefa complexa [3][4]. Contudo a irrigação de pequeno plantio de forma é amplamente utilizada por pequenos agricultores e jardineiros e sua aplicação prática não requer, necessariamente, estudos aprofundados e análises do solo.

O grande diferencial deste modelo de irrigação é a observância dos aspectos físicos da planta, do solo e das condições climáticas. Este modelo pode ser bastante eficaz principalmente quando associados à técnicas aprimoradas de manejo da cultura e do próprio sistema de irrigação [1]SENAR e [2]EMBRAPA, considerada como complemento fundamental para trabalhador do campo. Utilizando destas técnicas de irrigação associadas às soluções tecnológicas é possível desenvolver soluções automáticas de acionamento periódicos dos sistemas de irrigação.

Outro aspecto prático importante no manejo periódico do sistema de irrigação é o ajuste manual da quantidade de água aplicada ao plantio em função da característica do climáticas, quando da sua aplicação. Podemos citar como exemplo a irrigação de um hipotético gramado. Descrevemos no exemplo algumas condições de

verificação e suas consequências quando do acionamento do sistema;

- Condição hipotética 1 - Em dias com temperatura mediana e umidade do ar média o sistema de irrigação fica ligado por 15 minutos, diariamente.

- Condição hipotética 2 - Em dias mais frios com umidade do ar alta a irrigação é reduzida para 10 minutos;

- Condição hipotética 3 - Em dias muito quentes e seco o tempo de irrigação é o dobro da Condição 1 passando para 30 minutos de irrigação por dia.

Observando os parâmetros considerados nas análises verifica-se a característica nebulosa das classificações do ambiente, quente ou frio, e ação consequente resultante da análise.

Esta relação entre temperatura e umidade do ar é apresentado no estudo em [3] na relação da evapotranspiração de hortaliças em função da variação da umidade do ar e da temperatura. Podemos chegar a uma conclusão direta que os aspectos da variação da umidade do ar e da temperatura ambiente afeta na demanda hídrica dos vegetais. Esta conclusão é observadas nos métodos calculados de evapotranspiração citados.

A pergunta que surge é como relacionar estas duas grandezas físicas com a quantidade necessária de água a ser aplicada em um plantio?

A resposta é construída a partir do conhecimento e vivência de campo do responsável pela irrigação do plantio, ou dados fornecidos por especialistas no tema, aliados ao método de inferência fuzzy para determinar ou ajustar os níveis de quantidade de água aplicado a uma determinado plantio em função das variáveis de temperatura ambiente e umidade relativa do solo.

Estas duas variáveis foram escolhidas pela facilidade de obtenção destes dados através de sistema eletrônicos e pela relação direta que elas apresentam nos cálculos de evapotranspiração conforme apresentado em [3][4] e nos métodos Blaney-Criddle, Hargreaves e Penman [2].

É importante ressaltar que este trabalho trás uma ideia de utilização do modelo de inferência fuzzy em sistema de irrigação com as variáveis ambientais citadas através de um sistema eletrônico microprocessado. Não será analisado se este modelo é melhor ou pior que os demais citados pois este não é o objetivo do trabalho.

O objetivo inicial previa a utilização das variáveis QUANTIDADE DE CHUVA por período, UMIDADE DO SOLO e TIPO DE SOLO porém a alta complexidade demandada na definição destas regras de pertinências resultou na retirada destas variáveis do trabalho de forma a torná-lo fácil implementação e avaliação do objetivos simulados. Contudo estas variáveis precisam ser observadas externamente ao sistema de forma manual ou através de sistemas complementares. Estudos aprimorados podem permitir a consideração destas variáveis no modelo apresentado neste trabalho.

### Modelo de irrigação utilizando lógica Fuzzy.

A figura 1 apresenta o modelo idealizado para o sistema de irrigação utilizando lógica Fuzzy, que consiste em;

- Sensores de entrada: Medição de duas variáveis ambiente, temperatura e umidade do ar,
- Logica Fuzzy: Sistema computacional utilizando lógica a Fuzzy e parâmetro de tempo informado pelo especialista na cultura.

- Saída : Multiplicador aplicado ao tempo de irrigação determinado pelo especialista na cultura.

