



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

ÍTALO EMANNUEL DOS ANJOS SANTOS

**RESFRIAMENTO COM AR FORÇADO EM MANGA
VARIEDADE 'ROSA' COM CONTROLE ON-OFF E LÓGICA
*FUZZY***

**JUAZEIRO-BA
2021**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

ÍTALO EMANNUEL DOS ANJOS SANTOS

**RESFRIAMENTO COM AR FORÇADO EM MANGA
VARIEDADE 'ROSA' COM CONTROLE ON-OFF E LÓGICA
*FUZZY***

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, Campus Juazeiro, como requisito para obtenção do título de mestre.

Orientador: Prof. Dr. Dian Lourençoni

JUAZEIRO-BA
2021

S237f Santos, Ítalo Emmanuel dos.
Fuzzy aplicado em controladores de resfriamento rápido comercial de frutas / Ítalo Emmanuel dos Anjos Santos. – Juazeiro-BA, 2021.
vii, 70 f.: il.; 29 cm.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro, 2021.

Orientador: Prof. Dian Lourençoni

1. Manga - cultivo. 2. Pós-colheita. 3. Armazenamento. 4. Shelf-life. I. Título. II. Lourençoni, Dian. III. Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 634.44

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

FOLHA DE APROVAÇÃO

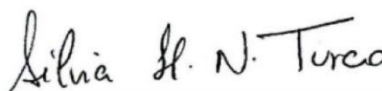
ÍTALO EMANNUEL DOS ANJOS SANTOS

**“RESFRIAMENTO COM AR FORÇADO EM MANGA VARIEDADE “ROSA”
COM CONTROLE ON-OFF E LOGICA FUZZY”**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação *Strito Sensu* em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, como requisito parcial para obtenção do título de mestre.



Dian Lourençoni, Prof. DSc.
(PPGEA/UNIVASF)



Silvia Helena Nogueira Turco, Profa. DSc.
(PPGEA/UNIVASF)



Prof. Dr. Barbara Janet Teruel Mederos
Mestrado 2021-2
PPGEA/UNIVASF

Barbara Janet Teruel Mederos, Profa. DSc.
(UNICAMP/Faculdade de Engenharia Agrícola)



Tadayuki Yanagi Junior, Prof. DSc.
(UFLA/Departamento de Engenharia Agrícola)

Juazeiro-BA, 31 de agosto de 2021.

Aos meus avós (in memoriam), sempre dedico.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por todas as bênçãos e graças alcançadas.

Aos meus avós Evangelista e Dona Tonha, por tudo!

Aos meus pais e irmãs, por todo apoio, felicidade e educação que me deram.

À Dora pelo companheirismo e dedicação em tudo que fazemos.

Ao meu orientador, Prof. Dian, por todos os ensinamentos e conselhos.

À Prof. Silvia Turco, pelo carinho, amizade, apoio e credibilidade que sempre me deu.

Ao Prof. Sérgio Tonetto, pela dedicação, disponibilidade e paciência em toda essa jornada.

Ao Prof. Miguel Guimarães, pela amizade e conselhos em toda a vida.

À UNIVASF e ao PPGEA por toda estrutura fornecida.

À CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

Às colegas do LACRA, Amélia e Carol Sá.

“Se eu soubesse antes, o que sei agora, iria embora antes do final!”
Surfando Karmas & DNA – Engenheiros do Hawaií.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. CAPITULO I	12
2.1. REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1.1. AGRICULTURA INTELIGENTE	12
2.1.2. <i>Internet of Things</i>	14
2.1.3. <i>Big-data</i>	15
2.1.4. Sistemas de inferência <i>fuzzy</i>	17
2.1.5. Controladores <i>fuzzy</i>	19
2.2. Resfriamento de frutas	22
2.3. REFERÊNCIAS	25
3. CAPITULO II	31
3.1. INTRODUÇÃO	32
3.2. MATERIAL E MÉTODOS	33
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
3.4. CONCLUSÕES	47
3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
4. CAPITULO III	53
4.1. INTRODUÇÃO	54
4.2. MATERIAL E MÉTODOS	56
4.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	60
4.4. CONCLUSÕES	68
4.5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	76

1. INTRODUÇÃO

A agricultura está se tornando cada vez mais digital. A utilização de sensores, atuadores, controladores e inteligência artificial está sendo empregada na produção vegetal e animal. Como consequência, é notado o crescimento na produção, porém a população mundial também cresce e carece de alimentos, em taxa mais alta.

A agricultura 4.0 surgiu logo após a indústria 4.0, com emprego de ferramentas digitais para solucionar esses problemas e auxiliar no aumento produtivo, com pensamento ecológico, na preservação da natureza, econômico quando pensado na produção aumentada, e social, quando se trata de levar alimentos às pessoas.

A *Internet das Coisas*, em inglês *Internet of Things (IoT)*, apresenta de forma inovadora a comunicação entre os diversos meios de aferição e controle para ajuste em tempo real dos meios produtivos. Termos envolvendo “taxa variada” são cada vez mais comuns na agricultura, iniciando nas grandes produções de grãos e afetando a fruticultura perene.

A fruticultura ainda é um ramo da agricultura que produz com nível de tecnologia menos avançado que outros ramos, contudo, nos últimos anos, com incentivos à pesquisa e adequação de tecnologias, está avançando. Nos pomares é possível encontrar sensores de umidade do solo, radiação, temperatura, umidade relativa, que auxiliam na assertividade da irrigação, por exemplo.

Apesar de todo o estudo e incentivo, existem processos que ainda são mecânicos ou humanos, o que leva não somente à falha, como também à ineficiência energética e/ou operacional. Um desses processos é a cadeia do frio, que é

responsável pelo resfriamento da fruta, para que seu metabolismo seja reduzido e possa ter maior tempo de prateleira.

Existem diversos meios de resfriamento para fruta, como ar forçado, vácuo, água refrigerada e gelo. Todo sistema de resfriamento trata-se apenas do transporte de calor de um corpo para outro. No resfriamento de frutas, a fonte maior de calor são as frutas.

O sistema com ar forçado utiliza-se de máquinas para resfriar o ar, que é forçado a passar pelas frutas através de um sistema de pressão negativa promovido por exaustores, localizados em parede falsa atrás dos paletes. O ar é forçado a realizar o processo natural de convecção, assim o ar aquecido com o calor das frutas é resfriado no sistema de refrigeração e retorna para o contato com a fruta.

Comumente esse sistema é operado com sistema *on-off*, ou seja, ou funcionando a 100% da capacidade real de funcionamento ou desligado. Esse sistema apresenta alguns problemas, pois o não funcionar à taxa variada pode causar danos às frutas. A passagem de ar resfriado em alta velocidade pela fruta pode promover maior desidratação que a esperada, danos à casca das frutas (*chilling*), além de consumo energético desnecessário. Outro problema que pode ser relatado é o erro humano, que pode acontecer por meio de aferições de temperatura com auxílio de termômetros, comumente simples, sem calibração ou qualquer garantia de funcionamento, e a tomada de decisão do operador em desligar ou não o sistema.

No intuito de resolver os problemas provocados no binário 0 ou 1, ligado ou desligado, o conjunto matemático de inferência *fuzzy*, apresenta-se como uma alternativa. Nele são definidos termos com base no conhecimento técnico/científico

para entrada e saída dos dados, e posteriormente são criadas regras. Esse conjunto possui três etapas: inserção/coleta de dados, inferência e desfuzzificação.

Controladores operados por linguagem *fuzzy*, podem operar à taxa variada, uma vez que sua interpretação sobrepõe a lógica comum (0 ou 1), podendo ser atribuídos valores como 0,75, 0,003, e assim por diante.

Esses controladores podem ser utilizados para reduzir os desperdícios, tanto energéticos quanto de produção. Um sistema integrado com medições em tempo real de temperatura, tanto da fruta quanto do ambiente, comunicando com um controlador utilizando linguagem *fuzzy*, controlando sistema de inversores de frequência para reduzir ou aumentar as rotações dos ventiladores, além de controlar o resfriamento, poderia auxiliar em algumas tomadas de decisão e na oferta de informações para rastreio.

Assim, essa pesquisa torna-se necessária pois a dará subsídios para empregabilidade de controladores inteligentes ao resfriamento de frutas, de forma que possam reduzir os desperdícios tanto em fruta perdida por danos devido ao calor e gasto energético.

2. CAPITULO I

2.1. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1.1. AGRICULTURA INTELIGENTE

A agricultura emprega mais de um terço da população mundial e é considerada a espinha dorsal da economia de muitos países menos desenvolvidos e contribui para prosperidade dos países mais desenvolvidos. A produção de alimentos deve superar o aumento de sessenta por cento para suprir a demanda da população mundial, na tendência do crescimento urbano (LAKHIAR et al., 2015).

Nos anos de 1800, a população mundial era cerca de um bilhão de pessoas. No ano de 2012, foi verificado o crescimento de 600%, superando 7 bilhões de pessoas. A taxa de crescimento populacional deve ser seguida da oferta de alimentos (LAKHIAR et al., 2015), com estimativa de ultrapassar 9,7 bilhões de habitantes, em 2050 (NEVES et al., 2020).

O emprego de tecnologias voltadas para o campo possibilita o aumento de produção e oferta, porém essas tecnologias acompanham a evolução industrial. No início do cultivo pelo homem, materiais feitos de ferro e madeira eram tecnológicos para a época. Hoje em dia, máquinas autônomas guiadas por inteligência artificial e posicionamento global, são mais comuns que essas ferramentas manuais antigas (TANG et al., 2002).

A agricultura digital ou agricultura 4.0 é uma tendência global para os próximos anos e décadas. O pensamento contemporâneo em melhores formas de preservação da natureza, qualidade de vida, economia sustentável e produção sustentável está na

mesma direção do desenvolvimento de novas tecnologias (MASSRUHÁ; LEITE, 2017).

Ao tempo em que os processos e máquinas agrícolas são aprimorados, o intervalo entre o evento e a tomada de decisão fica menor, concomitante à margem para erros. Com isso, a dependência de informações rápidas tornou-se maior. A necessidade de informações confiáveis e precisas impulsionam pesquisas e desenvolvimentos para sistemas que capturem, analisem, processem e controlem operações com esses dados (HASHEM et al., 2015).

Termos como inteligência artificial, *big-data*, *machine learning*, robótica e *IoT* são cada vez mais encontrados em trabalhos voltados para agricultura, resultando em conceitos como Agricultura 4.0, *Smart Farm* (SF), Agricultura Inteligente (AI), entre outros (KLERKX; JAKKU; LABARTHE, 2019). Esses conceitos são aplicados a diversas áreas da agricultura, no intuito de melhorar as práticas e elevar a produtividade de produção e pós-produção agrícola (WOLFERT et al., 2017).

O conceito de AI é ilustrado na figura 01, em que dispositivos inteligentes (IoT) realizam coleta de dados em grande quantidade em processos ou atividades, que são analisadas e processadas por um sistema de conhecimento, e controlam máquinas ou equipamentos autônomos. Com isso, é esperado que a tomada de decisão humana seja cada vez mais assistida por sistemas inteligentes (WOLFERT et al., 2017).

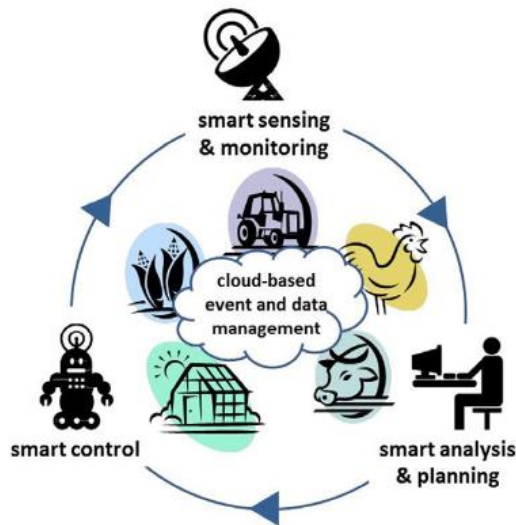


Figura 01: O ciclo de gestão da agricultura inteligente baseado em nuvem e gestão de dados (WOLFERT et al., 2017).

2.1.2. Internet of Things

A *internet* das coisas ou *Internet of Things*, foi apresentada no ano de 1999, em uma apresentação sobre RFID (*Radio-Frequency IDentification*) e cadeia de suprimento da P&G (KEVIN ASTHON, 2010). Trata-se de uma extensão da *internet* comum, porém aplicada a objetos do dia-a-dia, permitindo avanço nas habilidades de comunicação umas com as outras, uso de serviços, proventos de dados e reação à eventos (SANTOS et al., 2016).

A *IoT* pode ser vista como a combinação de diversas tecnologias, constituída de blocos básicos de identificação, sensores/atuadores, comunicação, computação, serviços e por fim, semântica (SANTOS et al., 2016).

A unidade básica de um *hardware IoT* apresenta ao menos uma unidade de processamento, unidade de memória, unidade de comunicação e unidade de

sensores/atuadores. Os objetos com essas características são chamados de *Smart Objects* (MATTERN; FLOERKEMEIER, 2010).

Pode ser usada em diferentes níveis da cadeia agroindustrial, auxiliando a aquisição de dados referentes, por exemplo, às condições de solo, condições atmosféricas, vibrações, choques em produtos, entre outras grandezas, e está sendo amplamente estudada (MEDELA et al., 2013).

Ruan & Shi (2016) apresentaram, como exemplo de *IoT* aplicada ao agronegócio, um *framework* baseado nessa tecnologia para avaliar o quão fresco as frutas estariam na entrega de uma *e-commerce* de *delivery* de frutas. CAPELLO; TOJA; TRAPANI (2016) estudaram uma aplicação de *IoT* para serviço de monitoramento em tempo real de produtos do campo ao consumidor.

Ibbs & Dave Evans (2011) apresentam a forma de monitoramento de vacas, por *IoT*, por meio de sensores na orelha dos animais, sendo possível acompanhar seus movimentos, hábitos e saúde, possibilitando tomada assertiva de decisão no melhoramento da qualidade da carne oferecida. O autor trata ainda da quantidade de informação que é gerada pelo animal, cerca de 200 *megabytes* por ano. Sendo esse grande volume de dados responsável pelo surgimento do conceito de *Big-data*.

2.1.3. Big-data

O termo *Big-data* refere-se a um conjunto de dados que as técnicas comuns não são capazes de armazenar e processar, perdendo eficiência e rendimento. Para trabalhos com volumes tão extensos, devem haver outras tecnologias, técnicas e algoritmos que possibilitam extração de valor e conhecimento dessas informações

(MASSRUHÁ, 2015). Esse conceito possui, segundo alguns autores, três pilares: volume, velocidade e variedade (AZAMBUJA; GRANVILLE; SARMENTO, 2020). No entanto, por outros autores, são 5 os pilares, acrescentando veracidade e valor (DUTRA; MACEDO, 2016; LUZ et al., 2018).

O pilar volume refere-se à grande quantidade de dados armazenados, como áudio, vídeo, imagens, dados de posicionamento, dados de sensores, entre outros (KHAN; UDDIN; GUPTA, 2014). Velocidade é relacionada com a alta taxa de geração de informação armazenada e processada (ISHWARAPPA; ANURADHA, 2015). A variedade remonta aos tipos de dados armazenados, como texto, imagens e vídeos de diversas fontes. Também se refere à estrutura dos dados, estruturados e não estruturados, quando estão alocados em forma de tabela e quando não possuem grande variedade de informações, respectivamente (SARTORELLI et al., 2019).

Em *big-data*, mais de 90% dos dados são não estruturados (ISHWARAPPA; ANURADHA, 2015). O termo veracidade é dado pela necessidade da veracidade dos dados, da autenticidade imprescindível. Esse termo é determinante para assertividade na tomada de decisão (SAHOO; RAUTARAY; PANDEY, 2018). Por fim, o termo valor é referente ao real valor agregado pelo *big-data* na organização (KHAN; UDDIN; GUPTA, 2014).

