



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA

THAÍS LURI OHASHI

**DESENVOLVIMENTO DE PLATAFORMAS BASEADAS EM ALUMINA E SÍLICA
NANOESTRUTURADAS COM PERMANGANATO DE POTÁSSIO PARA USO
COMO SENSOR COLORIMÉTRICO DE MATURAÇÃO DE TOMATES cv.
PIZZADORO**

São Carlos

2015

THAÍS LURI OHASHI

**DESENVOLVIMENTO DE PLATAFORMAS BASEADAS EM ALUMINA E SÍLICA
NANOESTRUTURADAS COM PERMANGANATO DE POTÁSSIO PARA USO
COMO SENSOR COLORIMÉTRICO DE MATURAÇÃO DE TOMATES cv.
PIZZADORO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da Universidade Federal de São Carlos como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Biotecnologia.

Área de Concentração: Biotecnologia

Orientadores: Prof. Dr. Marcos David Ferreira

Prof. Dr. Daniel Souza Corrêa

São Carlos

2015

Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da Biblioteca Comunitária UFSCar
Processamento Técnico
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

O369d Ohashi, Thaís Luri
Desenvolvimento de plataformas baseadas em alumina e sílica nanoestruturadas com permanganato de potássio para uso como sensor colorimétrico de maturação de tomates cv. Pizzadoro / Thaís Luri Ohashi. -- São Carlos : UFSCar, 2016.
132 p.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2015.

1. Lycopersicon esculentum Mill.. 2. Absorvedor de etileno. 3. Nanopartículas de alumina e sílica. 4. Amadurecimento. 5. Pós-colheita. I. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Tese de Doutorado da candidata Thais Luri Ohashi, realizada em 01/06/2015:

Prof. Dr. Marcos David Ferreira
Embrapa

Profa. Dra. Ana Carolina Almeida Miguel
ESALQ-USP

Profa. Dra. Cristina Paiva de Sousa
UFSCar

Profa. Dra. Lucimara Aparecida Forato
Embrapa

Profa. Dra. Marta Helena Fillet Spoto
USP

Aos meus pais **Fumio Ohashi** e **Lucilene Seico Miyajima Ohashi**,
pelo incentivo, carinho, confiança e por serem meu exemplo de vida.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus por guiar meus passos em todos os momentos.

À Universidade Federal de São Carlos, especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, por possibilitar a realização deste trabalho.

À Embrapa Instrumentação, em São Carlos, pela infraestrutura oferecida para a realização dos experimentos.

Especialmente aos dedicados Profs. Drs. Daniel Souza Corrêa e Marcos David Ferreira, pela confiança, amizade, orientação, incentivo e por todo o conhecimento transmitido ao longo desses anos.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de doutorado sanduíche.

Aos produtores rurais Marcelo e Zacarias, pela atenção e fornecimento dos tomates utilizados neste trabalho.

Aos pesquisadores Drs. Cauê Ribeiro de Oliveira e José Manoel Marconcini, por contribuírem com discussões valiosas sobre a condução e desenvolvimento do trabalho e estarem sempre dispostos a ajudar.

A todos os funcionários da Embrapa Instrumentação pelo auxílio, em especial às técnicas Alice Raabe, Joana Dias Bresolin e Silviane Zanni Hubinger, pela atenção, disposição, ensinamentos laboratoriais e momentos de descontração.

À analista Milene Mitsuyuki Foschini, por toda atenção, amizade e suporte nas análises estatísticas.

Aos companheiros e amigos de laboratório: Aline, Amanda, Ariane, Brenda, Douglas, Eliane, Fernanda, Gabrielle, Guga, Karen, Karla, Marcela, Poliana, pelas ajudas, convívio agradável e amizade.

A todos os meus familiares, especialmente aos meus queridos pais Fumio Ohashi e Lucilene Seico Miyajima Ohashi, que com amor me ensinaram a não desistir de meus ideais e ter sempre dedicação.

À minha irmã Vivian Maris Ohashi, pelo amor e amizade.

À minha avó Adália Miyajima, que mesmo distante, sempre esteve presente com suas sábias palavras e apoio constante.

E a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito Obrigada!

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE ABREVIATURAS.....	V
LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELAS	XI
RESUMO	01
ABSTRACT	02
1. INTRODUÇÃO.....	03
2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA	05
2.1. Objetivos Específicos	05
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	06
3.1. Aspectos Gerais do Tomate	06
3.2. O Etileno.....	08
3.3. Inibidores da Ação do Etileno	09
3.4. Embalagens.....	10
3.4.1. Embalagens ativas.....	11
3.4.1.1. <i>Absorvedores de etileno</i>	12
3.4.2. Embalagens inteligentes.....	15
3.4.3. Embalagens com nanossensores	16
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	18
4.1. Experimento 1: Desenvolvimento de Plataforma Impregnada com KMnO_4 Associados a Nanopartículas de Alumina e Sílica.....	18
4.2. Experimento 2: Avaliação da Performance dos Indicadores Colorimétricos	23
4.3. Avaliações.....	27
4.3.1. Perda de massa fresca	27
4.3.2. Coloração	28
4.3.2.1. <i>Fruto</i>	28
4.3.2.2. <i>Adesivo</i>	28
4.3.3. Firmeza da polpa.....	29
4.3.4. pH, acidez titulável, teor de sólidos solúveis e índice de maturação (<i>ratio</i>)	29
4.3.5. Composição gasosa das embalagens.....	31
4.3.5.1. <i>Concentrações de CO₂ e de etileno</i>	32
4.4. Análise Sensorial	33
4.5. Análises Estatísticas.....	33