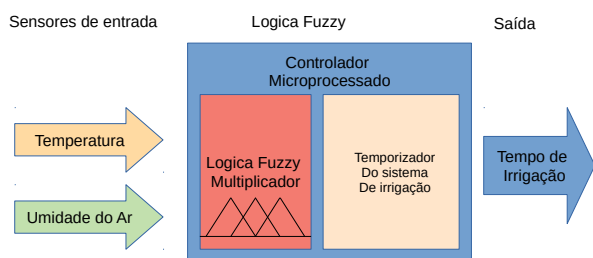


Figura 1: Diagrama de Bloco do Sistema (autor)

Em termos práticos, o agricultor ou responsável pelo plantio e irá determinar o período que julga normal de irrigação do plantio, em condições medianas de temperatura ambiente e umidade relativa do ar. O controlador microprocessado, utilizando a logica Fuzzy, irá inferir um multiplicador ao período normal de irrigação, através da medições das variáveis temperatura e umidade do ar.

A seguir é apresentado um exemplo do funcionamento esperado:

Condição 1: Considera-se condições normais: umidade do ar em 60% (Média) e temperatura em 25°C (Média). Nestas condições a irrigação diária é de 15 minutos.

Condição 2: Quando a temperatura for de 30° (Alta) e a umidade for 20% (Muito Baixa), o sistema terá uma saída de 200% do tempo considerado na condição normal. Neste caso o tempo de irrigação será de:

$$(15 \text{ minutos}) * 2,0 = 30 \text{ minutos de irrigação}$$

Condição 3 : Quando a temperatura for de 10°C (Baixa) e a umidade for 90% (Muito Alta), o sistema terá uma saída de 30% do tempo, considerado na condição normal. Neste caso, o tempo de irrigação será de:

$$(15 \text{ minutos}) * 0,3 = 5 \text{ minutos de irrigação}$$

Note que não foi considerado de forma explicita o tipo de planta, as condições do solo, o método de irrigação ou a quantidade de água. Estes parâmetros devem ser considerados pelo agricultor / produtos quando da definição das condições normais no passo I. O valor do multiplicador de saída é o resultado que se busca a partir do método de inferência da lógica Fuzzy.

## Resultados de Implementação

Para o modelo sugeridos foram considerados;

### Ferramentas e softwares

Softwares: Octave / Matlab

### Sistema Fuzzy

Conectivo: E (Mínimo)

Implicação: Mamdani

Agregação: E (Máximo)

Defuzificação: Centro de Área (CDA)

Para o sistema proposto obtivemos resultados satisfatórios utilização funções triangulares com cinco conjuntos conforme apresentado a seguir.

Foram realizados testes com três conjuntos Fuzzy em funções triangulares e trapezoidal, estes porém, não

apresentou variações satisfatórias no processo de defuzificação.

Foi observado durante o processo que a classificação e definição dos modelos dos conjuntos Fuzzy e regra de pertinência precisam ser ajustados às necessidades do plantio. Neste aspecto observou-se ainda que ajustes devem ser realizados para cada tipo de solo, plantio ou estágio da planta. A utilização de uma variável adicional pode auxiliar nesta tarefa, porém não foi o objetivo deste trabalho.

### Variáveis de Entrada:

Determinação dos conjuntos de ativação das variáveis de entrada devem ser ajustadas conforme as condições apropriadas de cada região e relacionadas ao cultivos. As variáveis e a função de pertinência dependerá do processo a ser considerado. Neste estudo as funções de pertinência foram ajustadas mediante testes como observância dos resultados desejados.

Consideramos o valores para o Sudeste Brasileiro, mais especificamente na cidade de Descalvado-SP.

- Temperatura Ambiente

Temperatura Ambiente	
$0^{\circ}\text{C} > T > 10^{\circ}\text{C}$	Muito Baixa
$5^{\circ}\text{C} > T > 20^{\circ}\text{C}$	Baixa
$15^{\circ}\text{C} > T > 30^{\circ}\text{C}$	Média
$25^{\circ}\text{C} > T > 40^{\circ}\text{C}$	Alta
$T > 35^{\circ}\text{C}$	Muito Alta

Tabela 1: Conjunto pertinência temperatura (autor)

A Temperatura máxima e mínima consideradas foram de 0°C a 50°C. Valores medidos pelo sistema que estiverem fora destes limites irá apresentar erro no processo de inferência.

O Conjuntos pertinência da variável de entrada temperatura ambiente estão listados na tabela1 e figura2.