Porém, ao longo do tempo, outros pilares surgiram na literatura. Khan et al. (2014) apresentaram outros dois pilares, validade e volatilidade e no ano de 2018, Sahoo et al. (2018) apresentaram outros dois pilares, visualização e variabilidade, somando 9 pilares no total (SARTORELLI et al., 2019).

2.1.4. Sistemas de inferência *fuzzy*

Na teoria clássica, o objeto deve pertencer a um universo ou outro. Ou seja, ou ele pertence a um universo U ou não pertence aquele universo U (Equação 01). Na teoria dos conjuntos *fuzzy*, o pertencimento não é representado na forma binária (0 ou 1), está no conceito de grau de pertinência, no qual um objeto pode ter grau de pertencimento com variação entre 0 e 1.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{se } x \in U \\ 0, & \text{se } x \notin U \end{cases} \quad (01)$$

Na figura 02 são ilustradas três funções de pertinência *fuzzy*, sendo triangular, gaussiana e trapezoidal. Nas funções triangulares e gaussianas observa-se o valor máximo de pertinência em um ponto (x), porém na trapezoidal, o grau de pertencimento varia entre a e b .

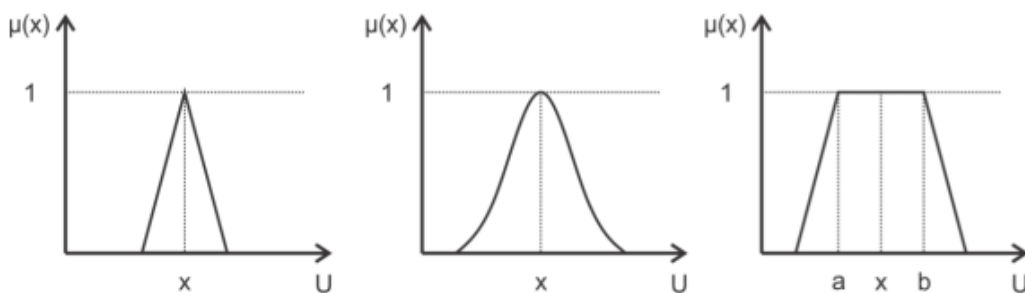


Figura 02: Graus de pertinência em três funções da teoria dos conjuntos *fuzzy*, sendo elas (a) triangular, (b) gaussiana e (c) trapezoidal (DE ANDRADE; DA SILVA, 2010).

Logo, o grau de pertencimento dessa teoria é de acordo com a equação 02.

$$A = \{ (x, \mu_A(x)) \mid x \in U \} \quad (02)$$

As regras são definidas por métodos. O método mais usual é o de antecedentes e consequentes. O primeiro representa as condições do sistema inicialmente e o segundo indica os resultados para essas condições. O sistema de inferência *fuzzy* permite a inclusão de regras. Essas regras são ponderadas de acordo com o grau de importância, dado pelo programador (ZADEH, 1965). Assim, esse sistema pode ser representado em 3 etapas: fuzzificação, inferência e defuzzificação (Figura 03).

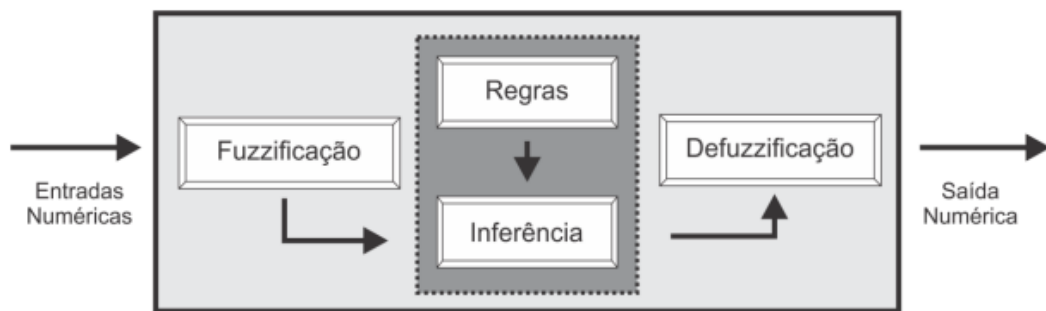


Figura 03: etapas do sistema de inferência *fuzzy* (DE ANDRADE; DA SILVA, 2010).

A primeira etapa consiste na inserção de dados numéricos como entrada. Esses dados são relacionados a variáveis linguísticas que os representam e seus respectivos graus de pertinência. Assim, variáveis numéricas são transformadas em variáveis linguísticas determinadas pelo programador, como por exemplo, quente, frio, gelado, morno, etc. Logo após, são associados os graus de pertencimento.

Na inferência, as operações com as variáveis linguísticas são realizadas para resultar em valores de saída, também linguísticos, de acordo com as regras estabelecidas por um especialista.

Na última etapa, defuzzificação, ocorre a interpretação do conjunto a fim de determinar valores numéricos, ou seja, acontece o inverso da primeira etapa, em que

variáveis numéricas são transformadas em linguísticas, nesta etapa as variáveis linguísticas de saída geram valores numéricos.

A importância da utilização está na transição gradual entre os estados, possuindo capacidade natural para expressar e lidar com dados incertos (ONOFRE FILHO, 2011).

2.1.5. Controladores *fuzzy*

Nos controladores convencionais, o algoritmo de controle é descrito por expressões matemáticas algébricas ou diferenciais. No controle *fuzzy*, são utilizadas regras lógicas com intenção de descrever a experiência humana, intuição e heurística (ZADEH, 1965).

O processo segue três passos, sendo o primeiro a especificação das variáveis de entrada e saída e sua fuzzificação, após são definidos os conjuntos de regras, onde pode ser determinado o método de desfuzzificação e, então, são realizados os testes para verificação do sistema (BRITO, 2015).

Esses controladores, de acordo com Guerra et al. (1998), são robustos, possuem fácil adaptação e incorporam conhecimento que os demais não possuem. São versáteis, principalmente, para sistemas em que as expressões são complexas, como sistemas não lineares e de alta incerteza, como a natureza.

É importante, para um controle *fuzzy*, que existam regras suficientes para mapear completamente as combinações nos termos das variáveis, ou seja, que todas as combinações possíveis estejam representadas por regras. Os conectores das

regras são conectivos lógicos, dados pelo operador de conjunção (e) e o operador de disjunção (ou). No geral, as regras possuem forma de múltiplas entradas e saídas (MIMO) mas podem ser transformadas a múltiplas entradas e uma saída (MISO) (BRITO, 2015).

Os controladores *fuzzy* encontrados na literatura são os modelos clássicos, compreendendo o modelo de Mamdani e Larsen, além dos modelos de interpolação Takagi-Sugeno e Tuskamoto (LEE, 1990).

Para modelagem da base de regras, foi proposto por (MAMDANI; ASSILIAN, 1975) uma relação *fuzzy* binária M entre as entradas x e as saídas u , cuja função de pertinência está descrita como segue: em cada uma das regras da base de regras *fuzzy*, adota-se o operador matemático mínimo para o conectivo lógico “e” e o operador máximo para o conectivo “ou”. Sendo que as sentenças “SE ... ENTÃO ...” são modeladas pela aplicação do operador mínimo.

A função de pertinência então é dada pela equação 03:

$$\varphi_M(x, u) = \text{máximo}_{1 \leq j \leq n} \{ \text{mínimo}[\varphi_{A_j}(x), \varphi_{B_j}(u)] \} \quad (03)$$

Em que n é o número de regras que compõem a base e $\varphi_{A_i}(x)$ e $\varphi_{B_i}(u)$ são os graus com que x e u pertencem aos conjuntos *fuzzy* A_j e B_j , respectivamente.

Desta forma, de maneira genérica, para um conjunto de n regras, o modelo de Mamdani é representado pela equação 04:

$$R_j: \text{SE } x_1 \text{ é } A_{1j} \text{ e } x_2 \text{ é } A_{2j} \text{ e } \dots \text{ e } x_k \text{ é } A_{kj} \text{ ENTÃO } u \text{ é } B_j \\ j = 1, 2, \dots, n \quad (04)$$

Em que R_j é a j -ésima regra, x_1, x_2, \dots, x_k são as variáveis de entrada, $A_{1j}, A_{2j}, \dots, A_{kj}$ são os conjuntos *fuzzy* correspondentes às variáveis de entrada, u é a variável de saída e B_j é o conjunto *fuzzy* correspondente à variável de saída.

O método de Mamdani pode ser descrito pela figura 04.

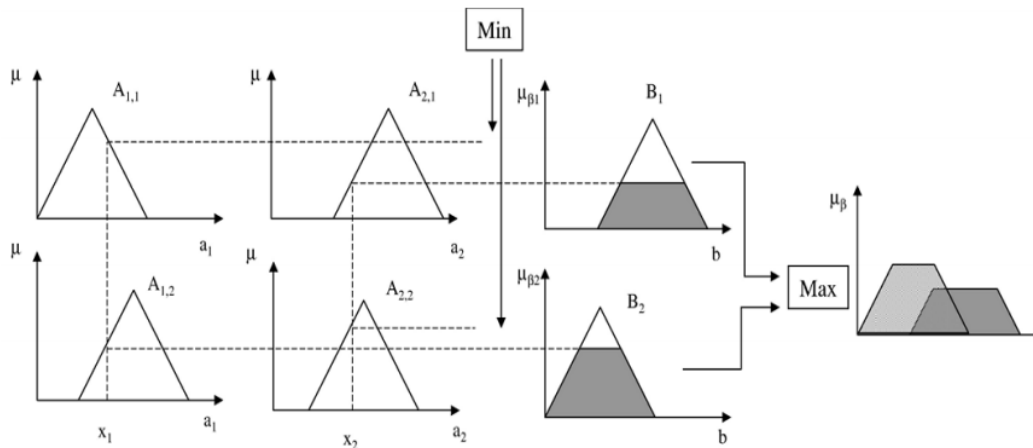


Figura 04: Inferência *máximo-mínimo* para o modelo de Mamdani (SABOYA; DA GLÓRIA ALVES; DIAS PINTO, 2006).

Uma vez obtido o conjunto *fuzzy* de saída através do processo de inferência, no estágio de defuzzificação é efetuada uma interpretação dessa informação. Isto se faz necessário, pois, em aplicações práticas, geralmente são requeridas saídas precisas. No caso de um sistema de controle, por exemplo, em que o controle é efetuado por um sistema de inferência *fuzzy* (ou controlador *fuzzy*), este deve fornecer os dados ou sinais precisos, já que a "apresentação" de um conjunto *fuzzy* à entrada não teria significado algum (BRITO, 2015)

Para a defuzzificação, são mais comuns os métodos de centro de gravidade e a média dos máximos. Neste, a saída precisa é obtida tomando-se a média entre os dois elementos extremos no universo que correspondem aos maiores valores da função de pertinência do consequente (SOUZA, 2018).

O método do centro de gravidade é semelhante à média aritmética para uma distribuição de dados, com a diferença que os pesos são valores $\varphi_B(u_i)$ que indicam o grau de compatibilidade do valor u_i com o conceito modelado pelo conjunto *fuzzy* de saída B (MARTINS, 2014). A defuzzificação de B para um domínio discreto é dada pela equação 5:

$$D(B) = \frac{\sum_{i=0}^n u_i \varphi_B(u_i)}{\sum_{i=0}^n \varphi_B(u_i)} \quad (05)$$

E para um domínio contínuo pela equação 06:

$$D(B) = \frac{\int u_i \varphi_B(u_i) du}{\int \varphi_B(u_i) du} \quad (06)$$

Por fim, a demanda por controladores inteligentes provém da necessidade da aplicação em sistemas não lineares.

2.2. Resfriamento de frutas

Após a colheita, os produtos frescos iniciam imediatamente o processo de deterioração, que tem forte dependência da temperatura. Então, o produto deve ser resfriado rapidamente, e uma das técnicas pós-colheita mais utilizadas para remover o calor rapidamente é o resfriamento por ar forçado (DEHGHANNYA ET AL., 2010; KADER, 2002).

Durante o resfriamento, o ar frio é succionado por meio dos orifícios das caixas empilhadas no palete, e passa sobre o produto, removendo o calor das frutas. À proporção que a velocidade do fluido de resfriamento aumenta, a transferência de calor torna-se mais rápida. Entretanto, é fundamental que o sistema seja bem dimensionado para atender às necessidades do produto sem transferência de massa e alto consumo de energia, que influenciará no custo final do produto (KADER, 2002; CASTRO et al., 2005).

Por meio do perfil de temperatura monitorado no centro da polpa da fruta, é avaliada a taxa de resfriamento. Partindo desses perfis de temperatura, pode-se determinar a mudança fracionária de temperatura não realizada (DEFRAEYE et al., 2015).

Pode-se determinar o tempo de resfriamento através do cálculo da Taxa Adimensional de Temperatura (TAT) (equação 07), que relaciona a temperatura da polpa do produto (T_p), temperatura do meio de resfriamento (T_a) e temperatura inicial do produto (T_i) (MOHSENIN, 1980).

$$TAT = \frac{T_p - T_a}{T_i - T_a} \quad (07)$$

Esta equação pode ser aplicada quando se tem conhecimento dos valores de temperatura no processo de resfriamento, plotando em um gráfico adimensional os valores da TAT. Assim, quando a curva atingir o valor de 0,5, terá sido encontrado o tempo de meio resfriamento, e quando o valor de 0,125 for alcançado, terá o tempo de sete oitavos de resfriamento (TERUEL, 2008). Este último indica o momento que poderá ocorrer a transferência do produto do túnel de resfriamento para a câmara fria, e assim retirar o calor restante gradualmente, com menor custo.

Apesar do uso difundido em todo o mundo, um problema encontrado neste método de resfriamento em escala comercial é a heterogeneidade de resfriamento entre as frutas localizadas na mesma caixa, entre caixas diferentes em um mesmo palete e até mesmo entre diferentes paletes em docas específicas (DEFRAEYE et al., 2013 , DELELE et al., 2008 , FERRUA & SINGH, 2009a , FERRUA & SINGH, 2009b, FERRUA & SINGH, 2009c , FERRUA & SINGH, 2011 , O'SULLIVAN et al., 2016).

Entre os principais problemas de qualidade pós-colheita de frutas está o encolhimento da superfície devido à perda de umidade rápida (FAWOLE & OPARA, 2013; ARENDSE et al., 2014). Além da redução de peso e valor comercial reduzido, visto que a aparência também é afetada (PATHARE et al., 2013).

A taxa de perda de umidade aumenta quando há grande déficit de pressão de vapor entre o ar circundante e a superfície da fruta. Para reduzir a perda de água faz-se o uso de embalagens adequadas, controle da temperatura e umidade relativa (XU & BURFOOT, 1999; HAMDAMI et al., 2004; PAULL, 1999; DELELE et al., 2009a; WAELTI, 2010; MONTERO-CALDERON & CERDAS-ARAYA, 2012).

2.3. REFERÊNCIAS

ALAM, S. M. K. et al. Postharvest loss assessment of mango at different stages of supply chain through traditional and improved handling practices. **Advances in Plants & Agriculture Research**, v. 9, n. 3, p. 384–388, 2019.

AMBUKO, J. et al. Postharvest shelf life of mango fruits stored in a Coolbot™ cold room. **Acta Horticulturae**, v. 1225, p. 193–197, 2018.

ARENDSE, E.; FAWOLE, O.A.; OPARA, U. L. Influência da temperatura de armazenamento e duração nas propriedades físico-químicas e mecânicas pós-colheita de arilos de frutos de romã CYTA - *J. Food* , 12 (2014) , pp. 389 – 398

AUXILIADORA, M. et al. Época De Aplicação Pós-Colheita De 1-Metilciclopropeno E Frigoarmazenamento Na Vida Útil De Manga ‘ Tommy Atkins ’ 1 Storage on Shelf Life of ‘ Tommy Atkins ’ Mango Fruit. v. 5, p. 445–450, 2007.

