

LÓGICA FUZZY E APLICAÇÕES EM PROBLEMAS RELATIVOS À ENGENHARIA: FUNCIONAMENTO DE UM SECADOR SOLAR

Valderlândia M. F. da Silva¹

Resumo: A teoria dos conjuntos fuzzy é uma extensão da teoria dos conjuntos clássicos que se tornou uma importante ferramenta para modelagem matemática de problemas da engenharia. Nessa estrutura lógica o fator de pertinência pode então assumir qualquer valor entre 0 e 1, sendo que o valor 0 indica uma completa exclusão e um valor 1 representa completa pertinência. Esta generalização aumenta o poder de expressão da função característica e permite muita aplicabilidade na engenharia de modo geral. Um dos softwares mais conhecidos pela utilização da lógica fuzzy, é o MATLAB. Dentre as várias formas de se utilizar a lógica fuzzy, a análise dos dados de um secador solar foi a opção escolhida. A utilização da energia solar para a secagem de grãos, frutas e outros produtos alimentícios apresenta-se como uma alternativa para regiões de clima tropical, como o Nordeste. A secagem é um processo físico que consiste na eliminação de água por evaporação, de modo a melhorar a conservação de produtos. Entre as principais vantagens oferecidas pela secagem de frutas está a concentração dos nutrientes e um maior tempo de prateleira. Assim, neste trabalho analisou-se dados referente ao problema de secagem de banana e identificou-se a consistência do uso da lógica fuzzy na modelagem da massa de água de duas variáveis básicas.

Palavras-chave: Lógica Fuzzy; Secador solar de frutas; Matlab; Modelagem matemática.

1. INTRODUÇÃO

Quando um determinado problema apresenta um grande grau de incerteza é necessário que para a sua solução utilize-se um modelo matemático que possa contemplar essa especificidade e não desconsidere aspectos que possam ser ignorados na aplicação de lógicas tradicionais, (AGUADO & CANTANHEDE, 2010). Para esses casos a lógica fuzzy é extremamente recomendada por apresentar um modelo único capaz de associar as incertezas do mundo real com o poder computacional das máquinas produzindo rapidamente respostas inteligentes.

Um ponto importante sobre esta diferença da lógica fuzzy para os sistemas lógicos clássicos, é que ao invés de utilizar apenas os quantificadores existenciais e universais como é abordado por exemplo na probabilidade, a lógica fuzzy admite, em adição, uma ampla variedade de quantificadores (pouco, vários, usualmente, frequentemente, etc). Hoje em dia, desenvolveram-se diversas aplicações utilizando Fuzzy, tais como: sistemas de controle, modelagem de processos, redes neurais para descrição de função, engenharia industrial, marketing, previsão de vendas, análises de dados, etc.

Um dos softwares mais conhecidos pela utilização da lógica fuzzy, é o MATLAB. O mesmo, trata-se de um programa de computador especializado em otimizar cálculos científicos e de engenharia. De início, ele foi projetado para cálculos com matrizes; ao longo dos anos, transformou-se em um sistema computacional flexível, capaz de resolver essencialmente qualquer problema técnico. O programa MATLAB implementa a linguagem de mesmo nome, juntamente com vasta biblioteca de funções predefinidas que tornam as tarefas de programação técnica mais fáceis e eficientes. Essa variedade extremamente ampla de funções torna muito mais fácil resolver os problemas técnicos no MATLAB do que em outras linguagens, como Fortran ou C (CHAPMAN, 2003).

Diante dos fatos apresentados, o presente trabalho tratou-se da análise de dados obtidos sobre o funcionamento e secagem de um secador solar. A utilização da energia solar para a secagem de grãos, frutas e outros produtos alimentícios apresenta-se como uma excelente alternativa para regiões de clima tropical, como o Nordeste.

Entre as principais vantagens oferecidas pela secagem de frutas está a concentração dos nutrientes e o maior tempo de vida de prateleira. Além disso, o sabor permanece quase inalterado por longo tempo, uma vez que é minimizada a proliferação de microrganismos devido a redução da atividade de água do produto (MACHADO, et al, 2011). O secador solar, ao contrário dos mecânicos, usa energia térmica renovável e de baixo custo na desidratação das frutas (NUNES, 2016).