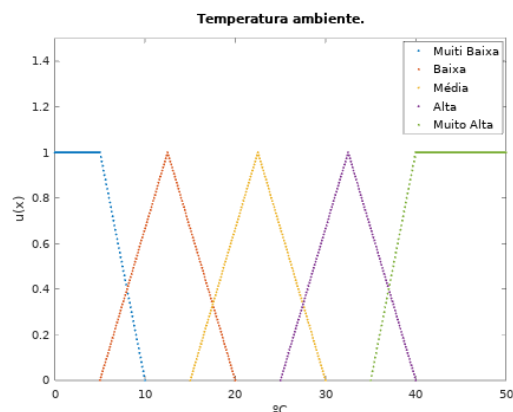


Figura 2: Gráfico conjunto pertinência temperatura (autor)

- Umidade do Ar

Considerou-se o mesmo método aplicado para a definição dos valores de temperatura para o valores de umidade do ar. Os valores de umidade do ar estão entre 0% e 100%.

O Conjuntos pertinência da variável de entrada umidade estão listados na tabela2 e figura3.

Umidade do Ar	
0% a 35%	Muito Baixa
25% a 55%	Baixa
45% a 80%	Média
70% a 90%	Alta
85% a 100%	Muito Alta

Tabela 2: Conjunto pertinência umidade do ar (autor)

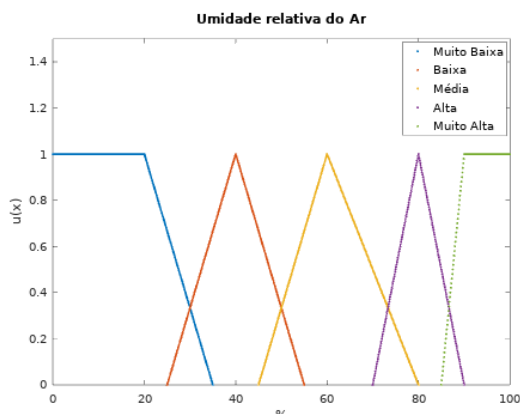


Figura 3: Gráfico conjunto pertinência umidade do ar (autor)

### Consequentes:

- Demanda Hídrica

A demanda hídrica representa qual o multiplicador a ser utilizado em relação à demanda padrão de irrigação do plantio. Este multiplicador é relacionado às entradas das medições de temperatura e umidade do ar. Desta forma a demanda hídrica do plantio é alterada em função das regras e conjuntos de pertinências relacionados no sistema.

Os valores de demanda hídrica foram fixados entre 0,00 e 2,00 ou seja 0% e 200%, sendo o valor considerado como demanda padrão de irrigação ou Média próximo de 100% ou 1,00, pequenas variações de até 5% para mais ou para menos foram consideradas como desprezíveis.

A tabela 3 e a figura 4 apresentam os dados dos conjuntos consequentes.

Demanda Hídrica	
0 a 0,5	Muito Baixa
0,3 a 0,9	Baixa
0,6 a 1,3	Média
1,1 a 1,7	Alta
1,1 a 2	Muito Alta

Tabela 3: Conjunto consequente Demanda Hídrica (autor)

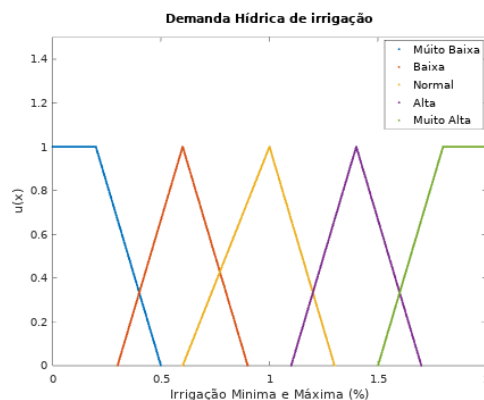


Figura 4: Gráfico conjunto consequente Demanda Hídrica (autor)

### Regras de ativação.

As regras de ativação representam quais conjuntos consequentes serão ativados em função dos valores medidos na entrada e dos conjuntos ativados no processo de fuzzificação nas entradas. Elas foram elaboradas com base em uma agricultura de hortaliças folhosas de Couve e Taioba com base em considerações práticas.

Estas definições das regras de ativação devem ser determinada pelos especialistas no manejo do cultivo e, neste ponto, os ajustes e definições são cruciais para a correta inferência do sistema Fuzzy.

As regras de ativação definidas para o sistema estão representadas na tabela abaixo e respeitam o seguinte modelo;

**Se** (isso ocorrer) **E** (isso correr) **Então** (aquilo ocorre).

Exemplo regra 1:

**Se** Temperatura Ambiente é Muito Baixa **e** Umidade do ar é Muito Baixa **Então** Demanda Hídrica é Média.

Esta regra será ativada caso a temperatura seja  $0^{\circ}\text{C} < T < 10^{\circ}\text{C}$  e a umidade do ar seja  $0\% < U < 35\%$ .