AYELE, L. et al. Postharvest Ripening and Shelf Life of Mango (*Mangifera indica* L.) Fruit as Influenced by 1-Methylcyclopropene and Polyethylene Packaging. **Ethiop. J. Agric. Sci.**, v. 22, n. January, p. 26–44, 2012.

AZAMBUJA, A. J. G.; GRANVILLE, L. Z.; SARMENTO, A. G. M. A privacidade, a segurança da informação e a proteção de dados no Big Data. **Parcerias Estratégicas**, v. 24, n. 48, p. 9–32, 2020.

BRITO, T. S. P. Desenvolvimento De Um Controlador Pid-Fuzzy Desenvolvimento De Um Controlador Pid-Fuzzy. 2015.

CAPELLO, F.; TOJA, M.; TRAPANI, N. A real-Time monitoring service based on industrial internet of things to manage agrifood logistics. **ILS 2016 - 6th International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain**, n. June, 2016.

CASTRO, L. R. VIGNEAULT, C.; CORTEZ, L. A. Effect of container openings and airflow rate on energy required for forced-air cooling of horticultural produce. *Canadian Biosystem Engineering*, Canada, n.21, p.3.1-3.9, 2005.

DE ANDRADE, L. C. M.; DA SILVA, I. N. Very short-term load forecasting using a hybrid neuro-fuzzy approach. **Proceedings - 2010 11th Brazilian Symposium on Neural Networks, SBRN 2010**, p. 115–120, 2010.

DEFRAEYE, T.; LAMBRECHT, R.; AMBAW, A.; DELELE, M. A.; OPARA, U. L.; CRONJÉ, P. Resfriamento por convecção forçada de frutas cítricas: desenho da embalagem
Journal of Food Engineering , 118 (1) (2013) , pp. 8 – 18

DEFRAEYE, T.; VERBOVEN, P.; OPARA, U. L.; NICOLAI, B.; CRONJÉ, P. Viabilidade de carregamento ambiental de frutas cítricas em contêineres refrigerados para resfriamento durante o transporte marítimo *Engenharia Biosystems* , 134 (2015) , pp. 20 – 30

DEGHANNYA, J.; NGADI, M.; VIGNEAULT, C. Procedimentos de modelagem matemática para fluxo de ar, transferência de calor e massa durante o resfriamento por convecção forçada do produto: uma revisão
Engenharia de Alimentos reviwes , 2 (4) (2010) , pp. 227 – 243

DUTRA, M. L.; MACEDO, D. D. J. DE. Curadoria digital: proposta de um modelo para curadoria digital em ambientes big data baseado numa abordagem semi-automática para a seleção de objetos digitais. **Informação & Informação**, v. 21, n. 2, p. 143, 2016.

FAWOLE, O. A.; OPARA, U. L. Efeitos da temperatura de armazenamento e duração nas respostas fisiológicas da fruta da romã *Ind. Crop. Prod.* , 47 (2013) , pp. 300 – 309

GUERRA, R. et al. LÓGICA NEBULOSA. p. 337–342, [s.d].
HAN, J. W. et al. CFD Simulation of Airflow and Heat Transfer During Forced-Air Precooling of Apples. **Journal of Food Process Engineering**, v. 40, n. 2, p. 1–11, 2017.

HAMDAMI, N.; MONTEAU, J. Y., LE BAIL, A. Simulação de transferência de calor e massa acoplada durante o congelamento de uma matriz úmida porosa *Int. J. Refrig.*, 27 (2004) , pp. 595 – 603

HAN, J. W. et al. Numerical modeling of forced-air cooling of palletized apple: Integral evaluation of cooling efficiency. **International Journal of Refrigeration**, v. 89, p. 131–141, 2018.

HASHEM, I. A. T. et al. The rise of “big data” on cloud computing: Review and open research issues. **Information Systems**, v. 47, p. 98–115, 2015.

HILUEY, L. J. et al. AVALIAÇÃO DO RENDIMENTO DO FRUTO , COR DA CASCA

E POLPA DE MANGA TIPO ESPADA SOB ATMOSFERA MODIFICADA the average values were compared by Turkey ' s test . In conclusion , the results proved that the use of not perforated PVC film , provided a modified at. p. 151–157, 2005.

IBSG, C.; DAVE EVANS, A. Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG) A Internet das Coisas Como a próxima evolução da Internet está mudando tudo. 2011.

ISHWARAPPA; ANURADHA, J. A brief introduction on big data 5Vs characteristics and hadoop technology. **Procedia Computer Science**, v. 48, n. C, p. 319–324, 2015.

KADER, A. Tecnologia pós-colheita de culturas hortícolas (3ª ed) , University of California, Division of Agriculture and Natural Resources , Oakland (2002)

KEVIN ASTHON. That ' Internet of Things ' Thing. **RFID Journal**, p. 4986, 2010.

KHAN, M. A. U. D.; UDDIN, M. F.; GUPTA, N. Seven V's of Big Data understanding Big Data to extract value. **Proceedings of the 2014 Zone 1 Conference of the American Society for Engineering Education - "Engineering Education: Industry Involvement and Interdisciplinary Trends"**, ASEE Zone 1 2014, 2014.

KLERKX, L.; JAKKU, E.; LABARTHE, P. A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**, v. 90–91, n. October, p. 100315, 2019.

LAKHIAR, I. A. et al. Evaluación del sistema de raíz flotante para la obtención de semilla de papa (*Solanum tuberosum* L.) de calidad. Cutuglagua, Pichincha. **Vida rural**, v. 2018, n. 947, p. 23–32, 2015.

LEE, C. C. **Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller, Part III** IEEE **Transactions on Systems, Man and Cybernetics**, 1990.

LOPES, I. U. G. et al. 1 resumo. p. 443–457, 2017.

LUZ, D. P. DA et al. Os processos cognitivos e de criação do conhecimento para tomada de decisão no contexto do big data. **Revista Inteligência Competitiva**, v. 8, n. 1, p. 80–107, 2018.

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.

MARTINS, M. A. DESENVOLVIMENTO DE FUNÇÕES DE LÓGICA DIFUSA PARA PLC. **Dissertação de mestrado. Instituto Superior de Engenharia do Porto.**, 2014.

MASSRUHÁ, S. M. F. S. O papel na agricultura. **AgroANALYSIS**, v. 35, p. 29–31, 2015.

MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. DE A. Agro 4.0 – Rumo à Agricultura Digital. **JC na Escola Ciência, Tecnologia e Sociedade: Mobilizar o Conhecimento para Alimentar o Brasil**, p. 28–35, 2017.

MATTERN, F.; FLOERKEMEIER, C. From the internet of computers to the internet of things. **Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)**, v. 6462 LNCS, p. 242–259, 2010.

MEDELA, A. et al. IoT multiplatform networking to monitor and control wineries and vineyards. **2013 Future Network and Mobile Summit, FutureNetworkSummit 2013**, n. January 2013, 2013.

NEVES, M. F., et al. Estratégias para Conquistar a Posição de Fornecedor Mundial Sustentável de Alimentos, Bioenergia e outros Agro-Produtos. *Revista Agronomia Brasileira*. Volume 4, 2020.

NTSOANE, M. L. et al. Quality assesment and postharvest technology of mango: A review of its current status and future perspectives. **Scientia Horticulturae**, v. 249, n. September 2018, p. 77–85, 2019.

ONOFRE FILHO, M. DE P. LÓGICA FUZZY PARA CONTROLE DE pH EM UM PROCESSO PETROLÍFERO. **Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte**, 2011.

O'SULLIVAN, J.; FERRUA, M.; R. LOVE, R.; P. VERBOVEN, P.; NICOLAI, B.; EAST, A. Modelagem dos mecanismos de resfriamento de ar forçado e desempenho de produtos hortícolas polilinhados Pós-colheita *Biologia e Tecnologia* , 120 (2016) , pp. 23 – 35

PATHARE, B. P.; UL OPARA, U.L.; AL-SAID, F. A. Medição e análise de cor em alimentos frescos e processados: uma revisão Food Bioprocess Technol. , 6 (2013) , pp. 36 – 60

PAULL, R. E. Efeito da temperatura e umidade relativa na qualidade do produto fresco
Postharvest Biol. Technol. , 15 (1999) , pp. 263 - 277

PEREIRA, M. E. C. et al. Aplicação de revestimento comestível para conservação pós-colheita da manga “tommy atkins” em temperatura ambiente. **Congresso Brasileiro E Fruticultura**, v. 6, 2004.

RUAN, J.; SHI, Y. Monitoring and assessing fruit freshness in IOT-based e-commerce delivery using scenario analysis and interval number approaches. **Information Sciences**, v. 373, p. 557–570, 2016.

SABOYA, F.; DA GLÓRIA ALVES, M.; DIAS PINTO, W. Assessment of failure susceptibility of soil slopes using fuzzy logic. **Engineering Geology**, v. 86, n. 4, p. 211–224, 2006.

SAHOO, M.; RAUTARAY, S. S.; PANDEY, M. The Emergence of Big Data : A Survey. **International Journal of Computer Science and Mobile Applications**, v. 6, p. 23–32, 2018.

SANTOS, B. P. et al. Internet das Coisas: da Teoria à Prática. **Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos.**, p. 50, 2016.

SARTORELLI, P. E. et al. Um Panorama De 20 Anos Do Big Data : n. Tabela 1, 2019.

SINGH, N. P. et al. Physico-chemical characterization of unexploited mango diversity in sub-mountane zone of northern India. **Indian Journal of Plant Genetic Resources**, v. 25, n. 3, p. 261–269, 2012.

SINGH, Z. et al. Mango - Postharvest Biology and Biotechnology. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 32, n. 4, p. 217–236, 2013.

SOUZA, B. P. D. E. Gerenciamento de energia através da lógica fuzzy em um sistema híbrido isolado de geração de energia. 2018.

SUDHAKAR RAO, D. V.; GOPALAKRISHNA RAO, K. P. Controlled atmosphere storage of mango cultivars “Alphonso” and “Banganapalli” to extend storage-life and maintain quality. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 83, n. 3, p. 351–359, 2008.

TANG, S. et al. A conception of digital agriculture. **International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)**, v. 5, n. C, p. 3026–3028, 2002.

TERUEL M., B. J.; SILVEIRA, P.; MARQUES, F.; CAPPELLI, N. Interface homem máquina para controle de processos de resfriamento com ar forçado visando à economia de energia. *Revista Brasileira Ciência Rural*, Santa Maria, v.38, n.3, p.705-710, 2008.

WAEELTI, H. Gerenciamento de umidade em armazenamentos CA. Centro de Pesquisa e Extensão WSU Tree Fruit Postharvest Information Network (2010)

WATANAWAN, C. et al. Near infrared spectroscopic evaluation of fruit maturity and quality of export Thai mango (*Mangifera indica* L. var. Namdokmai). **International Food Research Journal**, v. 21, n. 3, p. 1109–1114, 2014.

WOLFERT, S. et al. Big Data in Smart Farming – A review. **Agricultural Systems**, v. 153, p. 69–80, 2017.

ZADEH, L. A. Fuzzy Sets. **Information and control**, v. 8, p. 338–353, 1965.

3. CAPITULO II

LÓGICA *FUZZY* NO RESFRIAMENTO EFICIENTE DE FRUTAS - PARTE 1

RESUMO

A agricultura digital utiliza diversos artifícios tecnológicos para solucionar problemas nos processos, tornando os controladores digitais cada vez mais usuais, o que torna a lógica *fuzzy* uma ferramenta para melhoria do controle industrial e agrícola. Diante do exposto, objetivou-se com o presente trabalho avaliar a eficiência de um controlador *fuzzy* aplicado a um sistema de resfriamento de manga rosa. O sistema *fuzzy* desenvolvido pelo método de inferência de Mandani, realizava a leitura das temperaturas do ar (Tar) e de polpa (Tp), variáveis de entrada representadas por curvas de pertinência triangular e como variável de saída a taxa de potência (Pot) também representada por curvas de pertinência triangulares. Sistema embarcado em Arduíno ao qual modifica-se diretamente a velocidade e o fluxo de ar no resfriamento da manga. Como resultado, o sistema de controle *fuzzy* – FCS promoveu acréscimo de 22% no tempo para resfriar a mesma quantidade de frutas que o *on-off* – CCS, porém não incrementou índice de desidratação e obteve economia de energia de 26%. Por fim, o FCS pode ser aplicado ao agronegócio no intuito de reduzir o consumo de energia elétrica, promovendo redução no custo por unidade de peso de fruta e automatizar o processo de resfriamento.

Palavras chave: *Fuzzy*, inversor de frequência, resfriamento, controlador.

ABSTRACT

Digital agriculture uses various technological devices to solve problems in processes, making digital controllers increasingly common, which makes fuzzy logic a tool for improving industrial and agricultural control. Given the above, this work aimed to evaluate the efficiency of a fuzzy controller applied to a cooling system of mango 'rosa'. The fuzzy system developed by the Mandani inference method, read the temperatures of air (Tar) and pulp (Tp), input variables represented by triangular pertinence curves and as output variable the power rate (Pot) also represented by triangular pertinence curves. The system was embedded in Arduino, which directly modified the speed and airflow in the sleeve cooling. As a result, the fuzzy control system - FCS promoted an increase of 22% in time to cool the same amount of fruit as the conventional - CCS, but did not increase the rate of dehydration and obtained energy savings of 26%. Finally, the FCS can be applied to agribusiness in order to reduce the consumption of electricity, promoting cost reduction per unit weight of fruit and automate the cooling process.

Keywords: *Fuzzy*, inverter, cooling, controller.

3.1. INTRODUÇÃO

A indústria 4.0 é descrita como máxima atuação conhecida e pensada de tecnologia aplicada no setor. A aplicação tem por potencial a aceleração de processos e tomadas de decisões mais assertivas, rápidas e, sobretudo, eficientes (SCHUH et al., 2017). Essa revolução tecnológica também influencia mudanças no campo. Manyika et al. (2017) projetaram que até o ano de 2055, metade de todas as atividades praticadas hoje poderão ser automatizadas. Máquinas, equipamentos, sensores e atuadores serão preponderantes para garantia de uma atividade mais eficiente e segura (BASSOI et al., 2019).

Termos como *Big-data*, *IoT*, robótica, Inteligência Artificial são cada vez mais frequentes no campo, formando o conjunto conhecido como Agricultura Digital (AD). Essa revolução é relacionada diretamente em gestão baseada em dados. Informações essas que são dadas por uma série de sensores que aferem as mais diversas condições do ambiente e transformam em dados.

Na literatura existem diversos modelos de controladores, sendo o mais utilizado na indústria os controladores *on-off*, baseados na lógica clássica. Gouda, Danaher & Underwood (2000) verificaram que esses controladores podem assumir apenas duas posições fixas, 0 ou 1, dependendo do valor do erro ($e(t)$).

O PID – Controlador Proporcional-Integrativo-Derivativo é uma tecnologia versátil e é amplamente utilizado na indústria devido a sua estabilidade do sistema e maior sensibilidade (KAZEMIAN, 2005; DEBNATH et al., 2020). Porém, utiliza lógica clássica, em que o estado deve pertencer a um ou outro conjunto (MATIELLO, 2014). Essa lógica de pertencimento inflexível, sem a existência de um meio termo é insuficiente para controles de sistemas não lineares (KAZEMIAN, 2005).

A lógica clássica não se aplica completamente à problemas não lineares, para tanto surgiram os conceitos dos conjuntos *fuzzy* (ZADEH, 1965; MAMDANI & ASSILIAN, 1975). Essa linguagem permite flexibilização da fronteira dos conjuntos, permitindo a existência de estados de transição. Essa lógica é amplamente utilizada na indústria desde seu desenvolvimento e necessita do conhecimento específico do programador na área (TOBI & HANFUSA, 1991).

Câmaras de resfriamento são salas frigoríficas com sistema de ar forçado para promover o rápido resfriamento de frutas, dando início à cadeia do frio hortícola (THOMPSON et al., 2010). Esses sistemas são comumente operados com controladores convencionais de modelo *on-off*, em que acionam motores elétricos a fim de promover o resfriamento mais rápido (ANYAWU, 2004). Sistemas como estes são comuns em propriedades e apresentam alta demanda energética.