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1. Experimento 1: Desenvolvimento de Plataforma Impregnada com KMnO_4 Associados a Nanopartículas de Alumina e Sílica.....	35
5.1.1. Perda de massa fresca	35
5.1.2. Coloração	36
5.1.3. Firmeza da polpa	41
5.1.4. pH, acidez titulável, teor de sólidos solúveis e índice de maturação (<i>ratio</i>)	43
5.1.5. Concentração de CO_2	47
5.1.6. Concentração de etileno	48
5.2. Experimento 1: Análise de Componentes Principais.....	51
5.3. Experimento 1: Análise de Agrupamento ou de <i>Cluster</i> da Coloração dos Adesivos.....	52
5.3.1. Comparação dos grupos (<i>clusters</i>).....	54
5.4. Experimento 1: Análise Sensorial.....	57
5.5. Experimento 2: Avaliação da Performance dos Indicadores Colorimétricos	62
5.5.1. Perda de massa fresca	62
5.5.2. Coloração	63
5.5.3. Firmeza da polpa	67
5.5.4. pH, acidez titulável, teor de sólidos solúveis e índice de maturação (<i>ratio</i>)	67
5.5.5. Concentração de CO_2	71
5.5.6. Concentração de etileno	72
5.6. Experimento 2: Análise de Componentes Principais.....	74
5.7. Experimento 2: Análise de Agrupamento ou de <i>Cluster</i> da Coloração dos Adesivos.....	76
5.7.1. Comparação dos grupos (<i>clusters</i>).....	77
5.8. Experimento 2: Análise Sensorial.....	80
6. CONCLUSÕES	86
7. PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	87
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
9. ANEXOS	103

LISTA DE ABREVIATURAS

1-MCP	1-metil-ciclopropeno
a*	Parâmetro de cor (intensidade de verde e vermelho)
ANOVA	Análise de variância
AOAC	Association of Official Analytical Chemists
AR	Atividade respiratória
AT	Acidez titulável
b*	Parâmetro de cor (intensidade de azul e amarelo)
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CIE	Commission Internationale de l'Eclairage
CP	Componente principal
cv.	Cultivar
cvs.	Cultivares
DACP	Diazociclopentadieno
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
F	Firmeza
FAOSTAT	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FID	Flame ionization detector
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
L*	Luminosidade
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
NanoAl	Nanoalumina
NanoSi	Nanosílica
NBD	2,5-norbornadieno
PE	Polietileno
PEBD	Polietileno de baixa densidade
PET	Politereftalato de etileno
pH	Potencial hidrogeniônico
PM	Perda de massa fresca
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PVC	Policloreto de vinila
RFID	Radio-frequency identification

RNA	Ácido ribonucleico
SS	Sólidos solúveis
STS	Tiosulfato de prata
UR	Umidade relativa
USDA	United States Department of Agriculture
UV	Ultravioleta

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Secagem dos tomates à temperatura ambiente e seleção quanto ao tamanho, ausência de defeitos e de doenças.....	20
Figura 2. a) Pesagem de 0,3 g da mistura de diferentes concentrações de KMnO_4 impregnadas em nanopartículas comerciais de óxido de alumínio ou de dióxido de silício para cada adesivo; b) Espalhamento da mistura em cada adesivo dupla face; c) Recobrimento com filme flexível de PVC; d) Armazenamento dos adesivos em dessecadores.	20
Figura 3. Detalhe da embalagem contendo os tomates.	21
Figura 4. Armazenamento do produto em câmara à temperatura de 22 ± 1 °C e 90% UR por 10 dias.	21
Figura 5. Esquema do experimento 1.	22
Figura 6. Classificação eletrônica dos tomates por diâmetro e cor na unidade de beneficiamento Santa Cecília, em Cabreúva, SP.....	24
Figura 7. Secagem dos tomates à temperatura ambiente e seleção quanto à ausência de danos mecânicos, podridões e lesões.....	24
Figura 8. Armazenamento dos tomates embalados em câmara a 22 ± 1 °C e 90% UR por 21 dias.....	25
Figura 9. Esquema do experimento 2.	26
Figura 10. Pesagem dos tomates para o cálculo do percentual de perda de massa fresca.	27
Figura 11. Medição de cor na região basal de cada tomate.	28
Figura 12. Medição de cor na região central de cada adesivo.	29
Figura 13. a) Remoção de pequena película da casca; b) Penetração na região basal. ...	29
Figura 14. Determinação de pH em pHmetro pela medição direta das amostras trituradas.	30
Figura 15. Determinação da acidez titulável das amostras por meio da titulação com NaOH a 0,1 N até atingir pH 8,1.	30
Figura 16. Mensuração do teor de sólidos solúveis com o uso de um refratômetro.	31
Figura 17. Coleta de 1,0 mL de gás do interior das embalagens, através do septo de silicone.....	31
Figura 18. Tomates acondicionados em embalagens plásticas do tipo PET, vedadas com fita adesiva transparente para determinação da composição gasosa.	32
Figura 19. Injeção das amostras de gás em cromatógrafo a gás da marca Varian.	32