SE / E	Umidade do ar					Então
	Muito Baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta	
Muito Baixa	Média	Média	Baixa	Muito Baixa	Muito Baixa	Demanda Hídrica
Baixa	Média	Média	Baixa	Baixa	Muito Baixa	
Média	Alta	Média	Média	Baixa	Muito Baixa	
Alta	Muito Alta	Alta	Média	Média	Baixa	
Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta	Alta	Média	Baixa	

Tabela 4 : Redras de ativação (autor)

### Análises dos Resultados

Foram realizados diversos simulações com entradas de umidade relativa do Ar e Temperaturas variadas a fim de encontrar a melhor função pertinência e as escolhas do conjuntos que melhor descrevesse o comportamento desejado para um sistema de irrigação hipotético. O gráfico apresentado está ajustado com base nestes testes .

Utilizando os valores aleatórios de 19°C de temperatura e umidade do ar de 57%, é apresentado o resultado liberados pelo sistema.

Para estes valores obtivemos o seguintes resultados:

Na variável de entrada Temperatura os conjuntos pertinência ativados foram Baixa e Média. Os valores de  $u(t)$  foram;

$$u_{TempBaixa}(t) = 0,13$$

$$u_{TempMédia}(t) = 0,53$$

A figura 5 apresenta os conjuntos pertinência ativados e marca qual o valor dos respectivos  $u(t)$  acionados nos conjuntos.

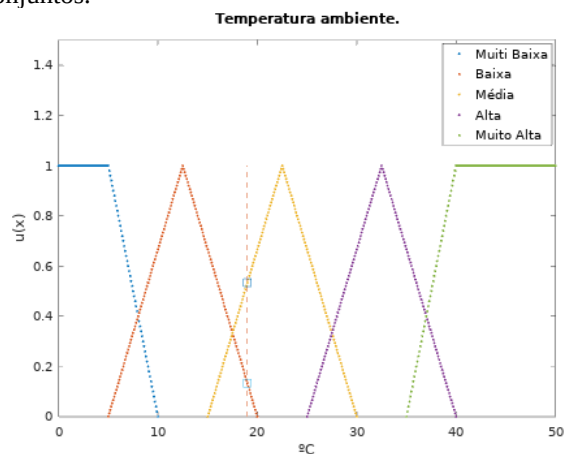


Figura 5: Gráfico conjuntos ativados - temperatura (autor)

Na variável de entrada Umidade do ar o conjunto pertinência ativado foi Média. Os valores de  $u(u)$  foi;

$$u_{UmidMédia}(u) = 0,80$$

A figura 6 apresenta o conjunto pertinência ativado e marca qual o valor do respectivo  $u(u)$  acionado no conjunto.

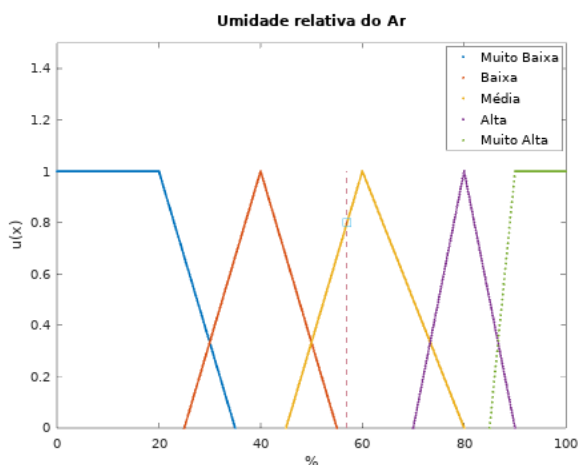


Figura 6: Gráfico conjuntos ativados – umidade do ar (autor)

Os conjuntos consequentes ativados, segundo o método de Mandani (mínimos) e conforme definido nas regras de ativações do consequente da demanda hídrica, foram os conjuntos Baixo e Médio conforme apresentado na figura 7.

Os cortes aplicados aos conjuntos pelo método Mandani resulta na estrutura em destaque de azul na figura 7. A reta vermelha tracejada é a reta que define o centro de área CDA. Para este cenário o centro de área (CDA) obtido foi 0.89828 ou seja aproximadamente 0,89 % do volume padrão de irrigação do sistema original, ou considerando o exemplo inicial de Condição 1 (pag3)

(15 minutos)\*0,89% ~ 13 minutos e 30 segundos

Para a validação e aferição dos valores de saída foram realizados cálculos, similares aos apresentados, com variação da temperatura de 5°C a 45°C, variação a cada 5°C, para cada valor de umidade de ar variado de 5% a 100% com variação a cada 5%. Estes valores são apresentados na tabela 5.