Assim, o objetivo do estudo é tratar mais detalhadamente sobre o funcionamento de um secador solar na secagem de bananas analisando a oscilação dos dados obtidos, já que foi notado que nos diversos estudos e pesquisas sobre o tema não há o aproveitamento de todos os dados utilizados, e sim, apenas o uso do valor médio. Com o uso da lógica fuzzy, será mostrado o quão importante são os graus de pertinência e que podem alterar os

resultados finais. Este método é um conceito moderno e bastante utilizado atualmente onde sua grande simplicidade de implementação de sistemas de controle fuzzy pode reduzir a complexidade de um projeto e verificar mais rapidamente os dados existentes de algum experimento, como no caso, o secador solar.

2.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. LÓGICAS FUZZY

Segundo Earl Cox (1998), uma lógica matemática muito conhecida nos processos de auxílio à tomada de decisão é a lógica fuzzy. Também chamada de nebulosa ou difusa, esta lógica tem como base a análise de dados não digitalizados, ou seja, considera valores intermediários entre o máximo (“um” na lógica Booleana) e mínimo (“zero” na lógica Booleana). Analisar dados utilizando tal lógica significa considerar os estágios compreendidos entre os extremos de determinadas entradas para que através da inferência de seus valores, chegue-se a uma ou mais saídas também com valores não digitais.

Existem algumas questões e problemas em que não é possível ou aplicável respostas determinísticas, abrindo espaço então para raciocínios aproximados que leve a um entendimento maior sobre o problema em questão. Por meio disto, ao contrário da Lógica convencional, a Lógica Fuzzy utiliza a ideia de que todas as coisas admitem (temperatura, altura, velocidade, etc.) graus de pertinências tentando modelar o senso de palavras, tomada de decisão ou senso comum do ser humano (MARRO, Alessandro Assi et al. 2010).

Este modelo de aproximação não é algo raro, mas sim bastante presente no mundo real pois grande parte dos eventos de nosso cotidiano pode ser entendido de forma aproximada considerando os meios-termos cabíveis a cada fato. Cox (1994) afirma que a lógica fuzzy traz consigo a ideia de medida, ou aplicação de uma métrica onde aparentemente a questão parece ser vaga. Essas métricas quando aplicadas aproxima a questão de algumas suposições possíveis. Von Altrock (1996) apresenta as variáveis linguísticas como sendo o vocabulário da linguagem fuzzy, pois são expressões presentes na linguagem humana e que quando traduzidas ou interpretadas podem levar a conclusões importantes.

2.2. MATLAB

O MATLAB (abreviatura para MATrix LABoratory – Laboratório de Matrizes) é um programa de computador especializado otimizado para cálculos científicos e de engenharia. Inicialmente, ele foi projetado para cálculos com matrizes; ao longo dos anos, transformou-se em um sistema computacional flexível, capaz de resolver essencialmente qualquer problema técnico (CHAPMAN, 2003).

Atualmente esse programa é largamente utilizado nas universidades e faculdades nos cursos introdutórios ou avançados de matemática, ciências e, especialmente, nas engenharias. Na indústria o software alcançou o status de ferramenta de pesquisa, projeto e desenvolvimento. O pacote padrão do MatLab possui ferramentas (funções) comuns a diversas áreas do conhecimento. Além disso, disponibiliza uma série de ferramentas adicionais (os toolboxes) que formam uma coleção de programas especiais projetados para resolver problemas específicos. Dentre os toolboxes mais utilizados pode-se citar: processamento de sinais, cálculos simbólicos (literais), sistema de controle, lógicas fuzzy e etc (GILAT, 2009).

A linguagem MATLAB é uma linguagem de programação procedimental, o que significa que o engenheiro escreve procedimentos, que são efetivamente instruções para resolver um problema. Isso torna o MATLAB muito semelhante a outras linguagens procedimentais como C, Basic, Fortran e Pascal. No entanto, a lista extremamente rica de funções predefinidas e de ferramentas de representação gráfica a torna superior a essas outras linguagens para muitas aplicações de análise de engenharia.