Figura 20. Efeito das plataformas de KMnO_4 associadas ou não a nanopartículas na perda de massa fresca (%) em tomates cv. Pizzadoro armazenados a 22 ± 1 °C (90% UR) por 10 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).....	36
Figura 21. Espaço de cor CIELAB, expressos em valores de L^* , a^* e b^*	37
Figura 22. Efeito das plataformas de KMnO_4 associadas ou não a nanopartículas na luminosidade (L^*) em tomates cv. Pizzadoro armazenados a 22 ± 1 °C (90% UR) por 10 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).	38
Figura 23. Efeito das plataformas de KMnO_4 associadas ou não a nanopartículas no parâmetro de cor a^* em tomates cv. Pizzadoro armazenados a 22 ± 1 °C (90% UR) por 10 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).	39
Figura 24. Efeito das plataformas de KMnO_4 associadas ou não a nanopartículas no parâmetro de cor b^* em tomates cv. Pizzadoro armazenados a 22 ± 1 °C (90% UR) por 10 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).....	41
Figura 25. Efeito das plataformas de KMnO_4 associadas ou não a nanopartículas na firmeza (N) em tomates cv. Pizzadoro armazenados a 22 ± 1 °C (90% UR) por 10 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).....	42
Figura 26. Efeito das plataformas de KMnO_4 associadas ou não a nanopartículas no pH em tomates cv. Pizzadoro armazenados a 22 ± 1 °C (90% UR) por 10 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).	44
Figura 27. Efeito das plataformas de KMnO_4 associadas ou não a nanopartículas na acidez titulável (g ác. cítrico 100 g^{-1}) em tomates cv. Pizzadoro armazenados a 22 ± 1 °C (90% UR) por 10 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).....	45
Figura 28. Efeito das plataformas de KMnO_4 associadas ou não a nanopartículas no <i>ratio</i> (SS/AT) em tomates cv. Pizzadoro armazenados a 22 ± 1 °C (90% UR) por 10 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).	47
Figura 29. Efeito das plataformas de KMnO_4 associadas ou não a nanopartículas nas concentrações de CO_2 ($\text{mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) em função dos dias e dos tratamentos para tomates cv. Pizzadoro armazenados a 22 ± 1 °C (90% UR) por 10 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).	48
Figura 30. Efeito das plataformas de KMnO_4 associadas ou não a nanopartículas nas concentrações de etileno ($\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) em função dos dias e dos tratamentos para	

tomates cv. Pizzadoro armazenados a 22 ± 1 °C (90% UR) por 10 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).	49
Figura 31. Projeção das 11 variáveis físicas e químicas no plano das componentes 1 e 2.	51
Figura 32. Preferência (%) dos tomates entre os tratamentos, em ordem decrescente, de acordo com os atributos sensoriais de aparência e de intenção de compra. Atributos com letras diferentes diferem significativamente entre si pela anova não paramétrica e comparação múltipla de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).	59
Figura 33. Aspecto visual dos tomates dos 7 tratamentos apresentados aos provadores.	60
Figura 34. Perda de massa fresca (%) em tomates cv. Pizzadoro submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 22 ± 1 °C e 90% UR durante 21 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).	63
Figura 35. Luminosidade (L^*) em tomates cv. Pizzadoro submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 22 ± 1 °C e 90% UR durante 21 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).	64
Figura 36. Parâmetro de cor a^* em tomates cv. Pizzadoro submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 22 ± 1 °C e 90% UR durante 21 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).	65
Figura 37. Parâmetro de cor b^* em tomates cv. Pizzadoro submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 22 ± 1 °C e 90% UR durante 21 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).	66
Figura 38. Firmeza (N) em tomates cv. Pizzadoro submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 22 ± 1 °C e 90% UR durante 21 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).	67
Figura 39. pH em tomates cv. Pizzadoro submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 22 ± 1 °C e 90% UR durante 21 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).	68
Figura 40. Acidez titulável (g ác. cítrico 100 g^{-1}) em tomates cv. Pizzadoro submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 22 ± 1 °C e 90% UR durante 21 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).	69
Figura 41. <i>Ratio</i> (SS/AT) em tomates cv. Pizzadoro submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 22 ± 1 °C e 90% UR durante 21 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).	71