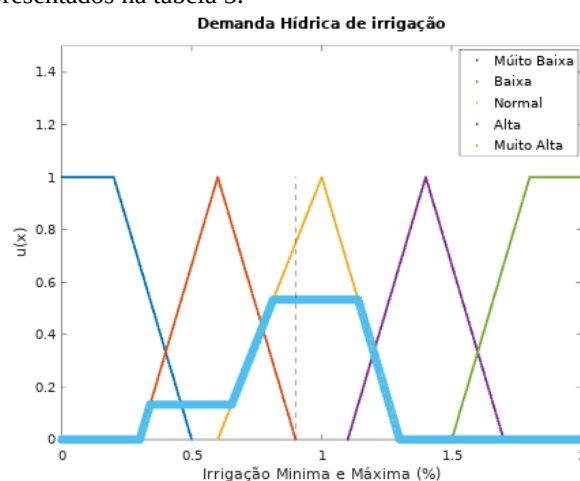


Figura 7: Gráfico consequente, conjuntos ativados Mandani e CDA. (autor)

Para cada valor calculado foi adicionada uma cor utilizado o padrão da tabela 4 de definição das regras de ativação, no qual permite verificar e comprovar a aderência dos valores inferidos com os esperados dentro da faixa de valor dos conjuntos.

A tabela 5, além de permitir a validação da funcionalidade do sistema com os especialistas, mediante a inferência do método Fuzzy, possibilita a correção de eventuais distorções que possa apresentar em determinadas regras, e principalmente serve como base de dados a ser implementado nos controladores microprocessados. Na implementação do sistema, em um controlador microprocessado, não haverá a necessidade de realização de todo o processo computacional demandado para inferir os resultados. Os dados desta tabela, calculado em um computador externo, são inseridos no microcontrolador e a cada consulta entre valores aproximados de temperatura e umidade do ar tem-se a resultante do valor de inferência, em uma consulta simples de tabela. Este método é possível porque pequenas variações nos valores de entrada não resultam em mudanças consideradas nos consequentes, conforme observado durante os testes.

Este método traz um benefício extra de baixo custo de processamento ao microcontrolador para definição da inferência de saída, podendo em alguns casos armazenar várias tabelas com características específicas para cada plantio ou fases do plantio, permitindo a utilização de um único controlador, com várias saídas, utilizando tabelas diferentes para cada saída. Este é um aspecto positivo identificado ao final dos trabalhos durante as etapas de validação dos dados de inferência.

Ao todo foram criados quatro arquivos de códigos. O código do programa principal está em main.m

Os códigos dos conjuntos pertinências das variáveis de entrada e consequentes estão em Temperatura.m,

UmidadeAr.m e DemandaHidrica.m, respectivamente. Os códigos na íntegra estão disponíveis no endereço eletrônico:

<https://github.com/EmersonMorgado/controladorFuzzyIrigacao>

Na sessão Anexos estão listados os códigos do programam principal main.m

		Temperatura Ambiente °C									
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	
Umidade Relativa do Ar (%)	Baixa	Baixa				Alta					
		Muito Baixa		Média		Muito Alta					
	Muito Baixa	0.96667	0.96389	0.96389	1.40000	1.40000	1.79609	1.79609	1.81455	1.81455	
		0.96667	0.96389	0.96389	1.40000	1.40000	1.79609	1.79609	1.81455	1.81455	
		0.96667	0.96389	0.96389	1.40000	1.40000	1.79609	1.79609	1.81455	1.81455	
		0.96389	0.96389	0.96389	1.40000	1.40000	1.79609	1.79609	1.79609	1.79609	
		0.95778	0.95778	0.95778	1.15800	1.15800	1.57476	1.57476	1.77433	1.77433	
	Baixa	0.96389	0.96389	0.96389	0.96389	0.96389	1.40000	1.40000	1.79609	1.79609	
		0.96667	0.96389	0.96389	0.96389	0.96389	1.40000	1.40000	1.81455	1.81455	
		0.96389	0.96389	0.96389	0.96389	0.96389	1.40000	1.40000	1.79609	1.79609	
		0.80000	0.80000	0.80000	0.95778	0.95778	1.15800	1.15800	1.57476	1.57476	
		0.60000	0.60000	0.60000	0.96389	0.96389	0.96389	0.96389	1.40000	1.40000	
	Média	0.60000	0.60000	0.60000	0.96389	0.96389	0.96389	0.96389	1.40000	1.40000	
		0.60000	0.60000	0.60000	0.96389	0.96389	0.96389	0.96389	1.40000	1.40000	
		0.60000	0.60000	0.60000	0.96389	0.96389	0.96389	0.96389	1.40000	1.40000	
		0.60000	0.60000	0.60000	0.96111	0.96111	0.96111	0.96111	1.40000	1.40000	
		0.35771	0.60000	0.60000	0.74231	0.74231	0.96111	0.96111	1.09943	1.09943	
	Alta	0.18545	0.60000	0.60000	0.60000	0.60000	0.96389	0.96389	0.96667	0.96667	
		0.21445	0.60000	0.60000	0.60000	0.60000	0.96111	0.96111	0.96111	0.96111	
		0.18545	0.20391	0.20391	0.20391	0.20391	0.60000	0.60000	0.60000	0.60000	
		0.18545	0.20391	0.20391	0.20391	0.20391	0.60000	0.60000	0.60000	0.60000	
		0.18545	0.20391	0.20391	0.20391	0.20391	0.60000	0.60000	0.60000	0.60000	

Tabela 5 : Redras de ativação em função do valores inferidos de centro de área (autor)

## Conclusões

Os resultados foram satisfatórios e atenderam ao propósito do trabalho que é adequar a quantidade de água em função das variações da temperatura ambiente e da umidade do ar, utilizando a logica fuzzy.

Os resultados foram além das expectativas em termos de processamento necessários para implementação do sistema, uma vez que a maior carga de processamento pode ser realizada externamente ao microcontrolador e posteriormente inserido somente os dados de consulta no microcontrolador, conforme apresentado nas análises dos resultados.

Contudo este estudo permite melhorias consideráveis se adicionadas outras variáveis de alta relevância como ciclo de crescimento da planta, tipos de solo e umidade do solo. O sistema não foi implementado na pratica, mas devido aos seus resultados acredita que sua implantação seja factível e justificada, mesmo em microcontroladores de memória e processamento reduzidos.

## Referências

- [1] SENAR, Hortaliças: Cultivo de hortaliças raízes, tubérculos, rizomas e bulbos / Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. -- Brasília: SENAR, 2012. 152 p. : il. ; 21 cm -- (Coleção SENAR; 149)
- [2] EMBRAPA, Manejo da irrigação em hortaliças, 5ª edição, Brasilia . DF 1996. CDD 635 .87
- [3] Santana, M. J., Mancin C. A., Ribeiro A. A., Evapotranspiração e coeficientes de cultura para o alface e a rúcula cultivadas em Uberaba-MG, Revista Inova

Ciência & Tecnologia, Uberaba, p. 7-13, ano 2, n. 2, maio/ago., 2016, SSN 2447-598X (Digital)

[4] FERNANDES, EDEMO J., TURCO, JOSÉ E. P., Evapotranspiração de referência para manejo da irrigação em cultura de soja, Irriga, Botucatu, v. 8, n. 2, p. 132-141, mai-ago, 2003

[5] LIMA, F.M.C. Desenvolvimento de um Sistema de Controle Fuzzy do Potencial Matricial da Água do Solo, visando à Otimização de Processos de Irrigação. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Paraíba (UFPB), João Pessoa, 2007.

[6] Embrapa, Como plantar batata, Embrapa Hortaliças Sistemas de Produção, ISSN 1678-880X Versão Eletrônica 2ª edição, acessado em 2 de dezembro de 2019. <https://www.embrapa.br/hortaliças/batata/irrigacao>

## Anexos

Anexo I código em Octave/Matlab para o programa principal main.m

```

main.m
clear; close all; clc;
function [Z] = conjunto_ativo (x, Conj_Fuzzy)
f = find(Conj_Fuzzy(1,:) == x);
l = rows(Conj_Fuzzy);
Z((l-1)/2,1)=Z(:,2)=0;
for i=1:l
    if (rem(i,2)==0)