Para elevar a máxima eficiência, com demanda próxima à necessária, o emprego de inversores de frequência se torna indicado. Fingini (1982) relatou que o uso de inversores pode ser para regulagem de rotação de motores trifásicos assíncronos e, Hanson et al. (1996), observaram que o maior benefício do uso é a economia com os custos de energia elétrica.

Diante do exposto, objetivou-se com o presente trabalho, avaliar a eficiência de um controlador *fuzzy* aplicado a um sistema de resfriamento de frutas.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma fazenda produtora de frutas, localizada no Vale do São Francisco, em Petrolina/PE, sob coordenadas geográficas 9,24°S e 40,30°O, altitude de 375m em relação ao nível médio do mar. O clima, segundo a

classificação de Köppen, é tipo Bshw', tipo estepe, semiárido quente, com estação de chuva atrasada no outono, temperaturas médias de 25°C e pluviosidade média anual de 600mm (Sá et al, 2011).

A cadeia do frio da fazenda possui quatro câmaras de armazenamento, com capacidade frigorífica de 76 kW (20 TR - Tonelada de Refrigeração) para 60 toneladas de frutas armazenadas e 1 câmara de resfriamento com capacidade para 4 toneladas por batelada e capacidade de refrigeração de 38 kW, perfazendo relação de 9,38 kW por tonelada de fruta. O sistema de sucção é individual sendo que cada doca possui um motor elétrico trifásico de 6 polos, 1,47 kW de potência e hélice axial de ângulo fixo com 8 pás acoplada ao eixo do motor, resultando em pressão de sucção de 4,7 hPa.

Das 4 docas em operação da câmara, as duas docas centrais foram utilizadas para análises. Uma recebeu o Sistema de Controle *Fuzzy* – FCS e a outra permaneceu com o controle *on-off* - CCS, através de contadores que acionam o conjunto motor e hélice. Para montagem e programação do FCS, foram utilizados sensores de temperatura conectados à polpa da fruta e no ambiente, uma placa de desenvolvimento Arduino Mega, módulo *Sd Card*, um inversor de frequência WEG CFW-300 e disjuntores de proteção elétrica.

Os termistores utilizados foram NTC 10K, que operam em tensão de 5V, faixa de medição entre -55 e 125°C, com precisão de 1%, um instalado no centro da câmara de resfriamento, à 1,5 m de altura, representado a temperatura do ar e o outro localizado na região da grade de sucção ao qual era inserido na polpa da fruta na região central do palete, representado a temperatura da polpa.

No Arduino, o código com o Sistema de Controle *Fuzzy* (FCS) foi carregado e realizava a leitura das temperaturas a cada 5 minutos, rodava o sistema *fuzzy* e

modulava o valor do *PWM* – *Pulse Width Modulation*, entre 0 e 5V. Este valor, por sua vez, era recebido pelo inversor de frequência, nas suas portas analógicas e então era determinada a frequência de saída, entre 10 e 60 Hz. A figura 01 ilustra o esquema do hardware desenvolvido.

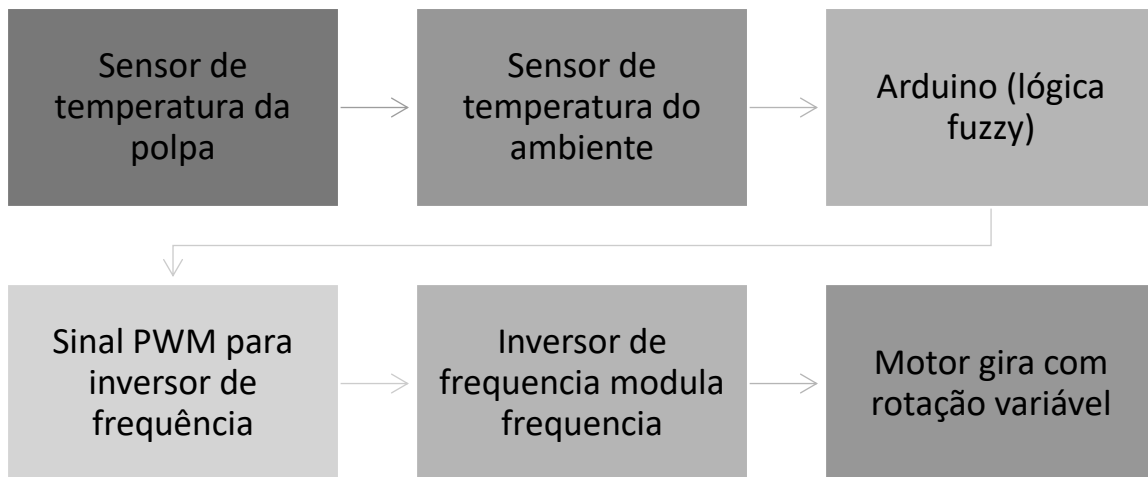


Figura 01: Esquema de funcionamento do sistema FCS.

O sistema *fuzzy* foi desenvolvido com auxílio da plataforma MATLAB® Fuzzy Toolbox®. Foi utilizado o método de inferência de Mandani (MANDANI, 1976), utilizado por diversos autores (LIN et al., 2013; MÚNERA BEDOYA et al., 2015; SCHIASSI et al., 2015), o qual define conectivos lógicos para estabelecer a base de regras. As variáveis de entrada utilizadas para o desenvolvimento do sistema foram: temperatura do ar (Tar) e temperatura de polpa (Tp). Variáveis representadas por curvas de pertinência trapezoidais (Figura 2), curvas estas escolhidas por reproduzirem melhor o conjunto de dados (SCHIASSI et al., 2015, LOURENÇONI et al., 2019).

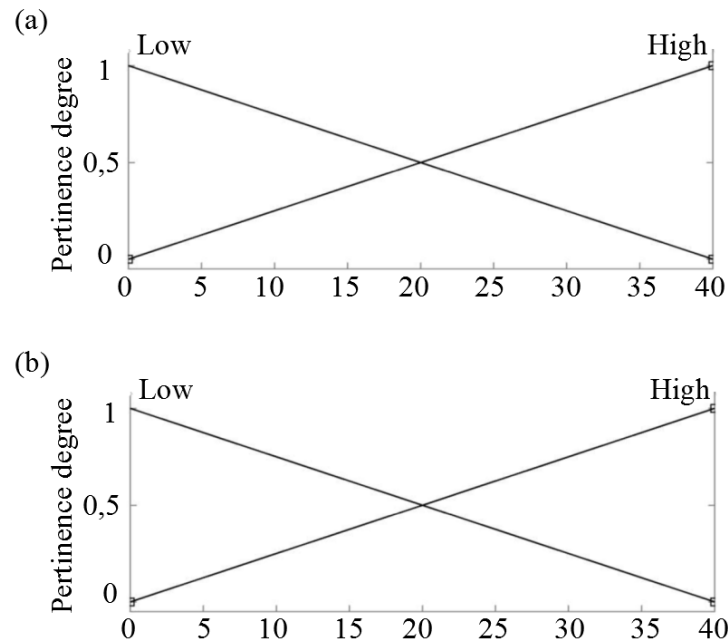


Figura 2. Funções de pertinência para as variáveis de entrada Tar (a) e Tp (b).

De acordo com as combinações das variáveis de entrada temperatura do ar (Tar) e temperatura de polpa (Tp), foram definidas quatro regras (Tabela 1) com o auxílio de quatro especialistas com experiência em modelagem *fuzzy* e resfriamento de frutas (CORNELISSEN et al., 2002). Pelo fato de todas as regras terem a mesma importância na determinação das respostas do sistema, foi adotado um fator de ponderação igual a 1.

Tabela 1. Regras do sistema *fuzzy*.

Regras	Temperatura do ar (Tar)	Temperatura de polpa (Tp)	Taxa de potência (Pot)
1	Alta	Baixa	Baixa
2	Alta	Alta	Baixa
3	Baixa	Baixa	Alta
4	Baixa	Alta	Baixa

Com base nas variáveis de entrada o sistema *fuzzy* prevê a variável de saída taxa de potência (Pot), caracterizada por curvas de pertinência do tipo triangular

(Figura 3). A defuzzificação é realizada usando o método do centro de gravidade (Centroide ou Centro de Área), que considera todas as alternativas de saída, convertendo o conjunto *fuzzy* originado pela inferência em valor numérico (LEITE et al., 2010, SCHIASSI et al., 2015, LOURENÇONI et al., 2019). Este valor foi normalizado para a saída PWM do Arduino (0 a 5V), sendo seu valor alto correspondente ao *bit* 255 seu valor baixo correspondente ao 0 bit.

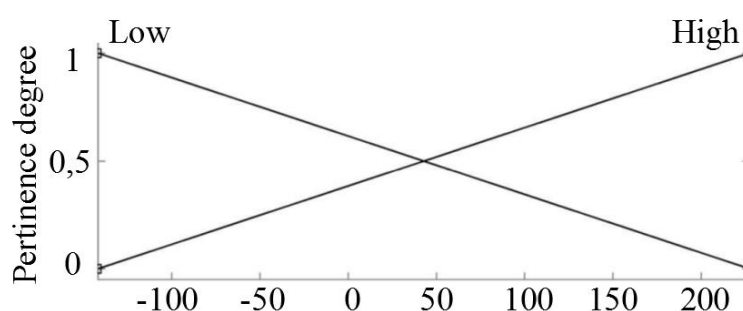


Figura 3. Funções de pertinência para a variável de saída Pot.

Para avaliar a eficiência do controlador, foram realizadas comparações entre temperaturas de polpa das frutas resfriadas nas docas FCS e CCS. Para analisar a eficiência do FCS em relação ao *on-off*, foi utilizado delineamento inteiramente casualizado, com fatorial 2x3, com 10 repetições, sendo 2 controladores (FCS e CCS) e 3 níveis de altura no palete. Os níveis foram determinados a fim de retirar as bordaduras, os níveis mais superior e inferior. As camadas escolhidas foram a segunda, quinta e nona, dos paletes.

Foram utilizados paletes com caixas de manga variedade Rosa, peso líquido de 5 kg cada, em 10 níveis de altura e 12 caixas por nível (4x3 caixas). As caixas possuíam 20% de abertura em duas arestas para resfriamento forçado e 1,25% de abertura no lastro, em 4 orifícios distribuídos, conforme figura 04 (a). Uma das arestas que as caixas estavam com abertura foi posicionada na sucção, figura 01 (b).



Figura 4. Imagem da locação do experimento, com os paletes de teste nas respectivas docas e sensor de temperatura do ambiente a mostra.

Para mensurar as temperaturas do ar e de polpa das frutas, foram utilizados Dataloggers Onset Hobo U12-012 (precisão de $\pm 0,35^{\circ}\text{C}$ e $\pm 5\%$ para umidade relativa) com termopares Onset® modelo TMC6-HD (precisão de $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$), inserido na polpa da fruta, a 0,03 m de profundidade. Foram utilizados os níveis 2, 5 e 9, descartando os níveis de bordadura. Em cada nível, uma fruta da caixa central foi avaliada. Os termopares coletavam a temperatura em intervalos de cinco minutos.

Para analisar o tempo de resfriamento, foi utilizada a Taxa Adimensional de Temperatura – TAT (ASHRAE (1980). Os tempos de meio e sete-oitavos de resfriamento foram determinados pela equação 1. Quando o valor da TAT atinge valor de 0,5, a fruta atingiu o tempo de meio resfriamento e quando atinge valor de 0,125, o tempo de 7/8 de resfriamento (TERUEL et al., 2001).

$$TAT_{1/2} = \frac{T_c - T_a}{T_i - T_a} = 0,5 \quad TAT_{7/8} = \frac{T_c - T_a}{T_i - T_a} = 0,125 \quad (1)$$

em que: T_c é a temperatura do centro da fruta, T_i a temperatura inicial da fruta e T_a a temperatura do ambiente de resfriamento ($^{\circ}\text{C}$).

A temperatura inicial das frutas foi de $27^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$, temperatura inicial da câmara de resfriamento de $18 \pm 4^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa em $70 \pm 8\%$. As frutas foram retiradas quando a temperatura de polpa atingiu 10°C . O tempo médio de resfriamento foi de 2,8 horas.

Para verificar a velocidade e fluxo do ar nas caixas, foi utilizado anemômetro de hélice, modelo NA-3090, marca Politerm (precisão de $3\% \pm 0,2\text{m/s}$). A avaliação desse parâmetro foi realizada posicionando a hélice na abertura da caixa, em todos os níveis do palete, sendo o primeiro nível (1) o mais superior e o último nível (10) o mais inferior, mais próximo ao piso e mais distante do exaustor, em intervalos de 5 minutos, por dez vezes.

Foi realizada a avaliação da perda de massa das frutas, seguindo metodologia em que foram pesadas 5 frutas em cada nível com três repetições, antes e após o resfriamento, totalizando 30 frutas por vez. Para mensurar a demanda elétrica em cada sistema, foi utilizado medidor de energia padrão classe B, marca Actaris, modelo ACE100BR 60Hz 100A. Todos os dados foram analisados estatisticamente por meio do *software* SISVAR (FERREIRA et al., 2011).

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pode-se verificar que houve diferença significativa entre os tempos de resfriamento tanto para o tempo de meio resfriamento ($p < 0,01$ Teste F) quanto para tempo de 7/8 de resfriamento ($p < 0,01$, Teste F), sendo o FCS o sistema que necessitou de mais tempo para chegar a mesma taxa de temperatura do CCS. O comportamento da TAT pode ser observado na Figura 05.

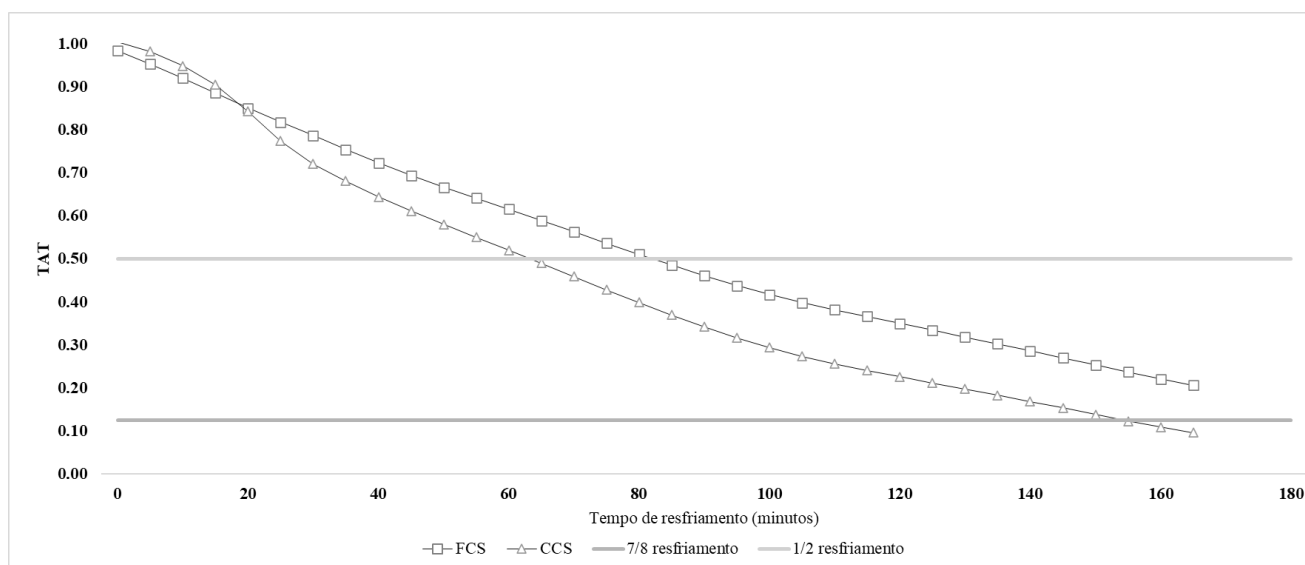


Figura 5. Comportamento da taxa adimensional de temperatura (TAT) para os dois controladores.