A opção do MATLAB referente a análise de lógicas fuzzy é chamada de MAMDANI, que, em geral, é composta por um conjunto de módulos que indicam a metodologia para a construção desta função. Um sistema fuzzy faz corresponder a cada entrada fuzzy uma saída fuzzy. No entanto, espera-se que a cada entrada crisp (um número real, ou par de números reais, ou n-upla de números reais) faça corresponder uma saída crisp. Neste caso, um sistema fuzzy é uma função de R^n em R . Os módulos deste sistema segundo Amendola, Souza e Barros (2005) são divididos em:

- 1) Módulo de **fuzzificação**: É o que modela matematicamente a informação das variáveis de entrada por meio de conjuntos fuzzy. É neste módulo que se mostra a grande importância do especialista do processo a ser analisado, pois a cada variável de entrada devem ser atribuídos termos linguísticos que representam os estados desta variável e, a cada termo linguístico, deve ser associado um conjunto fuzzy por uma função de pertinência;
- 2) Módulo da **base de regras**: é o que constitui o núcleo do sistema. É neste módulo onde “se guardam” as variáveis e suas classificações linguísticas;
- 3) Módulo de **inferência**: é onde se definem quais são os conectivos lógicos usados para estabelecer a relação fuzzy que modela a base de regras. É deste módulo que depende o sucesso do sistema fuzzy já que ele fornecerá a saída (controle) fuzzy a ser adotado pelo controlador a partir de cada entrada fuzzy; e
- 4) Módulo de **defuzzificação**: que traduz o estado da variável de saída fuzzy para um valor numérico.

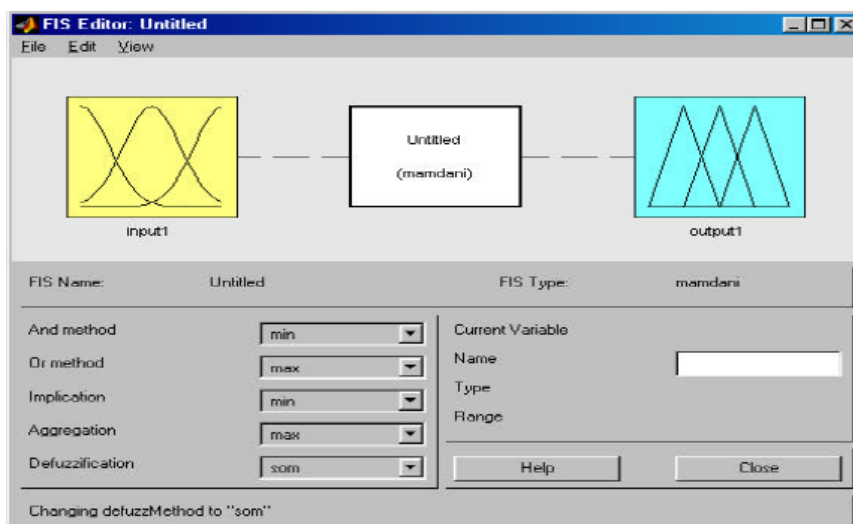


Figura 1. Tela inicial do *Fuzzy Logical Toolbox*. (MATLAB)

A figura 2 a seguir, apresenta a configuração básica para o uso do *Fuzzy Logical Toolbox*, utilizada no desenvolvimento deste trabalho:

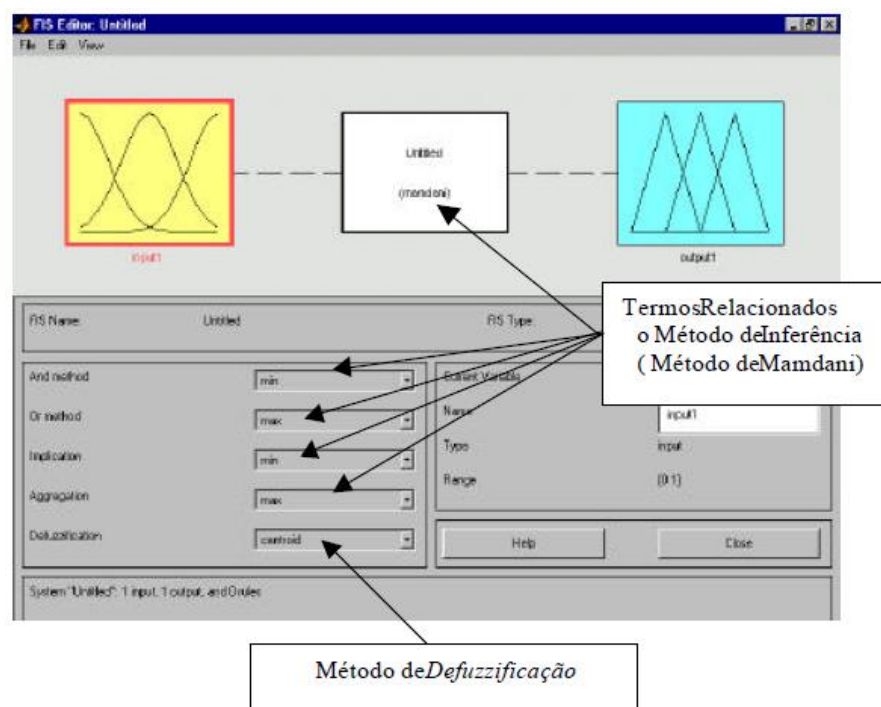


Figura 2. Configuração básica para utilização da lógica fuzzy no MATLAB. (MATLAB)

Na ferramenta, é possível utilizar diversas variáveis de entrada, como também, variáveis de saída.

2.3. SECAGEM, COLETORES E SECADORES SOLARES

A secagem de um alimento consiste, basicamente, na redução de seu teor de umidade a um nível no qual seu metabolismo e/ou dos microrganismos a ele associados sejam minimizados. Em um produto biológico, em sua secagem ocorrem transferência de calor e matéria, podendo a energia ser fornecida ao material por métodos combinados, sendo eles: Convecção – através do ar, condução – através do contato com uma superfície quente e por radiação – através de ondas eletromagnéticas, (COSTA, 2008). A secagem pode ser dividida em secagem direta – quando o material é colocado diretamente no coletor, e indireta – quando o material é colocando em uma câmara de secagem.

No decorrer do tempo, os agricultores passaram a ter sérios problemas com a disseminação de patógenos nas produções de mudas, e junto a isso, sérios prejuízos. Com o intuito de amenizar estes problemas, um equipamento, denominado por coletor solar, foi desenvolvido para exterminar a presença de substratos em plantas

com ajuda da energia solar. Certos patógenos habitantes do solo como por exemplo, fungos, bactérias e nematoides podem ser facilmente contidos com a utilização do coletor, além disso, este equipamento apresenta diversas vantagens, tais como a sua facilidade de construção e manutenção e o seu baixo custo de fabricação (GHINI, 1997).

Segundo Costa (2008), dois tipos de coletores solares são bastante usados no processo de secagem; o primeiro tem uma cobertura de plástico transparente (comumente utilizado o PVC), com a placa absorvedora sobreposta ao isolante, com o ar passando entre a placa absorvedora e a cobertura transparente e o segundo, tem a placa absorvedora exposta diretamente ao ambiente e à radiação solar, com o ar passando entre a placa absorvedora e o isolante.

O coletor solar é o principal componente de um secador solar, pois atua diretamente na captação de energia para o funcionamento do sistema de secagem. Os secadores solares podem ser divididos em três tipos: secador de convecção natural, secador de convecção forçada e o secador híbrido.

2.3.1. SECADOR SOLAR DE CONVECÇÃO NATURAL

Neste secador, o ar é aquecido na parte inferior do secador, com uma densidade menor e sobe arrastado pela corrente do ar atmosférico, promovendo a secagem do produto.