```



```

    if Conj_Fuzzy(i+1,f)==1
        Z(i/2,1) =x;
        Z(i/2,2) = Conj_Fuzzy(i,f);
    endif
endfor
endfunction

function [Conj_Fuzzy] = crisp (alfa, Conj_Fuzzy)
c = columns(Conj_Fuzzy);
l = rows(Conj_Fuzzy);
for i=1:l
    for j=1:c
        if (Conj_Fuzzy(i,j)>alfa)
            Conj_Fuzzy(i,j) = alfa;
        endif
    endfor
endfor
endfunction

## Conjunto Pertinência-----
emperatura Ambiente
hold off;
subplot(1,3,1);
temperaturaAmbiente = Temperatura();

## Conjunto Pertinência-----Demanda
diária de água
subplot(1,3,2);
umidadeAr = UmidadeAr();

## Conjunto Pertinência-----Demanda
diária de água
subplot(1,3,3);
demandaHidrica = DemandaHidrica();

## Conjuntos ativos -----Temperatura e
Umidade do Ar
Temp = input ('Fornecer o valor da temperatura: ');
tA = conjunto_ativo(Temp,temperaturaAmbiente);

## Plote-----Interseção nos gráficos dos
conjuntos ativos
l = rows(tA);
hold on;
subplot(1,3,1);
for i=2:l
    if tA(i,1)>0
        plot(tA(i,1),tA(i,2),"s");
        plot([tA(i,1) tA(i,1)],[0 1],"--");
    endif
endfor
Umid = input ('Fornecer o valor da humidade do ar: ');
uA = conjunto_ativo(Umid,umidadeAr);
hold on; subplot(1,3,2);
l = rows(uA);
for i=1:l
    if uA(i,1)>0
        plot(uA(i,1),uA(i,2),"s");
        plot([uA(i,1) uA(i,1)],[0 1],"--");
    endif
endfor

```

```

#Consequentes -----
Regras Ativadas
lu = rows(uA);
lt = rows(tA);
l=columns(demandaHidrica);
regra(25,l)=0;
if tA(1,1)>0 #temperatura muito baixa
    if uA(1,1)>0 #Umidade Muito baixa
        min_uA_uB = min(tA(1,2),uA(1,2));
        regra(1,:) = crisp (min_uA_uB,
demandaHidrica(6,:)); #Hirrigação Média
    endif
    if uA(2,1)>0 #Umidade baixa
        min_uA_uB = min(tA(1,2),uA(2,2));
        regra(2,:) = crisp (min_uA_uB,
demandaHidrica(6,:)); #Hirrigação Média
    endif
    if uA(3,1)>0 #Umidade Média
        min_uA_uB = min(tA(1,2),uA(3,2));
        regra(3,:) = crisp (min_uA_uB,
demandaHidrica(4,:)); #Hirrigação Baixa
    endif
    if uA(4,1)>0 #Umidade Alta
        min_uA_uB = min(tA(1,2),uA(4,2));
        regra(4,:) = crisp (min_uA_uB,
demandaHidrica(2,:)); #Hirrigação Muito Baixa
    endif
    if uA(5,1)>0 #Umidade Muito Alta
        min_uA_uB = min(tA(1,2),uA(5,2));
        regra(5,:) = crisp (min_uA_uB,
demandaHidrica(2,:)); #Hirrigação Muito Baixa
    endif
endif
if tA(2,1)>0 #temperatura Muito Baixa
    if uA(1,1)>0 #Umidade Muito baixa
        min_uA_uB = min(tA(2,2),uA(1,2));
        regra(6,:) = crisp (min_uA_uB,
demandaHidrica(6,:)); #Hirrigação Média
    endif
    if uA(2,1)>0 #Umidade baixa
        min_uA_uB = min(tA(2,2),uA(2,2));
        regra(7,:) = crisp (min_uA_uB,
demandaHidrica(6,:)); #Hirrigação Média
    endif
    if uA(3,1)>0 #Umidade Média
        min_uA_uB = min(tA(2,2),uA(3,2));
        regra(8,:) = crisp (min_uA_uB,
demandaHidrica(4,:)); #Hirrigação Baixa
    endif
    if uA(4,1)>0 #Umidade Alta
        min_uA_uB = min(tA(2,2),uA(4,2));
        regra(9,:) = crisp (min_uA_uB,
demandaHidrica(4,:)); #Hirrigação Baixa
    endif
    if uA(5,1)>0 #Umidade Muito Alta
        min_uA_uB = min(tA(2,2),uA(5,2));
        regra(10,:) = crisp (min_uA_uB,
demandaHidrica(2,:)); #Hirrigação Muito Baixa
    endif
endif
if tA(3,1)>0 #temperatura Média
    if uA(1,1)>0 #Umidade Muito baixa
        min_uA_uB = min(tA(3,2),uA(1,2));