Figura 42. Concentrações de CO ₂ (mL CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹) em função dos dias e dos tratamentos para tomates cv. Pizzadoro armazenados a 22 ± 1 °C e 90% UR durante 21 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias (p < 0,05).	72
Figura 43. Concentrações de etileno (µL C ₂ H ₄ kg ⁻¹ h ⁻¹) em função dos dias e dos tratamentos para tomates cv. Pizzadoro armazenados a 22 ± 1 °C e 90% UR durante 21 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias (p < 0,05).	73
Figura 44. Projeção das 11 variáveis físicas e químicas no plano das componentes 1 e 2.74	
Figura 45. Projeção das 11 variáveis físicas e químicas no plano das componentes 1 e 3.75	
Figura 46. Preferência (%) dos tomates entre os tratamentos, em ordem decrescente, de acordo com os atributos sensoriais de aparência e de intenção de compra (<i>in natura</i> e processado). Atributos com letras diferentes diferem significativamente entre si pela anova não paramétrica e comparação múltipla de Kruskal-Wallis (p < 0,05).	81
Figura 47. Aspecto visual dos tomates dos 5 tratamentos apresentados aos provadores.	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise de variância (ANOVA) com medidas repetidas no tempo.	35
Tabela 2. Médias de luminosidade dos frutos por tratamento.	38
Tabela 3. Médias de a* dos frutos por tratamento.	40
Tabela 4. Médias de b* dos frutos por tratamento.	41
Tabela 5. Médias do teor de sólidos solúveis (°Brix) dos frutos por tratamento.	46
Tabela 6. Padrões de cores dos adesivos, obtidos pela análise de agrupamento (<i>cluster</i>), através dos valores de cor L*, a* e b* durante o armazenamento dos tomates.	52
Tabela 7. Padrões de cores dos adesivos por tratamento, ao longo dos dias de armazenamento.	53
Tabela 8. Comparação dos grupos (<i>clusters</i>) em cada tratamento submetida à análise de variância (ANOVA) e comparações múltiplas, como tentativa de estabelecer estádios de maturação em tomates cv. Pizzadoro.	55
Tabela 9. Escores das faixas etárias submetidos ao teste de Mann-Whitney.	60
Tabela 10. Escores dos gêneros submetidos ao teste de Mann-Whitney.	61
Tabela 11. Porcentagem de preferência de compra de tomates entre os gêneros.	61
Tabela 12. Correlação entre os atributos através da correlação não paramétrica de Spearman.	61
Tabela 13. Análise de variância (ANOVA) com medidas repetidas no tempo.	62
Tabela 14. Médias de a* dos frutos por tratamento.	65
Tabela 15. Médias de b* dos frutos por tratamento.	66
Tabela 16. Médias do teor de sólidos solúveis (°Brix) dos frutos por tratamento.	70
Tabela 17. Padrões de cores dos adesivos, obtidos pela análise de agrupamento (<i>cluster</i>), através dos valores de cor L*, a* e b* durante o armazenamento dos tomates.	76
Tabela 18. Padrões de cores dos adesivos por tratamento, ao longo dos dias de armazenamento.	77
Tabela 19. Comparação dos grupos (<i>clusters</i>) em cada tratamento submetida à análise de variância (ANOVA) e comparações múltiplas, como tentativa de estabelecer estádios de maturação em tomates cv. Pizzadoro.	79
Tabela 20. Escores das faixas etárias submetidos ao teste de Mann-Whitney.	83
Tabela 21. Escores dos gêneros submetidos ao teste de Mann-Whitney.	84
Tabela 22. Porcentagem de preferência de compra (<i>in natura</i>) de tomates entre os gêneros.	84

Tabela 23. Porcentagem de preferência de compra (processado) de tomates entre os gêneros.....	84
Tabela 24. Correlação entre os atributos através da correlação não paramétrica de Spearman.....	85

RESUMO

A qualidade dos frutos está intimamente associada às suas características físicas, como coloração da superfície e firmeza, as quais estão diretamente relacionadas com a produção do etileno (C_2H_4), hormônio responsável pelo processo de amadurecimento em frutas e hortaliças. O controle dos níveis de etileno durante a pós-colheita pode contribuir efetivamente para o prolongamento da vida dos produtos hortícolas. Por outro lado, indicadores de amadurecimento podem ser úteis na cadeia produtiva, pois podem fornecer informações sobre a qualidade do produto e auxiliar tanto o atacadista, como o consumidor na decisão de compra. O objetivo deste trabalho foi avaliar a funcionalidade de plataformas contendo permanganato de potássio ($KMnO_4$) impregnadas em nanopartículas (alumina e sílica) como indicador colorimétrico (sensor) de maturação de tomates cv. Pizzadoro, e nas implicações na qualidade dos frutos. A utilização de nanopartículas (tamanho entre 1 e 100 nm) como carreadores de $KMnO_4$ facilita a oxidação do etileno e permite maior diferenciação na coloração, quando comparadas a partículas de maior tamanho (acima de 100 nm). Tomates cv. Pizzadoro acondicionados em embalagens de politereftalato de etileno (PET) contendo adesivo com diferentes concentrações de permanganato de potássio (2,5%, 5%, 10%) impregnadas em nanopartículas foram armazenados a 22 °C e 90% UR; e avaliados, em dias alternados, quanto a: coloração da casca, firmeza, pH da polpa, teor de sólidos solúveis (°Brix), acidez titulável e índice de maturação (*ratio*), assim como quanto à composição gasosa da embalagem. Diariamente foi avaliada a perda de massa fresca dos frutos. Os resultados indicaram que o permanganato de potássio impregnado nas nanopartículas foi eficiente em absorver e oxidar o etileno, ocasionando uma mudança gradativa na coloração dos adesivos, de roxo até marrom. Não houve diferenças significativas nas variáveis físicas e químicas entre os tratamentos, com exceção dos parâmetros de cor nos frutos, sugerindo retardo na degradação da clorofila e síntese de licopeno. Os tratamentos com nanopartículas de alumina impregnadas com 5 e 10% de $KMnO_4$ mostraram melhor performance como indicadores de maturação, apresentando no mínimo 3 padrões de cores de adesivos cada. Na análise sensorial, observou-se que os provadores privilegiaram os frutos que apresentaram coloração vermelha mais intensa.

Palavras-chave: *Lycopersicon esculentum* Mill., absorvedor de etileno, nanopartículas de alumina e sílica, amadurecimento, pós-colheita, qualidade.