O FCS promoveu acréscimo de 22% no tempo necessário para resfriar a mesma massa de frutas até a temperatura de meio resfriamento. Entre os tempos de meio e sete-oitavos de resfriamento, o FCS apresentou incremento de 23%. Tal fenômeno era esperado devido à modulação da frequência. Valores com essas características foram verificados também por Teruel (2011), em que utilizou também inversor de frequência, porém, em escala experimental.

Pode-se verificar que a curva da TAT do FCS é mais linear que o CCS, o que remete ao decréscimo de temperatura mais uniforme em função do tempo. A curva do CCS é mais comumente vista e semelhante ao padrão do TAT. A partir do meio

resfriamento, o gradiente de temperatura é menor, promovendo incremento na potência do exaustor. Neste intervalo, se observa o comportamento semelhante das curvas de resfriamento dos dois controladores.

Teruel et al (2001) observaram que frutas dispostas em diferentes posições em caixas durante o resfriamento apresentaram curvas de resfriamento na TAT também diferentes. A fruta em posição mais externa, mais próxima à fonte de menor calor apresentou curva mais acentuada que as frutas mais próximas da saída do ar. Teruel, Kieckbusch & Cortez (2004) encontraram diferença na linearidade da curva da TAT em acordo com o peso da fruta, sendo que a fruta com maior massa apresentou curva mais linear que frutas com menor massa.

Em contrapartida, Ferreira (2018) realizando trabalho sobre tempos de resfriamento com manga, não verificou diferenças nas curvas da TAT entre frutas em diferentes posições no mesmo plano de resfriamento. Esse autor observou diferenças no resfriamento apenas entre frutas em níveis diferentes no palete (alturas diferentes).

Diferentes tempos de resfriamento de acordo com diferentes níveis na arquitetura do palete podem ser caracterizados devido à diferentes velocidades do vento em relação à altura, na grade de sucção. O fluxo de ar em função do nível do palete e de diferentes frequências estão apresentadas na Figura 6.

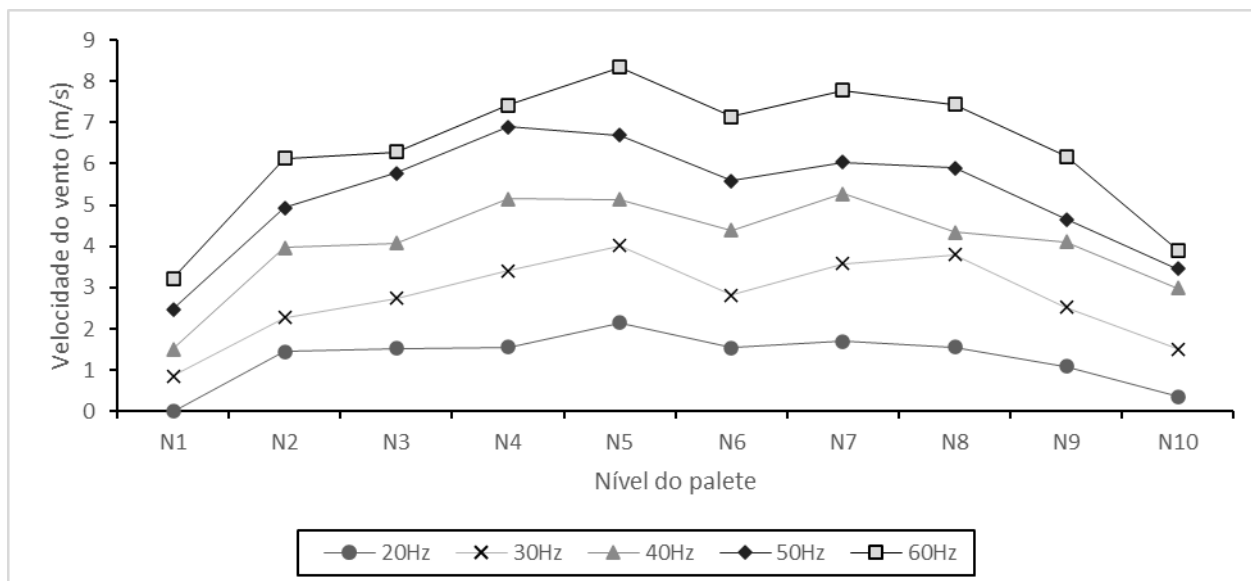


Figura 6. Velocidade do vento em função do nível de lastro no palete e frequência de rede (Hz).

Pode-se observar que o incremento de frequência afeta diretamente a velocidade do ar no interior das caixas. O fluxo de ar medido no lado oposto à sucção do ar pode ser caracterizado como uma função polinomial de dois graus e valor máximo em meia altura do palete.

Verifica-se ainda que o comportamento da velocidade do ar é superior no nível 5 que nas bordaduras superior e inferior. Esse fato pode ser observado devido à influência direta dos orifícios localizados no lastro das caixas, que facilitam entradas de ar. Na região central é dificultada devido à distância ao lastro e à cobertura do palete, permitindo que essa região possua maior velocidade do ar.

Fato semelhante foi discutido por Teruel (2000), quando verificou que o resfriamento em paletes promove o surgimento de bolsão de ar quente na região central do palete, reduzindo a eficiência das trocas de calor por convecção.

Getahun et al (2017) verificaram comportamento semelhante à curva de velocidade do vento, quando realizaram trabalhos com resfriamento em sistemas portáteis com contêineres. Hoang et al. (2015) observaram que regiões com fluxo

turbulento (nas extremidades) geram erros demasiados nas leituras de velocidade do vento.

Pode-se verificar que a velocidade do ar em contato com a fruta é superior ao recomendado pela literatura. Em 30 Hz de frequência este é inferior ao recomendado. É notado também que os valores de fluxo de ar são distintos, tanto nos níveis quanto nas frequências utilizadas. Com relação ao fluxo de ar, Teruel (2000) observou em seu estudo que a taxa de ar deve estar entre 1 a 6 L.s⁻¹ por quilograma de fruta resfriada e De Castro, Vigneault & Cortez (2005) verificaram diferentes aberturas e taxas de fluxo para melhor resfriamento, chegando a valores de 3,9 L.s⁻¹.kg⁻¹.

A Tabela 2 lista os valores de fluxo de ar. Observa-se que, utilizando a frequência mínima de 30 Hz, os valores de fluxo de ar se encontram dentro da faixa ideal. Esse dado valida o dimensionamento correto do sistema de sucção da câmara.

Tabela 2. Fluxo de ar em função do nível do lastro do palete e frequência da rede.

Nível	Fluxo de ar (L/s)				
	20 Hz	30 Hz	40 Hz	50 Hz	60 Hz
N1	1.11 Ba	2.18 Ba	3.05 Ab	3.69 Ab	4.04 Ab
N2	1.45 Ba	2.68 Ba	3.79 Ab	4.56 Aa	4.67 Ab
N3	1.85 Ba	3.10 Ba	4.36 Aa	4.93 Aa	5.50 Aa
N4	1.90 Ba	3.18 Ba	4.85 Aa	5.80 Aa	5.85 Aa
N5	1.40 Ca	3.00 Ba	4.77 Aa	5.73 Aa	5.83 Aa
N6	1.17 Ca	2.60 Ba	4.67 Aa	4.98 Aa	6.06 Aa
N7	1.34 Ca	2.55 Ca	3.73 Bb	4.80 Aa	5.62 Aa
N8	1.21 Ba	2.43 Ba	3.61 Ab	4.47 Aa	5.32 Aa
N9	0.89 Ca	2.08 Ca	3.10 Bb	3.31 Bb	4.67 Ab
N10	0.72 Ca	1.69 Ba	2.83 Bb	3.58 Ab	3.58 Ab

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na linha e minúscula na coluna, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade

Verifica-se maior homogeneidade do fluxo de ar em frequências mais baixas e maior heterogeneidade em frequências mais elevadas (40, 50 e 60 Hz). O uso de controladores convencionais permite apenas a utilização na frequência da rede

elétrica (60 Hz), o que pode contribuir para a desuniformidade de resfriamento entre níveis do palete. Amorim et al. (2020) observaram que a taxa de resfriamento é desigual ao longo da altura do palete. Resultados também verificados por Wu et al (2018), Getahun et al. (2017), Defraeye et al. (2015).

Os autores supracitados, também verificam que os níveis mais inferiores possuem taxa de resfriamento superior ao demais níveis. Possivelmente, esse fato se deve aos orifícios para circulação vertical do ar entre as caixas, que favorecem a convecção entre frutas no transporte e armazenamento. Contudo, no resfriamento, toda e qualquer entrada de ar que não seja o fluxo forçado deve ser evitado.

Com ênfase nas frequências de 50 e 60 Hz, constata-se que existem diferenças significativas entre apenas 1 dos 10 níveis verificados (N9), o que pode subsidiar a operação na frequência mais baixa sem que haja perdas significativas em fluxo de ar e com redução considerável na demanda elétrica.

Teruel (2008) visando variação na potência elétrica com ênfase no fluxo de ar, verificou que operando com 80% da rotação nominal do motor, obtém-se os mesmos 80% em vazão de ar, contudo, o consumo de potência útil é reduzido para 53% e o efeito é superior quando a operação ocorre com 3/5 da rotação nominal, o consumo cai para 22% do total.

Observando os dados em níveis, é possível verificar que existem maiores diferenças de fluxo de ar nos níveis centrais conforme se incrementa a frequência de operação, logo, percebe-se que estes são os níveis que mais são afetados com a mudança. Os níveis mais superiores são menos afetados devido à sua abertura ao ambiente. O palete na sua parte superior não contém fechamento, as frutas ficam expostas diretamente ao ar.

A exposição de frutas ao ambiente resfriado pode promover a desidratação, o que pode ser aumentado com a passagem forçada de ar. A taxa de perda de massa por desidratação na câmara está ilustrada na Figura 7.

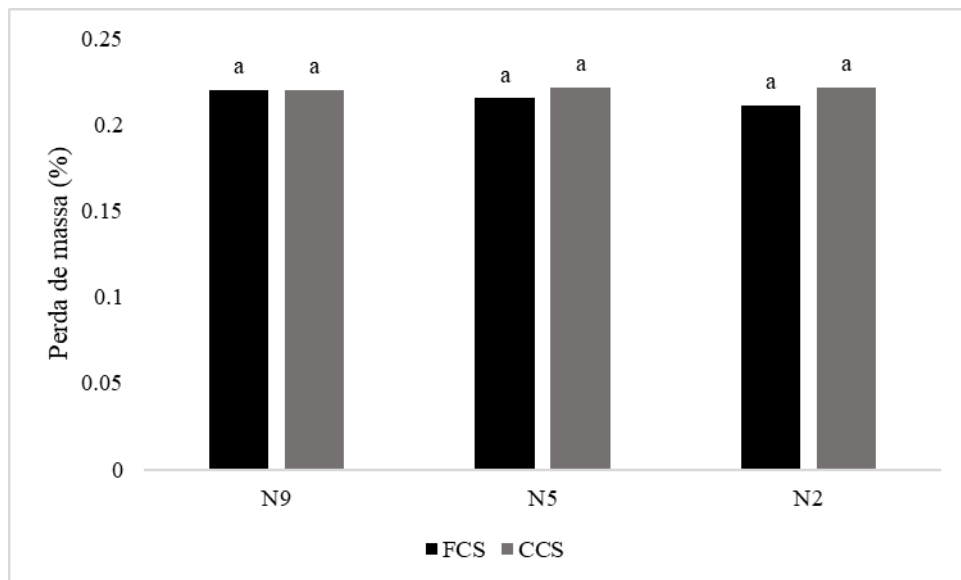


Figura 7. Perda de massa por desidratação da manga rosa em cada tratamento.

Pode-se verificar que não houve diferença significativa na desidratação das mangas ao fim do resfriamento, tanto entre controladores quanto entre níveis verificados. Essa semelhança entre tratamentos pode ser devido à umidade relativa no resfriamento, que ficou entre 60 e 64%. Alto gradiente de umidade relativa favorece o fluxo de massa entre o ambiente e a fruta. Valores mais elevados para desidratação foram encontrados em trabalhos de Teruel et al. (2009) e Binotti (2000), Wijewardane (2014) e Li et al. (2019).

Para verificação de eficiência energética, os dados de demanda elétrica estão apresentados na Figura 8. Pode-se verificar que a demanda elétrica do FCS foi menor que do sistema *on-off* - CCS, na ordem de 26%. Como o FCS opera com modulação de frequência, observa-se que a todo tempo operou abaixo da frequência da rede,

reduzindo fluxo e demanda elétrica. Resultados que corroboram com estes foram observados por Teruel (2001) e Ross (2013), quando utilizaram frequência variada para controle de motores de indução.

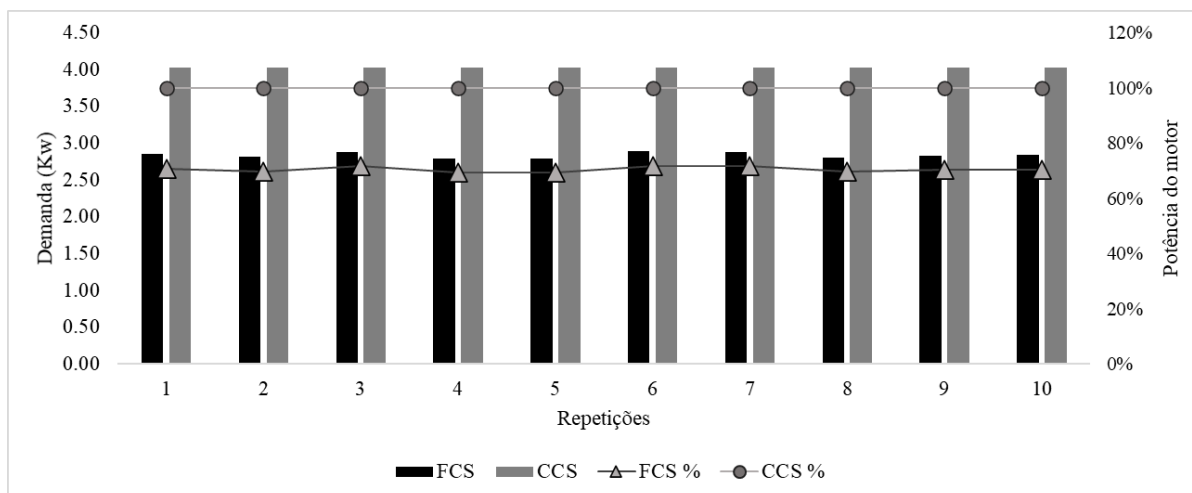


Figura 8. Consumo energético dos tratamentos apresentados.

O aumento no tempo de resfriamento afeta diretamente a logística do empreendimento. Esse maior tempo reduz a capacidade de resfriamento, em quilogramas por dia, podendo tornar a câmara de resfriamento subdimensionada. Como consequência, com a implantação desse sistema pode ser necessário também a execução de outras docas ou uma nova câmara, que atendam às necessidades.

Contudo, o aumento do tempo no resfriamento não promove concomitante aumento no consumo energético. O sistema FCS necessita de menos potência ativa que o *on-off*, mesmo com o aumento no tempo. Ou seja, apesar de, talvez, necessitar de ampliação na infraestrutura física no resfriamento, o que representa um gasto inicial mais elevado, ao longo do tempo, o uso do sistema FCS promove economia de mais de um quarto no consumo elétrico.

3.4. CONCLUSÕES

O Sistema de Controle *Fuzzy* - FCS promoveu maior tempo de resfriamento que o *on-off*, em torno de 22%, porém não incrementou índice de desidratação e obteve economia de energia de 26%.

O FCS pode ser empregado como controlador de resfriamento inteligente, promovendo redução no custo por unidade de peso de fruta em relação ao *on-off*.

A operação do sistema em baixas frequências permite maior uniformidade de fluxo, enquanto a operação em frequências maiores causa desuniformidades, além da promoção de maior vazão de ar.