Figura 3. Exemplo de secador solar de convecção natural (direta). (GOOGLE)

2.3.2. SECADOR SOLAR DE CONVECÇÃO FORÇADA

É o secador em que o ar é forçado a escoar-se pelo coletor por ação de elementos exteriores como um ventilador ou uma bomba.

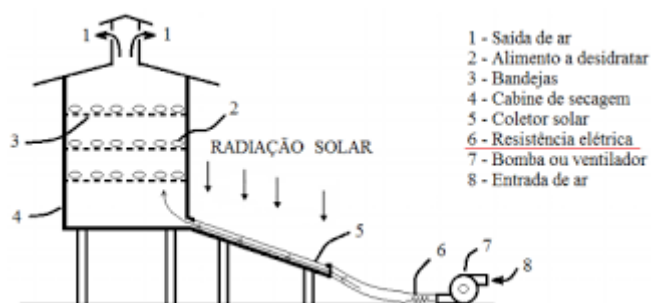


Figura 4. Exemplo de secador solar de convecção forçada. (SILVA, 2013)

2.3.3. SECADOR SOLAR HÍBRIDO

É o secador que além de utilizar a energia solar como fonte, utiliza também outros meios de energia como exemplo a elétrica, biomassa, geotérmica, fotovoltaica, etc.



Figura 5. Exemplo de secador solar híbrido. (NUNES, 2016)

2.4. VARIÁVEIS ENVOLVIDAS NA SECAGEM

A variável principal analisada no estudo de secagem das bananas foi a massa de água, com os dados do trabalho estudado remodelou-se a expressão, ficando representada por $m_A(x, y)$, onde $X = \frac{t}{R^2}$ e $Y = \frac{t}{L^2}$, onde:

- **T** = Tempo;
- **L** = Comprimento;
- **R** = Raio do cilindro.

Mesmo sendo aprofundado apenas na massa de água, a secagem de bananas apresenta outras variáveis, como por exemplo, o calor específico – que pode ser calculado usando o seu conteúdo aquoso e de sólidos, o teor de umidade – calculado através da massa de água sobre a massa inicial da banana, a condutividade térmica – representa a potência $Q(W)$ transferida por unidade de área $A(m^2)$, para uma diferença unitária de temperatura $\Delta t = 1^\circ C$, em uma amostra de espessura unitária $\Delta x = 1m$ e o calor latente de vaporização – é a energia (J) necessária para evaporar a unidade de massa (kg) do produto, como, por exemplo, água (COSTA, 2008).

3. METODOLOGIA

Foi realizado o estudo e modelagem dos dados da tese de doutorado “Sistema de secagem solar para frutos tropicais e modelagem da secagem de banana em um secador de coluna estática” do autor Antônio Raimundo da Silva Costa, publicado no ano de 2008, além de auxílios em outros artigos e periódicos para a construção e embasamento do estudo.

Para a modelagem utilizou-se o software MATLAB disponível nos computadores do laboratório de informática da Universidade Federal Rural do Semiárido – UFRSA, localizado no campus Leste, central de aulas III, em Mossoró – RN.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi realizado uma análise da correlação entre a massa de água da banana e a posição da bandeja na qual foi colocada no secador, esse dado não está presente no estudo abordado pois o autor não se aprofundou nesta verificação, e sim na correlação da massa de água e o tempo. Este é o diferencial deste trabalho – a análise de um fator não notado, mas que faz sim diferença nos resultados. Foram colocadas quatro bananas de comprimento $2L = 10\text{ cm}$, de forma cilíndrica, em cada bandeja, partindo da massa média da banana $M = 53,03\text{ g}$ e com uma densidade de $\rho = 926,2\text{ kg/m}^3$. Foram encontradas duas variáveis (H, Z) e R^2 - Constante de Person, a primeira análise foi realizada no Excel, de forma mais simples, gerando o gráfico linear da correlação mostrado na figura a seguir:

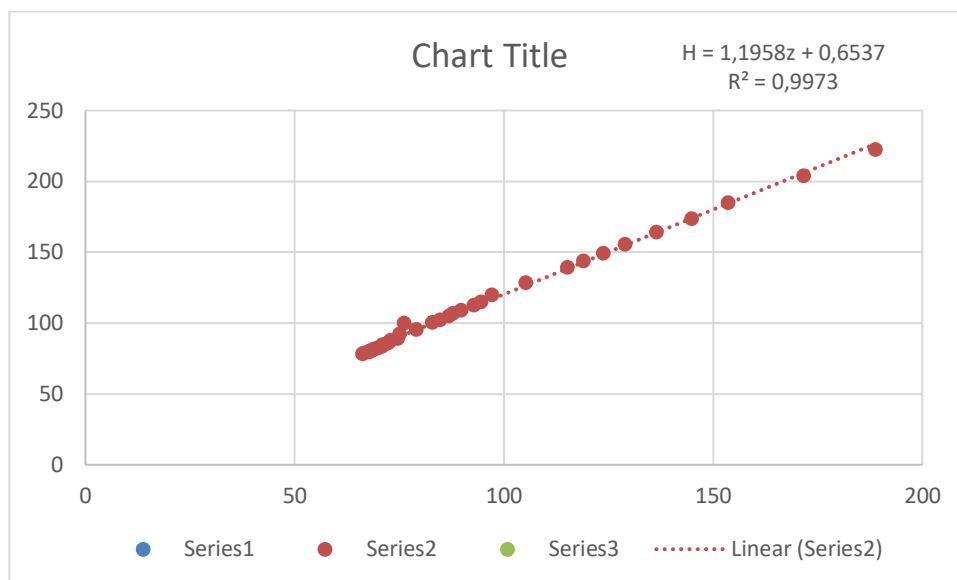


Gráfico 1. Análise linear simples (Excel)

Depois foi realizada a análise de regressão dos dados, obtendo-se a significância da relação linear com nível de segurança de 95%.

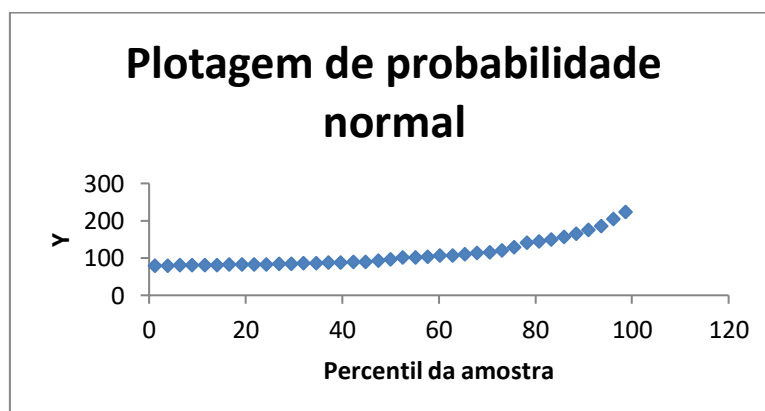


Gráfico 2. Análise de regressão dos dados. (Excel)

Tabela 1. Grau de significância dos dados. (Excel)

ANOVA					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	1	54377,99	54377,99	13569,38	4,5E-49
Resíduo	37	148,2739	4,007404		
Total	38	54526,26			

Na tabela acima pode-se concluir que a correlação da massa de água da banana com as posições das bandejas apresenta uma margem de erro praticamente zero de acordo com a soma e a média dos quadrados, seu grau de significância mostra-se muito alto, aproximadamente 99%.

Tabela 2. Grau de variância dos valores obtidos nos coeficientes. (Excel)

		Erro			95%	95%	Inferior	Superior
	Coeficientes	padrão	Stat t	valor-P	inferiores	superiores	95,0%	95,0%
Interseção	0,653695	0,998772	0,654499	0,516839	-1,37001	2,677398	-1,37001	2,677398
Variável X 1	1,195847	0,010266	116,4877	4,5E-49	1,175046	1,216648	1,175046	1,216648

Na tabela 2, pode-se observar que os coeficientes em um grau de segurança de 95% apresentam uma variância considerável. A interseção varia entre -1,37001 e 2,677398, já a variável H (x) varia bem menos de 1,175046 e 1,216648.