ABSTRACT

Fruit quality is closely related to its physical characteristics, such as surface color and firmness, and are directly associated to the ethylene production (C_2H_4), which is the ripening hormone responsible for initiating the ripening process in fruits and vegetables. Consequently, the control of ethylene levels during postharvest can contribute to effectively extend vegetables shelf life. On the other hand, ripening indicators can be useful for the fruit production chain, because they provide information about product quality and may assist both the wholesaler and the consumer in the purchase decision steps. The aim of this study was to evaluate the functionality of platforms containing potassium permanganate ($KMnO_4$) impregnated into inorganic nanoparticles (alumina and silica). Such platforms are aimed to be used as a colorimetric indicator (sensor) of 'Pizzadoro' tomato maturation, relating to the physicochemical changes in fruit quality. The use of nanoparticles (size between 1 and 100 nm) as carriers for $KMnO_4$ makes ethylene oxidation more efficient, and allows for a superior color change, when compared to larger particles (above 100 nm). 'Pizzadoro' tomato fruits packed in polyethylene terephthalate packages (PET) containing adhesive with different concentrations of potassium permanganate (2,5%, 5%, 10%) impregnated into nanoparticles were maintained in storage chambers at 22 °C and 90% RH; and evaluated at every two days regarding: peel color, firmness, pH, soluble solids (°Brix), titratable acidity, maturation index (*ratio*), as well as the gaseous composition of the package, except for fresh weight loss, which was carried out daily. The results indicated that potassium permanganate impregnated on nanoparticles were capable of absorbing and oxidizing ethylene efficiently, resulting in a gradual color change of the adhesives, from purple to brown. No significant differences in physical and chemical variables between treatments were observed, except for the fruit color parameters, suggesting delayed chlorophyll degradation and lycopene synthesis. Alumina nanoparticles impregnated with 5 and 10% of $KMnO_4$ treatments showed a better performance as maturation indicators, presenting at least three adhesive color standards each. In sensory evaluation, tasters preferred the more intense red coloration fruits.

Keywords: *Lycopersicon esculentum* Mill., ethylene absorber, alumina and silica nanoparticles, ripening, postharvest, quality.

1. INTRODUÇÃO

Horticultura e fruticultura são setores estratégicos para a geração de emprego e renda no Brasil. O volume das exportações, contudo, ainda é restrito devido à grande demanda interna, às exigências do mercado externo e ao elevado volume de perdas. Estima-se que, durante o período entre a colheita e o consumo, as perdas dos produtos hortícolas variem de 10 a 80% (FAOSTAT, 2015). Do plantio até o consumidor final, há uma grande valorização do produto e, conseqüentemente, qualquer perda após a colheita acaba por afetar o seu valor comercial, diminuindo a aceitabilidade pelos consumidores e os lucros dos produtores (MARQUES et al., 2006).

Frutas e hortaliças são produtos perecíveis com vida útil pós-colheita relativamente curta. Mesmo após serem colhidos, esses produtos passam por uma série de transformações químicas resultantes do metabolismo, as quais refletem em mudanças nos seus atributos de qualidade, como cor, textura, sabor e aroma, as quais são indicativas do processo de amadurecimento e senescência. Durante estes processos há um decréscimo dos compostos fenólicos, aumentando a predisposição dos frutos às injúrias mecânicas e à invasão por patógenos (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Assim, após ser destacado da planta-mãe, o fruto continua com seu metabolismo ativo e, caso não seja controlado, pode comprometer a qualidade do produto, e conseqüentemente diminuir seu período de comercialização (VILAS BOAS, 2002a).

Os frutos são classificados como climatéricos ou não-climatéricos de acordo com os diferentes padrões respiratórios. Os climatéricos são aqueles que apresentam um período em que ocorre uma elevação na taxa respiratória, devido à produção autocatalítica de etileno, cujo processo é acompanhado pela produção de ácido ribonucleico (RNA) e proteínas, que juntamente com o aumento na taxa respiratória e com a decomposição de certas estruturas celulares, marcam a transição entre a maturação e a senescência. Os frutos climatéricos podem ser colhidos mesmo que não estejam prontos para consumo, uma vez que a maturação pode ser atingida após a colheita. No entanto, os frutos não devem ser colhidos muito jovens, devido a perdas nas qualidades organolépticas. Alguns exemplos desse tipo de fruto são banana, maçã, mamão, manga e tomate. Já os frutos não-climatéricos são aqueles que não apresentam elevação na taxa respiratória próximo ao final do período de maturação, ou seja, a taxa respiratória apresenta um declínio constante até atingir a fase de senescência. Eles devem permanecer na planta até atingirem a fase de maturação, visto que não ocorrem

modificações nos parâmetros físicos e químicos após a colheita. São exemplos abacaxi, berinjela, laranja, limão, tangerina, uva, os quais devem ser colhidos em seu estágio ótimo de maturação (COSTA et al., 2011; FACHINELLO; NACHTIGAL, 2015). A dificuldade em comercializar tanto os frutos climatéricos como os não-climatéricos, aliada à demanda por frutos frescos e de qualidade fazem com que novas técnicas sejam requeridas a fim de retardar a maturação e a senescência, de forma a prolongar seu período de conservação.

Nos frutos climatéricos, o grande aumento na produção de etileno no início do amadurecimento é considerado o fator desencadeador das modificações na cor, na textura, no sabor e no aroma, bem como nos outros atributos bioquímicos e fisiológicos. Por outro lado, esta situação não é observada nos frutos não-climatéricos (TAIZ; ZEIGER, 2004).

O etileno é o único hormônio gasoso presente nas plantas e possui diferentes efeitos nas células vegetais, promovendo alterações metabólicas nos diversos estádios de desenvolvimento dos tecidos vegetais. Ele atua no crescimento e diferenciação celular, formação de raízes adventícias, germinação de sementes, indução da floração em algumas espécies (exemplo do abacaxizeiro), abscisão e senescência de folhas, flores e frutos; além de estar envolvido nos processos de resposta a estresses ocasionados pelos ataques de patógenos e por injúrias mecânicas (McKEON; YANG, 1987; MORETTI et al., 1998; SALTVEIT, 1999; KIEBER, 2004). O etileno está diretamente relacionado com o processo de amadurecimento dos frutos, podendo ser utilizado comercialmente, como meio de acelerar, controlar e uniformizar seu amadurecimento (ANDREUCETTI et al., 2007).