3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANYANWU, E. E. Design and measured performance of a porous evaporative cooler for preservation of fruits and vegetables. *Energy Conversion and Management* 2004;45 :13–14: 2187–2195

ASHRAE (1984). *Systems handbook*. ASHRAE Inc., GA.

ASHRAE. *Systems and Applications. Methods of precooling of fruits, vegetables and flowers*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1994. Chapter 10, p, 1-10.

BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y., BERNARDI, A. C. de C., VAZ, C. M. P., SPERANZA, E. A., CRUVINEL, P. E., Agricultura de precisão e agricultura digital. In: TECCOGS – Revista Digital de Tecnologias Cognitivas, n. 20, jul./dez. 2019, p. 17-36

BHAKTA, I., PHADIKAR, S., MAJUMDER, K. (2019), State-of-the-art technologies in precision agriculture: a systematic review. *J. Sci. Food Agric.*, 99: 4878-4888. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9693>

BINOTTI, C. S. Avaliação quantitativa do método de resfriamento rápido com ar forçado para morangos (frangaria x ananassa Duch.), in natura. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas. 2000.

CAPELLI, A. *Energia Elétrica para Sistemas Automáticos da Produção*. 2. ed. São Cornelissen AMG, Van Den Berg J, Koops WJ, Kaymak U (2002) Elicitation of expert knowledge for fuzzy evaluation of agricultural production systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 95(1): 1-18.

DE CASTRO, L. R., VIGNEAULT, C., & Cortez, L. A. B. (2005). *Cooling performance of horticultural produce in containers with peripheral openings*. *Postharvest Biology and Technology*, 38(3), 254–261. doi:10.1016/j.postharvbio.2005.07.004

DEBNATH, M. K, AGRAWAL, R, TRIPATHY, S. R, CHOUDHURY, S. Artificial neural network tuned PID controller for LFC investigation including distributed generation. *Int J Numer Model.* 2020; 33:e2740. <https://doi.org/10.1002/jnm.2740>

FERREIRA, C. Estudo Comparativo entre as Técnicas de Controle Fuzzy, PI e Adaptativo Aplicado ao Processo de Fabricação de Papel Reciclado Utilizando a Ferramenta Delta Tune. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Londrina. 2009.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FINGINI, G. Eletrônica industrial. Hemus, Rio de Janeiro, 1982. 336 p.

GETAHUN, S., AMBAW, A., DELELE, M., Meyer, C. J., & Opara, U. L. (2017). *Analysis of airflow and heat transfer inside fruit packed refrigerated shipping container: Part I – Model development and validation. Journal of Food Engineering, 203, 58–68.*

GOUDA, M. M. , DANAHER, S., UNDERWOOD, C. P.. Fuzzy logic control versus conventional PID control for controlling indoor temperature of a building space. IFAC Computer Aided Control Systems Design.. Salford. UK. 2000

HAINES R. W. (1988). HVAC Systems Design Handbook. (TAB Books, USA).

HANSON, B.; WEIGAND, C.; ORLOFF, S. Performance of electric irrigation pumping plants using variable frequency drives. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v.122, n.3, p. 179-182, May/June, 1996

HOANG, H. M., DURET, S., FLICK, D., LAGUERRE, O. (2015). *Preliminary study of airflow and heat transfer in a cold room filled with apple pallets: Comparison between two modelling approaches and experimental results. Applied Thermal Engineering, 76, 367–381. doi:10.1016/j.applthermaleng.2014.11.012*

JAMAL A. A.; ZHU Q. X., "Real –Time DC MotorPosition Control by (FPID)Controllers and design (FLC)Using Labview software Simulation," Computer and Automation Engineering (ICCAE), 2010 The 2nd International Conference on, Singapore, 2010, pp. 417 -420

KAZEMIAN, H.B. (2005), Developments of fuzzy PID controllers. *Expert Systems*, 22: 254-264. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0394.2005.00316.x>

LEITE, M. S.; FILETI, A. M. F.; SILVA, F. V. Desenvolvimento e aplicação experimental de controladores *fuzzy* e *on-off* em um bioprocesso. *Revista Controle & Automação*, Campinas, v.21, n.2, p.147-158, 2010.

LEONARDI, F.: Projeto de Sistemas de Controle Multivariáveis Robustos com Especificações no Domínio do Tempo, tese de doutorado, Escola Politécnica da USP, 2002 (LEONARDI, 2002)

LIN C. S, Yeh, P.T, CHEN, D. C, CHIOU Y. C, LEE, C.H (2013) The identification and filtering of fertilized eggs with a thermal imaging system. *Computers and Electronics in Agriculture* 91:94-105.

LOURENÇONI, D., YANAGI, J., TADAYUKI, A. P. G. de, CAMPOS, A., T., YANAGI, S N. M.. (2019). Productive responses from broiler chickens raised in different commercial production systems - part I: fuzzy modeling. *Engenharia Agrícola*, 39(1), 1-10. <https://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v39n1p1-10/2019>

MAMDANI, E. H., ASSILIAN, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, 7(1), 1-13. [http://dx.doi.org/10.1016/S0020-7373\(75\)80002-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0020-7373(75)80002-2).

MANDANI, E.H. (1976) Advances in the linguistic syntesis of fuzzy controllers. *International Journal of Man-Machine Studies* 8(6):669-678.

MANYIKA, J. et al. A future that works: Automation, employment, and productivity. McKinsey Global Institute, New York. 2017.

MATTIELLO, C D. Comparativo entre controlador PID e fuzzy no controle de atitude em um quadricóptero. 2014. 88 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014.

MÚNERA BEDOYA, O.D., YANAGI JUNIOR T., ÁVILA PIRES, M.F., AURÉLIO LOPES, M, RIBEIRO DE LIMA, R (2015) Fuzzy system to predict physiological responses of Holstein cows in southeastern Brazil. *Revista Colombiana de Ciências Pecuárias* 28(1):42-53.

OGATA, Katsuhiko. Engenharia de Controle Moderno. 4. ed. São Paulo: Editora Érica, 2003.

SÁ, I. I. S., GALVINCIO, J. D., DE MOURA, M. S. B., SÁ, I. B. Avaliação da degradação ambiental na região do Araripe pernambucano utilizando técnicas de sensoriamento remoto. *Revista Brasileira de Geografia Física*. 4, 1292-1314, 2011.

SCHIASSI, L., YANAGI JUNIOR, T., FERRAZ, P. F. P., CAMPOS, A. T., SILVA, G. R., ABREU, L. H. P.. (2015). Comportamento de frangos de corte submetidos a diferentes ambientes térmicos. *Engenharia Agrícola*, 35(3), 390-396. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n3p390-396/2015>

SCHUH, G. ANDERL, R. GAUSEMEIER, J., ten HOMPEL, M., WAHLSTER, W. Industrie 4.0 maturity Index. Die digitale Transformation von Unternehmen gestalten (actech STUDIE), München, Hebert Utz Verlag, 2017.

SILVA, A E. MASSELLI, Y M C. Análise Comparativa entre Controladores PID e Fuzzy Utilizando LabVIEWe Arduino Aplicados em um Sistema de Controle de Nível. V Seminário de Automação Industrial e Sistemas Eletro-Eletrônicos –SAISEE (ISSN 2319-0280). 2013

TERUEL, B. J., CHACÓN, N. F. S., ABRAHÃO, R. F.. Projeto de caixa de madeira para manga (*Mangifera Indica* L.) Ciênc. agrotec. vol.33 no.3 Lavras May/June 2009

TERUEL, B. J., SILVEIRA, P., MARQUES, F., CAPPELLI, N. (2008). Man-machine interface for the control of cooling processes with forced-air aimed at energy savings. *Ciência Rural*. 38. 705-710.

TERUEL, M. B. J. Estudo teórico-experimental do resfriamento com ar forçado de laranja e banana. Campinas, 2000. 300 p. Faculdade de Engenharia Mecânica. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).

THOMPSON, J.F. The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks. USDA Agriculture Handbook Number 66. 2004.

TOBI, T., HANAFUSA, T. (1991). *A practical application of fuzzy control for an air-conditioning system. International Journal of Approximate Reasoning*, 5(3), 331–348. doi:10.1016/0888-613x(91)90016-f

WIJEWARDANE, R.M.N.A.. Effect of Pre-cooling Combined with Exogenous Oxalic Acid Application on Storage Quality of Mango (*Mangifera indica*). *Journal of Postharvest Technology* 02 (01): 045-053, January, 2014

ZADEH, L. A.. Fuzzy sets. *Information and control*, vol. 8 (1965), pp. 338–353. - L. A. Zadeh. Similarity relations and fuzzy orderings. *Information sciences*, vol. 3 (1971), pp. 177–200. <https://doi.org/10.2307/2272014>

ZHANG, Z., ZHU, Q., HU, M., GAO, Z., AN, F., LI, M., & Jiang, Y. (2017). *Low-temperature conditioning induces chilling tolerance in stored mango fruit. Food Chemistry*, 219, 76–84. doi:10.1016/j.foodchem.2016.09.123

4. CAPITULO III

LÓGICA FUZZY NO RESFRIAMENTO EFICIENTE DE FRUTAS. PARTE 2 – QUALIDADE DAS FRUTAS SUBMETIDAS AOS CONTROLADORES.

RESUMO

O resfriamento de frutas promove passagem de ar refrigerado em contato com as frutas e assim remove parte do calor, reduzindo sua temperatura à ideal de armazenamento, técnica indispensável para reduzir perdas e promover maior tempo comercial. Diante do exposto, objetivou-se com o presente trabalho, analisar a qualidade da manga rosa após o resfriamento com dois tipos de controladores, sendo um *on-off* e um utilizando o conjunto *fuzzy* para determinar pressão de ar na sucção da doca de resfriamento. Foram analisados parâmetros físicos como textura, cor de polpa e casca e desidratação, e químicos como sólidos solúveis e acidez titulável das frutas submetidas aos dois tratamentos em tempos de armazenamento e *shelf-life* diferentes. Os tempos de armazenamento e *shelf-life* proporcionaram modificações físicas e químicas nas frutas. O metabolismo das frutas, mesmo armazenadas, permaneceu sem que houvesse mudanças significativas na cor da casca. Porém, o *shelf-life* foi reduzido consideravelmente com o passar do tempo. O uso do controlador *fuzzy* proporciona as mesmas condições de alteração na fisiologia da manga que o CSS, o que faz do Sistema de Controle *Fuzzy* – FCS, potencial controlador a ser utilizado no resfriamento de manga rosa.

Palavras chave: pós colheita, resfriamento, manga.

ABSTRACT

The cooling of fruit promotes the passage of cooled air in contact with the fruit and thus removes some of the heat, reducing its temperature to the ideal storage, an indispensable technique to reduce losses and promote greater commercial time. Given the above, the objective of this study was to analyze the quality of mango 'rosa' after cooling with two types of controllers, one conventional and one using the fuzzy set to

determine air pressure in the suction of the cooling dock. Physical parameters were analyzed such as texture, color of pulp and skin and dehydration, and chemical parameters such as soluble solids and titratable acidity of the fruit subjected to the two treatments at different storage times and shelf-life. The storage times and shelf-life provided physical and chemical changes in the fruits. The metabolism of the fruits, even when stored, remained without significant changes in the color of the peel. However, the shelf-life was reduced considerably over time. The use of *fuzzy* controller provides the same conditions of change in the physiology of the mango as the CSS, which makes the *Fuzzy Control System - FCS*, potential controller to be used in the cooling of pink mango.

Key words: post-harvest, cooling, mango.

4.1. INTRODUÇÃO

A manga (*Mangifera indica L.*) é uma das frutas mais produzidas e consumidas no mundo, possui alto valor nutricional e vitaminas importantes para o desenvolvimento, como a A e C além de propriedades antioxidantes (NTSOANE et al., 2019). Em 2019, foram produzidos 55,85 milhões de toneladas, sendo o Brasil responsável por aproximadamente 2 milhões de toneladas (SHAHBANDEH, 2021).

Apesar da alta produção, a manga é uma fruta climatérica e muito perecível, estima-se que entre 25 e 45% do volume produzido é deteriorado e inviabilizado antes de serem consumidos (HASSAM, 2010). As principais causas de perdas estão ligadas ao manuseio incorreto nas diversas fases de produção, colheita e pós-colheita, doenças e pragas, condições de embalagem, armazenamento e transporte até o consumidor (ALAM et al., 2019).

Parte dessas perdas são derivadas dos processos de amadurecimento, que reduz o tempo de vida útil da fruta. Durante esse processo, o hormônio etileno (C₂H₄)

provoca mudanças na cor da polpa, de amarelo esverdeado a amarelo e laranja, degradação da clorofila e transformação na cor da casca, redução na firmeza e na acidez da polpa, aumento no teor de sólidos solúveis, entre outras modificações (NTSOANE et al., 2019). Essas modificações interferem na aceitação do produto pelos consumidores, promovendo descartes.

Para redução nas perdas, técnicas de pós-colheita são utilizadas para aumentar a vida útil das frutas. A cadeia do frio é responsável por prolongar a vida útil da fruta, resfriando-a e mantendo-a resfriada até o consumidor final. Essa técnica reduz a atividade metabólica da fruta e de patógenos, reduz a perda de água e atrasa o amadurecimento e senescência (SUDHAKAR RAO; GOPALAKRISHNA RAO, 2008).

As câmaras de resfriamento possuem a função de redução da temperatura da fruta até a temperatura ideal (HAN et al., 2018). Esse sistema promove um diferencial de pressão por meio de um sistema de ventilação, o que favorece o contato do ar refrigerado com a fruta (HAN et al., 2017). Segundo diversos autores, para a cultura da manga, o armazenamento com temperatura entre 5 e 15°C pode prolongar a vida útil das frutas em 2 a 3 semanas (SINGH et al., 2012, 2013; WATANAWAN et al., 2014). Chitarra e Chitarra (2005) indicaram que a temperatura de armazenamento é de 13°C, com umidade relativa de 85 a 90%, promovendo armazenamento de 2 a 3 semanas em ambiente refrigerado.

Diante do exposto, objetivou-se com o presente trabalho, avaliar a qualidade de mangas resfriadas com dois sistemas de controladores (FCS e CCS) e armazenadas por diferentes períodos.

4.2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma fazenda comercial localizada no município de Petrolina/PE, no Vale do São Francisco, sob as coordenadas geográficas 9,24°S e 40,30°O, altitude de 375m acima do nível do mar. Essa região possui classificação climática de Koppen BSwH (LOPES et al., 2017)

A fazenda possui cadeia do frio composta por uma câmara de resfriamento com capacidade frigorífica de 38 kW para resfriar em quatro docas individualizadas por batelada, utilizando técnica de parede falsa, com sistema de diferencial de pressão de 4,7 hPa, em cada doca. Possui também 4 câmaras de armazenamento, com capacidade de 19 kW cada, volume de 74,25 m³ (4,5 x 5,5 x 3 m, em largura, comprimento e altura, respectivamente) e capacidade instalada para 16 paletes, cada.

Para o experimento, a doca 02 teve seu sistema alterado para um controlador inteligente que utiliza frequência variada para modular o diferencial de pressão, e com isso, variar a velocidade do ar que passa em contato com a fruta. Foram utilizadas as docas 02 e 03, centrais e adjacentes, porém com sistemas de sucção isolados. O controlador utilizado na doca 02 foi o FCS (*Fuzzy Control System*) e na doca 03, o CCS (*Conventional Control System*). Toda metodologia e avaliação dos controladores podem ser observadas com mais detalhes na Parte I deste trabalho.

As frutas utilizadas no experimento foram colhidas do mesmo pomar, com tratamentos culturais e conduções semelhantes. A variedade escolhida para realização do experimento foi a 'Rosa'. Essa variedade se distingue das demais por não haver, como tratamento de pós-colheita, lavagem, desinfecção ou tratamento térmico. As frutas colhidas foram selecionadas, classificadas, embaladas em caixas de papelão, com 5

kg de peso líquido, paletizadas em estrados de madeira (1,20 x 1,10 m, largura x comprimento, respectivamente), com doze caixas por nível e dez níveis de altura.