Por último, foi realizada a análise dos dados através da lógica fuzzy, as variáveis $X = \frac{t}{R^2}$ e $Y = \frac{t}{L^2}$ permitiram modelar a massa de água da banana em escala de pequenas variações de X e Y a partir da estrutura fuzzy na estrutura mandami como fuzzyficação dada pelo centro de massa, uma estrutura similar a obtida pela tese referência para este trabalho presente na página 102. As informações utilizadas para a construção dos gráficos também foram retiradas da tese referência, localizados na página 87.

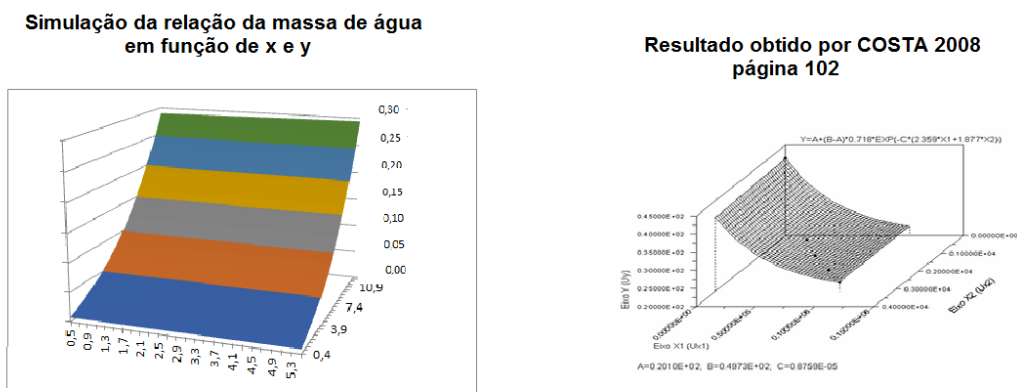


Figura 6. Massa de água em uma banana $Y = M_A$ versus $X = \frac{t}{R^2}$ e $Y = \frac{t}{L^2}$

A função de modelagem obtida por Costa (2008) foi $y = A + (B - A) * 0,718 * e^{-C*(2,359X1+1,877X2)}$, e a função obtida através da estrutura fuzzy foi $M_A = \left[1 - (y + \ln(1 + x + y))^{\frac{1}{2} + \frac{7x}{10}}\right]^{1,35} + 0,012$.

A diferença dos gráficos a cima está na forma em que foram executados, Costa (2008) utilizou uma estatística simples, já neste presente trabalho foi utilizado a estrutura mandami da lógica fuzzy.