O uso de técnicas que previnam a ação do etileno é extremamente eficaz na preservação da qualidade e extensão da vida dos produtos hortícolas (VILAS BOAS, 2002a). Por outro lado, indicadores de amadurecimento podem ser úteis na cadeia produtiva, pois podem fornecer informações sobre a qualidade do produto e auxiliar na decisão de compra (YAM et al., 2005).

Nesse contexto, diversas tecnologias para aplicação em embalagens vêm sendo desenvolvidas com o objetivo de interagir, de maneira controlada, com o produto armazenado e sua atmosfera, prolongando ou monitorando sua vida útil. Estes sistemas são as embalagens ativas ou inteligentes (DAINELLI et al., 2008).

As embalagens ativas são aquelas que interagem de maneira propositada com o alimento, tendo por objetivo preservar sua qualidade e garantir sua segurança (SOARES, 1998; VERMEIREN et al., 2002).

As embalagens inteligentes possuem dispositivos que permitem o monitoramento das reais condições do alimento e/ou do ambiente externo e transmitem informações ao consumidor (HAN et al., 2005; YAM et al., 2005; WILSON, 2007).

2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

O presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento e aplicação de uma plataforma nanoestruturada composta por permanganato de potássio (KMnO_4) impregnado em nanopartículas de alumina e sílica, visando atuar como absorvedor de etileno e indicador de maturação na conservação de frutos de tomate cv. Pizzadoro. Os frutos foram mantidos em embalagens plásticas em condições controladas de forma que, em aplicações futuras, seja permitido ao consumidor detectar a qualidade dos produtos. Este propósito se justifica pelo fato do Brasil ser um país com elevadas porcentagens de perdas pós-colheita e desperdícios, justificando o desenvolvimento e aplicação de tecnologias adequadas que possam ajudar a vencer a barreira da deficiência na qualidade e na conservação de frutos, assim como minimizar as perdas na cadeia de comercialização de produtos perecíveis como frutas e hortaliças. Este tema está inserido no projeto financiado pela CAPES 04/CII-2008 – Rede NANOBIOTEC-Brasil intitulado “*Avaliação de Impactos de Aplicações da Nanotecnologia no Agronegócio*”.

2.1. Objetivos Específicos

- i) Verificar a influência do sistema sensor colorimétrico em diferentes concentrações de permanganato de potássio (2,5%, 5% e 10%), impregnado em nanopartículas de alumina (13 nm) e sílica (5-15 nm) sobre as características físicas, químicas, fisiológicas e sensoriais dos frutos de tomateiro, durante o armazenamento; e,
- ii) Identificar padrões de cores dos adesivos através da análise de agrupamento ou de *cluster*, de acordo com o espaço de cor CIELAB e expressos em valores de L^* , a^* e b^* .

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Aspectos Gerais do Tomate

O tomate pertence à família Solanaceae, gênero *Lycopersicon*, subgênero *Eulycopersicum*, espécie *Lycopersicon esculentum*. O nome Mill provém de Miller que, em 1754, foi o primeiro a propor a classificação botânica e o nome *Lycopersicon* (FERREIRA et al., 2004).

O tomateiro é uma planta perene, mas a produção é anual e a cultura pode atingir mais de dois metros de altura (FERREIRA et al., 2004). Segundo Filgueira (2008), o fruto é uma baga carnosa, suculenta, com formato oblongo ou redondo, variando de 20 a 400 g, com cor variando entre amarelo, laranja e vermelho, quando maduro.

Trata-se de uma das hortaliças mais consumidas no mundo e tem um papel relevante na dieta humana devido às suas características organolépticas e elevado valor nutritivo. Constitui-se como a principal fonte de licopeno para a nutrição humana (50 $\mu\text{g g}^{-1}$), além de apresentar vitaminas, minerais e fibras (RODRIGUEZ-AMAYA, 2001). Este fruto possui de 93 a 95% de água em sua composição, podendo ser consumido em maior quantidade e frequência em comparação a outras hortaliças (SILVA et al., 2006).

Diversos estudos clínicos e epidemiológicos têm associado dietas ricas em licopeno com a redução do risco de desenvolvimento de câncer e menor incidência de doenças degenerativas e cardiovasculares (NGUYEN; SCHWARTZ, 1999; CRAMER et al., 2001; RAO, 2002).

O Brasil é considerado o oitavo produtor mundial de tomates (FAOSTAT, 2015), sendo este fruto amplamente cultivado e consumido no país, com destaque para os estados de Goiás, São Paulo e Minas Gerais. A produção nacional em 2013 foi de 3.801.324 toneladas, em uma área plantada de 57.196 mil hectares, com aproximadamente 65% da produção destinada ao consumo *in natura* e 35% ao processamento industrial. Atualmente seu consumo per capita está em torno de 18 kg/ano, o que representa um incremento de consumo acima de 35% nos últimos 10 anos (IBGE, 2015).