O delineamento experimental escolhido foi o delineamento em blocos casualizados (DBC), num esquema de parcelas subdivididas. Na parcela foram alocados os dois tratamentos testados, ou seja, FCS e CCS. O fator armazenamento foi alocado na subparcela, sendo testados 0, 7 e 14 dias de armazenamento e o fator *shelf-life* foi alocado na subsubparcela, sendo testados 0, 3 e 6 dias. As medições foram realizadas durante 3 dias, sendo que cada dia foi considerado como bloco. Foram realizadas 5 repetições em cada tratamento, totalizando 405 frutas.

Em condições normais de trabalho da fazenda, as caixas com frutas selecionadas foram retiradas do palete, antes do resfriamento, para que as frutas fossem catalogadas e pesadas, com auxílio de balança semianalítica Mark 8055 (Tecnal, Brasil, precisão de 0,01 g) e recolocados no palete, nas posições centrais em relação à altura e base. Os paletes foram direcionados para o resfriamento, nas docas 02 e 03. Após o resfriamento, as frutas dos tratamentos imediatos (Armazenamento 0 dias e *shelf-life* 0 dias), foram pesadas e levadas ao laboratório para análises físicas e bioquímicas.

A temperatura de retirada das frutas do resfriamento foi de $10^{\circ}\pm 2,1^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $60\pm 16\%$. Na câmara de armazenamento, foram mantidas a temperatura e umidade relativa de $8\pm 2^{\circ}\text{C}$ e $65\pm 10\%$, respectivamente, pelos tempos determinados no experimento. Para o *shelf-life*, as frutas foram mantidas em câmaras especiais, com temperatura de $20\pm 4^{\circ}\text{C}$ e UR em $76\pm 7\%$.

As análises físicas e bioquímicas foram realizadas no Laboratório de Tecnologia em Pós Colheita, da Embrapa Semiárido, em Petrolina/PE. Foram aferidos

cor de casca e polpa, com auxílio de colorímetro portátil CR-400 (Konica Minolta), resultado expresso em L (luminosidade), a (coordenada vermelho/verde) e b (coordenada amarelo/azul).

Para determinação da perda de massa da fruta, foi utilizada a equação 01:

$$PP (\%) = \frac{P_f}{P_i} \cdot 100 \quad (01)$$

Sendo que, P_f refere-se ao peso da amostra ao final, P_i , o peso antes do resfriamento e PP a perda de peso, expresso em percentual.

A firmeza da polpa foi mensurada com uso de texturômetro digital TA.XT/Plus (Extralab, Brasil), utilizando ponteiros de 6 mm de diâmetro e penetração de 10 mm na polpa. Os resultados obtidos foram expressos em Newtons (N), representando a força necessária para que a ponteira penetre a polpa da fruta.

Para as análises de acidez titulável e sólidos solúveis, as frutas foram cortadas, descascadas, retiradas as bordas e trituradas. Com o suco resultante, as análises procederam. A acidez titulável foi realizada utilizando solução de 1 g desse suco, adicionados 50 mL de água destilada e 3 gotas de solução fenolftaleína (AOAC, 1995) e titulado com solução de NaOH 0,1 mol.L⁻¹, com auxílio de bureta digital Digitrate Pro (Jecons, EUA). O resultado foi expresso em percentual (m.v⁻¹) de ácido cítrico.

A determinação de sólidos solúveis foi realizada com auxílio de refratômetro portátil digital, modelo Pocket Pal-1 (Atago, precisão de $\pm 0,2\%$), com compensação automática de temperatura. As leituras foram realizadas dispondo 1 mL de suco da

polpa no sensor. Os resultados obtidos foram expressos em °Brix. Todos os resultados foram submetidos a teste de variância ANOVA e as médias comparadas pelo teste skott-knott a 5% de probabilidade.

A relação sólidos solúveis e acidez total, foi determinada pela equação 02:

$$Ratio = \frac{SST}{AT} \quad (02)$$

Em que: Ratio é a relação sólidos solúveis e acidez total, SST valor referente aos sólidos solúveis e AT o valor da acidez total.

O modelo estatístico pode ser descrito conforme equação 03, em que y_{ijkl} é o valor observado no controlador i , tempo de armazenamento k e *shelf-life* l no dia j . Na equação, o μ é uma constante associada a cada observação de y_{ijkl} ; t_i é o efeito do controlador i , sendo i = com FCS e CCS; b_j é o efeito do dia j , sendo j variando do 1º ao 3º dia de coleta; γ_{ij} é o erro experimental na parcela; c_k é o efeito do armazenamento k , sendo k = 0, 7 e 14 dias; tc_{ik} é a interação entre a controlador e armazenamento; ϵ_{ijk} é o erro experimental na subparcela; p_l é o efeito do *shelf-life* l , sendo l = 0, 3 e 6 dias; tp_{il} é a interação entre controlador e *shelf-life*; cp_{kl} é a interação entre armazenamento e *shelf-life*; tcp_{ikl} é a interação entre controlador, armazenamento e *shelf-life*; e o e_{ijkl} é o erro experimental.

$$y_{ijkl} = \mu + t_i + b_j + \gamma_{ij} + c_k + tc_{ik} + \epsilon_{ijk} + p_l + tp_{il} + cp_{kl} + tcp_{ikl} + e_{ijkl} \quad (03)$$

4.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As frutas submetidas ao resfriamento com os 2 controladores apresentaram diferença significativa na quantidade de sólidos solúveis (°Brix) na interação entre controladores, armazenamento e shelf-life ($p < 0,01$, teste F). Na tabela 01 estão listados os dados desse parâmetro nos três tempos de prateleira, comparando os controladores no resfriamento e armazenamentos.

Tabela 2. Quantidade de sólidos solúveis totais (SST) na interação entre controladores, armazenamento e shelf-life.

Shelf-life (dias)	Controlador no resfriamento	Armazenamento (dias)					
		0	7		14		
0	FCS	11.36	bD	14.62	aB	14.56	aB
	CCS	11.33	bD	12.55	aC	13.65	aB
3	FCS	13.04	bC	17.12	aA	17.15	aA
	CCS	14.37	bB	13.31	bC	17.52	aA
6	FCS	17.16	aA	16.55	aA	16.89	aA
	CCS	16.54	aA	14.69	bB	16.32	aA

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, diferem entre si pelo teste de F, ao nível de 1% de probabilidade.

No final do resfriamento da manga, ou seja, tempo 0 dias de *shelf-life* e armazenamento, o controlador não proporcionou diferenças entre si, contudo, com 7 dias na câmara fria, o controlador FCS proporcionou média superior ao CCS. Diferença essa suprimida aos 14 dias de armazenamento.

O fato de não apresentar diferenças logo após o resfriamento, apresentar no 7º dia e não apresentar novamente no 14º dia de armazenamento pode ter sido diferença no resfriamento com o controlador. No armazenamento 0, as frutas analisadas haviam finalizado há pouco tempo o resfriamento para que processos fisiológicos ligados ao amadurecimento possam ser identificados nas análises.

No 14^o dia de armazenamento, as médias retornaram a serem iguais, estatisticamente. Fato que pode ser explicado devido ao tempo resfriado no mesmo ambiente. Corroborando com isto, Chitarra e Chitarra (1990) mostraram em seu trabalho, que os teores de sólidos aumentam conforme o passar do tempo em câmara fria e *shelf-life*. Perceberam, inclusive, que com a redução nos teores de acidez provocado pela conversão em açúcares no processo respiratório, a relação de sólidos solúveis e acidez total tendem a aumentar conforme o tempo de câmara fria e prateleira. Resultado também encontrado por Gowda e Huddar (2001) e neste trabalho, que pode ser verificado na tabela 1, onde quanto maior o tempo de armazenamento ou o tempo de *shelf-life*, maior é a quantidade de sólidos solúveis totais, tendendo a se igualarem no 14^o dia de armazenamento.

Wckman e oammed (1999) ainda estabeleceram que essa relação pode ser indicativa de sabor, acentuando-se conforme o amadurecimento ocorre. A relação de sólidos solúveis e acidez total é o quociente da divisão entre o primeiro e o segundo. Esses valores podem ser visualizados na tabela 02.

Tabela 3. Relação sólidos solúveis e acidez total na interação entre controladores, armazenamento e *shelf-life*.

<i>Shelf-life</i> (dias)	Controlador	Armazenamento (dias)					
		0		7		14	
0	FCS	6.75	aC	7.02	aD	7.44	aC
	CCS	5.80	aC	6.75	aD	6.52	aC
3	FCS	7.62	bB	12.84	aB	13.25	aB
	CCS	8.25	bB	10.60	aC	12.18	aB
6	FCS	12.38	bA	18.95	aA	20.56	aA
	CCS	11.12	cA	18.59	bA	21.11	aA

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, diferem entre si pelo teste de F, ao nível de 1% de probabilidade.

Neste parâmetro, assim como o anterior, apresentou diferenças significativas na interação entre controlador, armazenamento e *shelf-life* ($p < 0,01$, teste F). E não houve diferenças significativas entre os controladores no armazenamento 0 e 14, comportamento semelhante ao parâmetro avaliado anteriormente. No 7º dia de armazenamento e *shelf-life* 3 dias, o controlador FCS apresentou média superior ao CCS.

No *shelf-life* 0 dia, os controladores e tempo de armazenamento não promoveram aumento significativo nas médias, demonstrando que pode não ter havido diferença significativa no amadurecimento das frutas no interior das câmaras, durante o tempo de estudo.

Porém, com o passar do tempo no armazenamento, os dados mostram que a tendência é o aumento na velocidade de amadurecimento na prateleira (*shelf-life*). Fato observado na tabela 3, que mostra em porcentagem o aumento na relação sólidos solúveis e acidez total.

Tabela 3. Porcentagem de aumento na relação sólidos solúveis e acidez total interação entre controladores e armazenamento.

Controlador	Armazenamento (dias)		
	0	7	14
FCS	83,4%	169,9%	176,3%
CCS	91,7%	175,4%	223,7%

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, diferem entre si pelo teste de F, ao nível de 1% de probabilidade.

Esse fato é um indício de que, apesar de não promover amadurecimento durante o armazenamento de forma significativa, o metabolismo continua ativo e

quando desencadeado, a velocidade é superior a qualquer outro momento anterior. Dessa forma, pode-se verificar que o tempo de *shelf-life* depende diretamente do tempo de armazenamento.

Esse fenômeno foi determinante no tempo de prateleira da fruta, pois a manga, em volume, é o terceiro maior produto exportado. Uma parte dessas exportações devem ser enviadas de navio, em containers e a viagem pode demorar até 14 dias. Após os 14 dias, a relação SST/AT tende a aumentar com maior velocidade, reduzindo então, a janela de venda do produto.

Além das variáveis químicas, as variáveis físicas são de fundamental importância na avaliação da qualidade da fruta, dentre elas, destaca-se cor, textura e perda de massa. Em trabalho realizado por Ambuko et al., (2018) avaliando um controlador de temperatura de baixo custo, estes autores notaram variações de cor e textura em mangas armazenadas em diferentes condições, sendo a firmeza da polpa reduzida conforme o tempo de armazenamento e a cor alterada de verde para o amarelo.

Avaliando a cor da casca, dentre as variáveis L , a e b , apenas o parâmetro a apresentou diferença significativa na interação entre armazenamento e *shelf-life* ($p < 0,01$, teste F) (Tabela 4). É possível verificar que não houve diferenças nos *shelf-lives* de 0 e 6 dias no parâmetro a . Já para os diferentes períodos de armazenamento, nota-se que a diferença se deu na precocidade do incremento do parâmetro com 7 e 14 dias de armazenamento, conforme o *shelf-life* aumenta.

Tabela 4. Parâmetro a de cor da casca na interação entre armazenamento e *shelf-life*.

<i>Shelf-life</i> (dias)	Armazenamento (dias)		
	0	7	14

0	-15.03	cA	-14.39	bA	-11.90	bA
3	-9.17	bA	8.61	aB	5.60	aB
6	3.71	aA	6.79	aA	6.86	aA

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, diferem entre si pelo teste de F, ao nível de 1% de probabilidade.

Outro fato que pode ser observado está na conservação da cor no decorrer do tempo de armazenamento. O parâmetro se manteve estatisticamente igual para os tratamentos sem *shelf-life* (0 dias). Porém, com 3 dias de *shelf-life* foi verificado incremento próximo a 150%, que se manteve até o sexto dia. No sexto dia, independente do tempo de armazenamento, os valores se mantiveram iguais em todos os tratamentos. O parâmetro cor de casa é o indicador visual de maturação de manga, quando a clorofila da casca é degradada permutando o verde com amarelo e vermelho.

Em relação à cor de polpa, foram notadas diferenças nos parâmetros L e b, na interação entre tempo de armazenamento e *shelf-life* ($p < 0,01$, teste F). Para o parâmetro luminosidade (L, Lux) (Tabela 05), é possível notar que os valores tendem a reduzir conforme aumenta o tempo de armazenamento (7 e 14 dias) e de *shelf-life*.

Tabela 5. Parâmetro L da cor de polpa da fruta interação entre armazenamento e *shelf-life*.

<i>Shelf-life</i> (dias)	Armazenamento (dias)					
	0		7		14	
0	64.72	aA	68.59	bA	67.78	aA
3	65.60	aA	60.37	aB	69.44	aA
6	64.04	aA	63.80	aA	63.83	bA

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, diferem entre si pelo teste de F, ao nível de 1% de probabilidade.

Coelho et al. (2007) verificaram que durante o tempo de amadurecimento, o parâmetro L da cor da polpa é reduzido enquanto o croma aumenta, esse fato ratifica que o amadurecimento permanece, em menor escala, durante o tempo de armazenamento da fruta. Nunes (2008) e Serpa et al. (2014) relataram que a polpa da manga imatura apresenta coloração amarelo-claro e quando madura, amarelo-alaranjado em função da síntese dos carotenoides, corroborando com os resultados encontrados neste trabalho.

Para o parâmetro *b* (Tabela 06), pode-se observar uma tendência de aumento nos valores para os *shelf-lives* no armazenamento zero, porém apresentou estabilidade e tendência de redução, respectivamente, para os armazenamentos de sete e quatorze dias. Porém, avaliando os números, pode ser verificado que entre os armazenamentos zero e quatorze, houve incremento e posterior redução nos terceiros e sextos dias de *shelf-life*.

Tabela 6. Parâmetro *b* da cor de polpa interação entre armazenamento e *shelf-life*.

<i>Shelf-life</i> (dias)	Armazenamento (dias)					
	0		7		14	
0	60.29	bB	67.96	aA	67.57	bA
3	68.22	aB	65.37	aB	71.79	cA
6	66.88	aB	67.95	aB	65.13	aA

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, diferem entre si pelo teste de F, ao nível de 1% de probabilidade.

Comportamento semelhante foi verificado por Preira et al., 2004, quando estudaram revestimentos comestíveis em manga, a fim de retardar seu amadurecimento. Hiluey et al. (2005) também verificaram que conforme o passar do tempo de armazenamento, em todas temperaturas avaliadas, a polpa da manga amadureceu.

Os dados de cor demonstraram o amadurecimento das frutas sem relação com o controlador envolvido no processo de resfriamento. Porém, esses dados devem ser avaliados juntamente com os dados de textura. Avaliando a textura, a mesma apresentou diferença significativa na interação entre armazenamento e *shelf-life* ($p < 0,01$, teste F) (Tabela 07). Para todos os tempos de armazenamento houve decaimento dos valores de textura em relação aos tempos de prateleiras, ou seja, quanto maior o tempo de prateleira, menos firme apresentou-se a polpa.

Tabela 74. Dados de textura (kgf) interação entre armazenamento e shelf-life.

<i>Shelf-life</i> (dias)	Armazenamento (dias)					
	0		7		14	
0	3.91	aA	3.48	aB	2.59	aC
3	2.26	bA	0.59	bB	0.66	bB
6	0.75	cA	0.38	bB	0.38	bB

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, diferem entre si pelo teste de F, ao nível de 1% de probabilidade.