5. CONCLUSÃO

Portanto, após realizadas as análises dos dados das três formas com foco principal na lógica Fuzzy através do MATLAB, ficou concretizado que existe sim, uma forte correlação linear entre a massa de água da banana e a posição da bandeja em que foram colocadas, ou seja, na primeira bandeja colocada em um ponto mais a cima do secador, a secagem aconteceu de forma mais rápida do que das bananas colocadas na outra bandeja mais a baixo. Conclui-se também que a lógica fuzzy ajudou nos resultados da oscilação de posição, pois com a utilização dessa linguagem, observou-se os princípios de incerteza do trabalho estudado e inferir conclusões baseadas em informações imprecisas. A diferença notada nos últimos gráficos, são identificadas por translação e escala, e podem ser contornadas através da calibração de dados na simulação *MATLAB*.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ZADEH, Lotfi. Fuzzy Sets. Information and Control. Vol.8, p.338-353, 1965.
- [2] AGUADO, A. G. ; CASTANHEDE, M. A. (2010). Lógica fuzzy. Artigo sem.
- [3] CHAPMAN, Stephen J. **Programação em MATLAB para engenheiros**. Pioneira Thomson Learning, 2003.
- [4] DE ALMEIDA, Isac Barbosa; LIMA, Michele Asley Alencar; DE SOUZA, Luiz Guilherme Meira. Desenvolvimento de secador solar construído a partir de material reciclável. **Holos**, v. 4, p. 197-205, 2016.
- [5] MACHADO, Antônio Vitor et al. Avaliação de um secador solar sob convecção forçada para a secagem do pedúnculo de caju. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 6, n. 1, p. 10, 2011.
- [6] ARAÚJO, Caio Vitor Marcio et al. Construção de secador solar no semiárido nordestino utilizando materiais recicláveis. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 12, n. 1, p. 21-30, 2021.
- [7] COX, Conde. **O manual de sistemas fuzzy: um guia do praticante para construir, usar e manter sistemas fuzzy** . Academic Press Professional, Inc., 1994.
- [8] MARRO, Alessandro Assi et al. Lógica fuzzy: conceitos e aplicações. **Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)**, p. 2, 2010.
- [9] KRAUSE, Bemhard; VON ALTROCK, Constantin; POZYBILL, Martin. Intelligent highway by fuzzy logic: Congestion detection and traffic control on multi-lane roads with variable road signs. In: **Proceedings of IEEE 5th International fuzzy systems**. IEEE, 1996. p. 1832-1837.
- [10] GILAT, Amos. **MATLAB com aplicações em engenharia**. Bookman Editora, 2009.
- [11] AMENDOLA, Mariangela; SOUZA, AL de; BARROS, Laécio Carvalho. Manual do uso da teoria dos conjuntos Fuzzy no MATLAB 6.5. **FEAGRI & IMECC/UNICAMP**, p. 1-44, 2005.
- [12] COSTA, Antonio Raimundo da Silva. Sistema de secagem solar para frutos tropicais e modelagem da secagem de banana em um secador de coluna estática. 2008.
- [13] GHINI, Raquel. Desinfestação do solo com o uso de energia solar: solarização e coletor solar. **Embrapa Meio Ambiente-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 1997.
- [14] SILVA, Tiago Soares da. **Estudo de um secador solar fabricado apartir de sucata de tambor de polietileno**. 2013. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- [15] NUNES, Antonio Gomes. Desenvolvimento experimental de um secador solar multienergético para secagem de frutas. 2016. Tese de doutorado. Universidade Federal de Campina Grande.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA
Centro de Ciências Exatas e Naturais – CCEN

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às 14 horas e trinta minutos do dia vinte e seis de maio do ano dois mil e vinte e dois, através de um encontro virtual pela plataforma Google Meet usando o link meet.google.com/uns-yfcw-dwk, reuniu-se a Banca Examinadora de defesa de trabalho de conclusão de curso de autoria da aluna **VALDERLÂNDIA MARTA FERREIRA DA SILVA**, estudante do curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia da UFERSA, N° de matrícula 2020011009, com o título **“LÓGICA FUZZY E APLICAÇÕES EM PROBLEMAS RELATIVOS À ENGENHARIA: FUNCIONAMENTO DE UM SECADOR SOLAR.”** A Banca Examinadora ficou assim constituída por três membros: Prof. Dr. Walter Martins Rodrigues, presidente da banca e orientador do Trabalho de Conclusão de Curso; Prof. Dr. Antônio Gomes Nunes e Prof. Dr. Elmer Rolando Llanos Villarreal. Concluída a defesa, procedeu-se o julgamento pelos membros da banca examinadora, tendo sido aprovado o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). E para constar, eu, Walter Martins Rodrigues, lavrei a presente ata que, após lida e aprovada pelos membros da banca examinadora, será assinada por todos.

Mossoró, 26 de maio de 2022.

Assinatura dos membros da Banca Examinadora.

Prof. Dr. Walter Martins Rodrigues – UFERSA
Presidente e orientador

ANTONIO GOMES
NUNES:03241606406

Assinado de forma digital por ANTONIO GOMES NUNES:03241606406
Dados: 2022.05.27 06:38:59 -03'00'

Prof. Dr. Antônio Gomes Nunes – UFERSA
Primeiro Membro

ELMER ROLANDO LLANOS VILLARREAL 21306063850

Assinado de forma digital por ELMER
ROLANDO LLANOS VILLARREAL 21306063850
Dados: 2022.05.26 20:27:26 -03'00'

Prof. Dr. Elmer Rolando Llanos Villarreal – UFERSA
Segundo Membro