O tomate pode ser utilizado de diversas formas, tanto consumido *in natura*, em saladas, como na forma processada, em ketchup, molhos, doces e sucos. A cultivar Pizzadoro é um híbrido de tomate de mesa do tipo italiano (saladete) e produz frutos de

extrema qualidade, além de possuir ótimo potencial produtivo e bom nível de resistência a doenças, como requeima, podridão-mole, vira-cabeça (CEAGESP, 2003; FILGUEIRA, 2003; ALVARENGA, 2004). Destaca-se pela coloração vermelha intensa, pelo sabor agradável, por frutos firmes e boa conservação, possibilitando a colheita em um estágio de maturação mais avançado, garantindo, assim, um melhor sabor, e proporcionando mais flexibilidade quanto ao transporte e à comercialização a longas distâncias (BINOTI et al., 2013).

Apesar disso, é uma hortaliça perecível, que necessita de cuidados da colheita à sua comercialização para garantir a manutenção da sua qualidade. À temperatura ambiente, o fruto maduro possui uma vida média útil de uma semana, com perdas variando entre 25% e 50%, enquanto parcialmente maduro conserva-se por até duas semanas, com 20% a 40% de perdas pós-colheita (BARRET REINA, 1990).

Pelo fato de apresentar elevado conteúdo de água (ao redor de 94%), está sujeito às variações de temperatura e umidade relativa do ambiente onde se encontra, cujas perdas dependendo da magnitude pode comprometer visualmente o fruto, além de ocasionar em perdas econômicas, uma vez que o tomate é comercializado por unidade de massa (MARCOS, 2001).

O estudo do comportamento fisiológico de tomates é importante para gerar informações que permitam administrar as condições de armazenamento, de modo a retardar os processos que levam à senescência, devendo ser considerados parâmetros como a intensidade da atividade respiratória e de produção de etileno, assim como a sensibilidade do fruto ao etileno exógeno (CANTWELL, 2015).

A diferenciação entre frutos climatéricos e não-climatéricos é importante para definir importantes práticas de manejo pós-colheita. Os frutos climatéricos podem ser colhidos verde-maduros ou pré-climatéricos, permitindo o controle do início do amadurecimento e do climatério. Esta prática favorece a extensão do período de transporte e armazenamento, e reduz as perdas pós-colheita por deterioração, sem que haja prejuízo no sabor e aroma dos frutos (VILAS BOAS, 2002b).

O tomate é um fruto climatérico e seu amadurecimento se inicia na porção distal, seguindo para as regiões vizinhas pelo processo de difusão livre até que se complete o processo de amadurecimento (REID, 1994; ALEXANDER; GRIERSON, 2002). Este efeito é claramente notado pela mudança de coloração no fruto, o qual se inicia no gel locular, ao redor das sementes e depois migra progressivamente para o pericarpo (HOBSON; GRIERSON, 1993).

3.2. O Etileno

No ciclo de vida dos frutos climatéricos, a produção de etileno (C_2H_4) é um dos processos metabólicos mais importantes. O etileno é um regulador vegetal gasoso que pode ser difundido a partir de fontes endógenas e exógenas, biológicas e não biológicas, desempenhando papel fundamental no amadurecimento e senescência dos frutos (VILAS BOAS, 2002a). Dentre os processos fisiológicos das plantas, o etileno é o mais simples dos compostos orgânicos, sendo um produto natural oriundo do metabolismo vegetal, produzido em quantidades variáveis com o tecido e com o estágio de desenvolvimento (KADER, 1992; QADIR et al., 1997).

A presença de etileno, independente da sua origem, resulta em um aumento do nível deste hormônio nos tecidos dos frutos. Se o etileno atinge um nível crítico, alterações são iniciadas nos metabólitos associados com o aumento da taxa respiratória (BRICEÑO et al., 1999). Os sinais para essas respostas são intermediados por proteínas receptoras de etileno, localizadas na membrana celular. Este hormônio ocasiona efeitos diversos em grande número de espécies de plantas, muitos deles indesejáveis, sendo, assim, necessário seu controle durante o período de armazenamento (PEREIRA; BELTRAN, 2002).

O aumento natural na produção de etileno antes do amadurecimento resulta no climatério respiratório, o qual fornece o suporte energético para as rápidas transformações na aparência, sabor e textura responsáveis pela qualidade comestível dos frutos (VILAS BOAS, 2002a).

Em ambientes de armazenamento e transporte, a presença do etileno pode comprometer a qualidade de frutos climatéricos e não-climatéricos por acelerar à senescência. Frutos climatéricos, como o tomate, caracterizam-se por significativas mudanças nos atributos de qualidade de acordo com a produção de etileno. A maturação, as injúrias físicas, a incidência de doenças, o aumento da temperatura acima de 30 °C e o estresse hídrico, geralmente, aumentam a taxa de produção de etileno (KADER, 1992).

Alguns requisitos, como baixa temperatura e atmosfera controlada, com baixo nível de oxigênio e elevado nível de dióxido de carbono, causam diminuição da produção e ação do etileno, bem como retardam a maturação e a deterioração dos frutos após a colheita (AZEREDO et al., 2000).

O etileno apresenta funções bastante versáteis na defesa da planta, podendo acelerar a senescência em folhas e o amadurecimento de frutos (ABELES et al., 1992), e predispor o tecido ao desenvolvimento de doenças causadas por alguns patógenos, especialmente necrotróficos. O etileno estimula o desenvolvimento de necroses (LUNDI et al., 1998), e em muitos casos leva à ocorrência de reações de hipersensibilidade (CIARDI et al., 2001). Dessa forma, diferentes mecanismos de defesa estão envolvidos no processo de resistência, cada um específico para um grupo particular de patógenos (THOMMA et al., 2001).