Para o armazenamento de zero dias, os *shelf-lives* mostraram-se diferentes estatisticamente nos três tempos avaliados, sendo o primeiro inclusive o maior valor encontrado dentre os tratamentos. Houve decaimento de firmeza de 43% entre o *shelf-life* zero e três e de 81% entre o primeiro e o sexto dia. Nos armazenamentos de 7 e 14 dias na câmara, os valores foram superiores, alcançando patamares de até 86%, no armazenamento de quatorze dias. Resultados corroborantes foram observados por Pfaffenbach et al. (2003), Hojo et al (2009), Silva et al (2012) e Guerra (2021).

O tempo de armazenamento afetou o *shelf-life* de forma que as frutas perderam resistência à penetração conforme tempo na câmara. A comparação entre os tempos de armazenamento para o *shelf-life* de zero dia, mostrou diferenças significativas nos três tempos, sendo quatorze dias o valor mais baixo. Porém, esse valor foi superior ao apresentado pelas frutas com três dias de *shelf-life* na melhor condição (armazenamento zero). Os tempos de armazenamento sete e quatorze dias não apresentaram diferenças significativas para os *shelf-lives* de três e seis dias, ou seja, as frutas apresentaram as mesmas características de textura nessas condições.

Vila (2014) relatou que os produtos armazenados estão propícios a alterações na textura, provocados pela perda d'água, promovendo a perda da qualidade comercial da fruta. Ayele et al. (2012) ao estudarem o armazenamento de mangas com produtos diferentes, também verificaram que a firmeza decresce de acordo com o passar do tempo de prateleira. Seus valores foram superiores aos encontrados neste trabalho, superando valores de 20N na primeira análise. Esse fato que pode ser explicado por suas frutas serem da variedade Kent, colhida em ponto de maturação mais baixo que estes. Din et al. (2021) também perceberam este fenômeno, quando avaliaram tratamentos sem resíduos para mangas armazenadas.

O tempo de armazenamento e de prateleiras são determinantes para a desidratação. Avaliando a desidratação, a mesma apresentou diferença significativa na interação entre armazenamento e *shelf-life* ($p < 0,01$, teste F) (Tabela 08). Os tempos de armazenamento proporcionaram aumento superior a 275% quando comparado os tempos zero e quatorze dias, resultando em aproximadamente 19,7% de aumento na desidratação por dia nas câmaras frigoríficas. Quando comparada a influência do tempo de armazenamento e *shelf-life*, pode-se afirmar que o tempo de *shelf-life* promove maior perda de massa que o tempo de armazenamento.

Tabela 8. Percentual de desidratação da fruta na interação armazenamento e *shelf-life*.

<i>Shelf-life</i> (dias)	Armazenamento (dias)						
	0		7		14		
0	0.67	bA	1.68	cA	2.95	cA	
3	2.10	bC	5.63	bB	9.99	bA	
6	5.45	aC	9.70	aB	15.04	aA	

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, diferem entre si pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade

Apesar de não existir valores de máxima perda de massa aceitável, Chitarra & Chitarra (2005) sugeriram que não deve ultrapassar 10% para produtos *in-natura*. Esse valor foi ultrapassado, neste estudo, aos três dias de *shelf-life* das frutas que estiveram quatorze dias armazenadas. Lima (2018) em seu estudo com manga variedade ubá, encontrou valores de 10% com três dias de *shelf-life* à temperatura ambiente.

Diante do resultado da parte I deste trabalho, onde o FCS promoveu uma economia de energia de 26% com aumento de 22% no tempo de resfriamento. E o FCS proporcionar as mesmas condições de alteração na fisiologia da manga rosa, existe um potencial para utilização do Sistema de Controle *Fuzzy* – FCS em resfriamento de manga rosa.

4.4. CONCLUSÕES

O uso do controlador *fuzzy proporciona* as mesmas condições de alteração na fisiologia da manga que o CSS, o que faz do Sistema de Controle *Fuzzy* – FCS, potencial controlador a ser utilizado no resfriamento de manga rosa.

As frutas devem ser consumidas antes dos três dias de *shelf-life*, em qualquer armazenamento.

O tempo ideal de armazenamento, somado à logística de transporte, venda e consumidor final, não deve ultrapassar 7 dias.

O amadurecimento das frutas nas câmaras frias não é pausado e sim reduzido.

4.5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOAC. Association of Official Analytical Chemistry. Official methods of analysis (16th ed.), Arlington: AOAC, 1995. 1141 p.

ALAM, S. M. K. et al. Postharvest loss assessment of mango at different stages of supply chain through traditional and improved handling practices. **Advances in Plants & Agriculture Research**, v. 9, n. 3, p. 384–388, 2019.

AMBUKO, J. et al. Postharvest shelf life of mango fruits stored in a Coolbot™ cold room. **Acta Horticulturae**, v. 1225, p. 193–197, 2018.

AUXILIADORA, M. et al. Época De Aplicação Pós-Colheita De 1-Metilciclopropeno E Frigoarmazenamento Na Vida Útil De Manga ' Tommy Atkins ' 1 Storage on Shelf Life of ' Tommy Atkins ' Mango Fruit. v. 5, p. 445–450, 2007.

AYELE, L. et al. Postharvest Ripening and Shelf Life of Mango (*Mangifera indica* L.) Fruit as Influenced by 1-Methylcyclopropene and Polyethylene Packaging. **Ethiop. J. Agric. Sci.**, v. 22, n. January, p. 26–44, 2012.

AZAMBUJA, A. J. G.; GRANVILLE, L. Z.; SARMENTO, A. G. M. A privacidade, a segurança da informação e a proteção de dados no Big Data. **Parcerias Estratégicas**, v. 24, n. 48, p. 9–32, 2020.

BRITO, T. S. P. Desenvolvimento De Um Controlador Pid-Fuzzy Desenvolvimento De Um Controlador Pid-Fuzzy. 2015.

CAPELLO, F.; TOJA, M.; TRAPANI, N. A real-Time monitoring service based on industrial internet of things to manage agrifood logistics. **ILS 2016 - 6th International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain**, n. June, 2016.

DE ANDRADE, L. C. M.; DA SILVA, I. N. Very short-term load forecasting using a hybrid neuro-fuzzy approach. **Proceedings - 2010 11th Brazilian Symposium on Neural Networks, SBRN 2010**, p. 115–120, 2010.

DUTRA, M. L.; MACEDO, D. D. J. DE. Curadoria digital: proposta de um modelo para curadoria digital em ambientes big data baseado numa abordagem semi-automática para a seleção de objetos digitais. **Informação & Informação**, v. 21, n. 2, p. 143, 2016.

GUERRA, R. et al. LÓGICA NEBULOSA. p. 337–342, [s.d.].

HAN, J. W. et al. CFD Simulation of Airflow and Heat Transfer During Forced-Air Precooling of Apples. **Journal of Food Process Engineering**, v. 40, n. 2, p. 1–11, 2017.

GUERRA, ITATIANE CATARINA. **Desenvolvimento de filmes à base de pectina do pequi incorporados de nanopartículas de ZnO e aplicação de revestimento em manga *in natura***. Dissertação de Mestrado. Instituto Federal Goiano, 2021.

HAN, J. W. et al. Numerical modeling of forced-air cooling of palletized apple: Integral evaluation of cooling efficiency. **International Journal of Refrigeration**, v. 89, p. 131–141, 2018.

HASSAN, M. K. A guide to postharvest handling of fruits and vegetables. Department of Horticulture, Bangladesh Agricultural University, Mymensingh 2202, 2010.

HASHEM, I. A. T. et al. The rise of “big data” on cloud computing: Review and open research issues. **Information Systems**, v. 47, p. 98–115, 2015.

HILUEY, L. J. et al. AVALIAÇÃO DO RENDIMENTO DO FRUTO , COR DA CASCA E POLPA DE MANGA TIPO ESPADA SOB ATMOSFERA MODIFICADA the average values were compared by Turkey ' s test . In conclusion , the results proved that the use of not perforated PVC film , provided a modified at. p. 151–157, 2005.

IBSG, C.; DAVE EVANS, A. Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG) A Internet das Coisas Como a próxima evolução da Internet está mudando tudo. 2011.

ISHWARAPPA; ANURADHA, J. A brief introduction on big data 5Vs characteristics and hadoop technology. **Procedia Computer Science**, v. 48, n. C, p. 319–324, 2015.

JACOMINE, P. K. T.; CAVALCANTI, A. C.; BURGOS, N.; PESSOA, S. C. P.; SILVEIRA, C. O. Levantamento exploratório reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco. Rio de Janeiro: Divisão de Pesquisa Pedológica, 1973. 713 p. (Boletim Técnico, 26).

KEVIN ASTHON. That ' Internet of Things ' Thing. **RFID Journal**, p. 4986, 2010.

KHAN, M. A. U. D.; UDDIN, M. F.; GUPTA, N. Seven V's of Big Data understanding Big Data to extract value. **Proceedings of the 2014 Zone 1 Conference of the American Society for Engineering Education - "Engineering Education: Industry Involvement and Interdisciplinary Trends", ASEE Zone 1 2014**, 2014.

KLERKX, L.; JAKKU, E.; LABARTHE, P. A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**, v. 90–91, n. October, p. 100315, 2019.

LAKHIAR, I. A. et al. Evaluación del sistema de raíz flotante para la obtención de semilla de papa (*Solanum tuberosum* L.) de calidad. Cutuglagua, Pichincha. **Vida rural**, v. 2018, n. 947, p. 23–32, 2015.

LASHLEY, D. (1999). Advances in post harvest technology and new technology in food production. Proc. Seminar.St. Augustine,pp. 173-183.

LEE, C. C. **Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller, Part III**IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1990.

LOPES, I.; GUIMARÃES, M. J. M.; MELO, J. M. M. DE; RAMOS, C. M. C. Balanço hídrico em função de regimes pluviométricos na região de Petrolina-pe. Irriga, [s. L.], v. 22, n. 3, p. 443–457, 2017. Doi: 10.15809/irriga.2017v22n3p443-457. Disponível em: <https://200.145.140.50/index.php/irriga/article/view/2259>. Acesso em: 4 jul. 2021.

LUZ, D. P. DA et al. Os processos cognitivos e de criação do conhecimento para tomada de decisão no contexto do big data. **Revista Inteligência Competitiva**, v. 8, n. 1, p. 80–107, 2018.

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.

MARTINS, M. A. DESENVOLVIMENTO DE FUNÇÕES DE LÓGICA DIFUSA PARA PLC. **Dissertação de mestrado. Instituto Superior de Engenharia do Porto.**, 2014.

MASSRUHÁ, S. M. F. S. O papel na agricultura. **AgroANALYSIS**, v. 35, p. 29–31, 2015.

MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. DE A. Agro 4.0 – Rumo à Agricultura Digital. **JC na Escola Ciência, Tecnologia e Sociedade: Mobilizar o Conhecimento para Alimentar o Brasil**, p. 28–35, 2017.

MATTERN, F.; FLOERKEMEIER, C. From the internet of computers to the internet of things. **Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)**, v. 6462 LNCS, p. 242–259, 2010.

MEDELA, A. et al. IoT multiplatform networking to monitor and control wineries and vineyards. **2013 Future Network and Mobile Summit, FutureNetworkSummit 2013**, n. January 2013, 2013.

NTSOANE, M. L. et al. Quality assesment and postharvest technology of mango: A review of its current status and future perspectives. **Scientia Horticulturae**, v. 249, n. September 2018, p. 77–85, 2019.

NUNES, M. C. do N. (2008). *Color Atlas of Postharvest Quality of Fruits and Vegetables*. 52 Iowa: Blackwell Publishing.

NUNES, M. C. DO N., EMOND, J. P., BRECHT, J. K., DEA, S., & PROULX, E. (2007). Quality Curves for Mango Fruit (Cv . Tommy Atkins and Palmer) Stored At Chilling and Nonchilling Temperatures. *Journal of Food Quality*, 30(1), 104–120. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2007.00109.x>

ONOFRE FILHO, M. DE P. LÓGICA FUZZY PARA CONTROLE DE pH EM UM PROCESSO PETROLÍFERO. **Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte**, 2011.

Pfaffenbach et al. Efeito da atmosfera modificada e da refrigeração na conservação pós-colheita de manga espada vermelha. *Rev. Bras. Frutic.* 25 (3) • Dez 2003.

PEREIRA, M. E. C. et al. Aplicação de revestimento comestível para conservação pós-colheita da manga “tommy atkins” em temperatura ambiente. **Congresso Brasileiro E Fruticultura**, v. 6, 2004.

RUAN, J.; SHI, Y. Monitoring and assessing fruit freshness in IOT-based e-commerce delivery using scenarion analysis and interval number approaches. **Information Sciences**, v. 373, p. 557–570, 2016.

SABOYA, F.; DA GLÓRIA ALVES, M.; DIAS PINTO, W. Assessment of failure susceptibility of soil slopes using fuzzy logic. **Engineering Geology**, v. 86, n. 4, p. 211–224, 2006.

SAHOO, M.; RAUTARAY, S. S.; PANDEY, M. The Emergence of Big Data : A Survey. **International Journal of Computer Science and Mobile Applications**, v. 6, p. 23–32, 2018.

SANTOS, B. P. et al. Internet das Coisas: da Teoria à Prática. **Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos.**, p. 50, 2016.

SARTORELLI, P. E. et al. Um Panorama De 20 Anos Do Big Data : n. Tabela 1, 2019.

SERPA, M. F. P., CASTRICINI, A., MITSUBUZI, G. P., MARTINS, R. N., BATISTA, M. F., & DE ALMEIDA, T. H. (2014). Conservação de manga com uso de fécula de mandioca preparada com extrato de cravo e canela. *Revista Ceres*, 61(6), 975–982. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201461060013>

Silva et al. Amadurecimento de manga 'Ubá' com etileno e carbureto de cálcio na pós-colheita. *Cienc. Rural* 42 (2) • Fev 2012.

SINGH, N. P. et al. Physico-chemical characterization of unexploited mango diversity in sub-mountane zone of northern India. **Indian Journal of Plant Genetic Resources**, v. 25, n. 3, p. 261–269, 2012.

SINGH, Z. et al. Mango - Postharvest Biology and Biotechnology. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 32, n. 4, p. 217–236, 2013.

SOUZA, B. P. D. E. Gerenciamento de energia através da lógica fuzzy em um sistema híbrido isolado de geração de energia. 2018.

SUDHAKAR RAO, D. V.; GOPALAKRISHNA RAO, K. P. Controlled atmosphere storage of mango cultivars “Alphonso” and “Banganapalli” to extend storage-life and maintain quality. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 83, n. 3, p. 351–359, 2008.

TANG, S. et al. A conception of digital agriculture. **International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)**, v. 5, n. C, p. 3026–3028, 2002.

WATANAWAN, C. et al. Near infrared spectroscopic evaluation of fruit maturity and quality of export Thai mango (*Mangifera indica* L. var. Namdokmai). **International Food Research Journal**, v. 21, n. 3, p. 1109–1114, 2014.

WOLFERT, S. et al. Big Data in Smart Farming – A review. **Agricultural Systems**, v. 153, p. 69–80, 2017.

ZADEH, L. A. Fuzzy Sets. **Information and control**, v. 8, p. 338–353, 1965.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de controlador com linguagem *fuzzy* no resfriamento de manga rosa promoveu redução no consumo de energia elétrica (26%) quando comparado ao sistema *on-off*, afetando o tempo de resfriamento (22%).

Esse sistema pode ser empregado em câmaras de diversas capacidades.

O uso desse controle não promove perdas maiores que o *on-off* quando comparados, permitindo economia no consumo de energia elétrica e maiores assertos na tomada de decisão no desligamento do sistema.

Sugere-se um estudo de viabilidade técnica e econômica para utilizar este sistema, visto seu incremento no tempo de resfriamento e sua redução no consumo de energia.