```

```

                regra(11,:) = crisp (min_uA_uB,
demandaHidrica(8,:)); #Hirrigação Alta
            endif
            if uA(2,1)>0 #Umidade baixa
                min_uA_uB = min(tA(3,2),uA(2,2));
                regra(12,:) = crisp (min_uA_uB,
demandaHidrica(6,:)); #Hirrigação Média
            endif
            if uA(3,1)>0 #Umidade Média
                min_uA_uB = min(tA(3,2),uA(3,2));
                regra(13,:) = crisp (min_uA_uB,
demandaHidrica(6,:)); #Hirrigação Média
            endif
            if uA(4,1)>0 #Umidade Alta
                min_uA_uB = min(tA(3,2),uA(4,2));
                regra(14,:) = crisp (min_uA_uB,
demandaHidrica(4,:)); #Hirrigação Baixa
            endif
            if uA(5,1)>0 #Umidade Muito Alta
                min_uA_uB = min(tA(3,2),uA(5,2));
                regra(15,:) = crisp (min_uA_uB,
demandaHidrica(2,:)); #Hirrigação Muito Baixa
            endif
            if tA(4,1)>0 #temperatura Alta
                if uA(1,1)>0 #Umidade Muito baixa
                    min_uA_uB = min(tA(4,2),uA(1,2));
                    regra(16,:) = crisp (min_uA_uB,
demandaHidrica(10,:)); #Hirrigação Muito Alta
                endif
                if uA(2,1)>0 #Umidade baixa
                    min_uA_uB = min(tA(4,2),uA(2,2));
                    regra(17,:) = crisp (min_uA_uB,
demandaHidrica(8,:)); #Hirrigação Alta
                endif
                if uA(3,1)>0 #Umidade Média
                    min_uA_uB = min(tA(4,2),uA(3,2));
                    regra(18,:) = crisp (min_uA_uB,
demandaHidrica(6,:)); #Hirrigação Média
                endif
                if uA(4,1)>0 #Umidade Alta
                    min_uA_uB = min(tA(4,2),uA(4,2));
                    regra(19,:) = crisp (min_uA_uB,
demandaHidrica(6,:)); #Hirrigação Média
                endif
                if uA(5,1)>0 #Umidade Muito Alta
                    min_uA_uB = min(tA(4,2),uA(5,2));
                    regra(20,:) = crisp (min_uA_uB,
demandaHidrica(4,:)); #Hirrigação Baixa
                endif
            endif

```

```

            if tA(5,1)>0 #temperatura Muito Alta
                if uA(1,1)>0 #Umidade Muito baixa
                    min_uA_uB = min(tA(5,2),uA(1,2));
                    regra(21,:) = crisp (min_uA_uB,
demandaHidrica(10,:)); #Hirrigação Muito Alta
                endif
                if uA(2,1)>0 #Umidade baixa
                    min_uA_uB = min(tA(5,2),uA(2,2));
                    regra(22,:) = crisp (min_uA_uB,
demandaHidrica(10,:)); #Hirrigação Muito Alta
                endif
                if uA(3,1)>0 #Umidade Média
                    min_uA_uB = min(tA(5,2),uA(3,2));
                    regra(23,:) = crisp (min_uA_uB,
demandaHidrica(8,:)); #Hirrigação Alta
                endif
                if uA(4,1)>0 #Umidade Alta
                    min_uA_uB = min(tA(5,2),uA(4,2));
                    regra(24,:) = crisp (min_uA_uB,
demandaHidrica(6,:)); #Hirrigação Média
                endif
                if uA(5,1)>0 #Umidade Muito Alta
                    min_uA_uB = min(tA(5,2),uA(5,2));
                    regra(25,:) = crisp (min_uA_uB,
demandaHidrica(4,:)); #Hirrigação Baixa
                endif
            endif
            regra_(1,:) = demandaHidrica(1,:);
            regra_(2,:) = [0];
            CDAn = CDAd = 0;
            l=columns(regra_);
            for i=1:l
                regra_(2,i) = max(regra(:,i));
                if regra_(2,i)>0
                    CDAn =(regra_(2,i)*regra_(1,i)) + CDAn;
                    CDAd = regra_(2,i) + CDAd;
                endif
            endfor
            hold on;
            subplot(1,3,3);
            hold on;
            plot(regra_(1,:),regra_(2:,:), "o");

            ##Defuzzificação-----
            Centro de Área
            CDA = (CDAn/CDAd)
            subplot(1,3,3);
            hold on;
            plot([CDA CDA],[0 1],"--");

```