Por sua vez, o etileno assim como o jasmonato e o salicilato podem desempenhar importantes funções benéficas nas reações de defesa a patógenos. Plantas pré-tratadas com etileno mostraram menor suscetibilidade a *Botrytis cinerea* quando comparadas às pré-tratadas com 1-MCP (1-metil-ciclopropeno), um inibidor de etileno. O pré-tratamento com etileno induziu a expressão de diversos genes de PR-proteínas antes da infecção por *B. cinerea*. Os resultados confirmam que as reações do etileno são importantes para a resistência de tomate a *Botrytis cinerea* (DIAZ et al., 2002).

O etileno pode ativar os mecanismos de defesa da planta, como a produção de fitoalexinas (FAN et al., 2000), PR-proteínas (TORNERO et al., 1994, 1997; RODRIGO et al., 1999), a indução de fenilpropanóides (CHAPELL et al., 1984) e alterações na parede celular (BELL, 1981). A aplicação de etileno endógeno pode induzir à resistência, suscetibilidade ou não sobre a doença, dependendo da interação planta-patógeno estudado (ESQUERRÉ TUGAYÉ; LAMPORT, 1979).

3.3. Inibidores da Ação do Etileno

Vários compostos têm sido desenvolvidos para bloquear os receptores de etileno e inibir seus efeitos (SISLER et al., 1990). De acordo com Blankenship e Dole (2003), vários componentes inibidores da ação de etileno, tais como tiosulfato de prata (STS), 2,5-norbornadieno (NBD) e diazociclopentadieno (DACP) mostraram-se efetivos, mas alguns compostos não tem sua utilização aceita por apresentar elevados níveis de toxicidade.

Os ciclopropenos têm demonstrado serem eficientes antagonistas do etileno, competindo com esse hormônio pelos sítios de ligação nos receptores das membranas (SISLER; SEREK, 1997). O 1-metil-ciclopropeno (1-MCP) é considerado um dos ciclopropenos mais estudados, pois bloqueia a ação do etileno nas plantas e em frutos

armazenados. Este composto age por meio da ligação preferencial ao receptor de etileno, bloqueando os efeitos do etileno procedente de fontes internas e externas. O 1-MCP é atóxico, inodoro, eficiente em concentrações da ordem de $nL L^{-1}$ (BENASSI et al., 2003), e possui preço competitivo (SELVARAJAH et al., 2001).

Em vista disso, o 1-MCP tem sido usado na conservação de frutas e hortaliças frescas, sendo relatados vários benefícios da sua aplicação. Feng et al. (2000) e Kluge et al. (2002) relataram que o tratamento com 1-MCP retardou o amadurecimento de abacates. Almeida et al. (2000) observaram que o 1-MCP retardou o amadurecimento de mangas, promovendo atraso no pico climatérico, redução da taxa respiratória, da perda de massa e da firmeza. Por sua vez, Hojo et al. (2009) verificaram que o uso de 1-MCP em mangas mantidas sob refrigeração reduziu as perdas de massa e ácido ascórbico, retardando, mas não impedindo o amadurecimento.

Guillén et al. (2007) verificaram que todas as concentrações de 1-MCP testadas diminuíram a produção de etileno e a taxa de respiração em tomates, além de terem contido a perda da firmeza, as mudanças na coloração e o aumento no índice de maturação (SS/AT). Cliff et al. (2009) demonstraram que tomates tratados com a dose de 1-MCP foram conservados por 14 dias à temperatura de 22 °C, diferindo do controle quanto à textura e aos atributos visuais.

3.4. Embalagens

As embalagens são estratégias importantes para garantir a qualidade dos produtos e podem ser decisivas como vantagem competitiva na indústria. Neste mercado, os plásticos são a primeira opção na área alimentícia e constituem o material que mais interage com os alimentos visando à preservação da qualidade e segurança. Além disso, apresentam diferentes permeabilidades, que variam quanto às propriedades de barreira de cada tipo de material. As embalagens podem ser produzidas na forma de garrafas, sacolas, filmes e caixas. No entanto, os filmes e as embalagens plásticas laminadas estão cada vez mais presentes no mercado, pois atendem às necessidades de acondicionamento e apresentação dos alimentos exigidos pelos consumidores (SOARES et al., 2002). Materiais como polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), policloreto de vinila (PVC) e politereftalato de etileno (PET) destacam-se pela facilidade no processamento e baixo custo (MICHAELI et al., 1995; RODRIGUEZ, 1996). O politereftalato de etileno (PET) tem sido um dos polímeros mais utilizados em

embalagens de alimentos devido às suas excelentes características físico-mecânicas, apresentando boa transparência, resistência à tração, e razoável barreira a gases (YAM et al., 1999). O PET pode ser aplicado como embalagem para inúmeros produtos alimentícios, tanto na forma de garrafas, como na forma de filmes simples ou co-extrudados com outros polímeros, ou ainda, na forma de bandejas laminadas com papel cartão (FREIRE; REYES, 1997).

Ao longo do tempo, a indústria de alimentos vem sofrendo mudanças para se adaptar às crescentes exigências por parte dos consumidores. Além disso, as mudanças nas vendas a varejo e nas práticas de distribuição, como a centralização das atividades de venda, compras via internet e internacionalização do mercado, têm resultado na necessidade de aumentar o tempo de estocagem de produtos. Isto tem levado ao desenvolvimento de embalagens como forma de viabilizar a comercialização do produto (GAVA et al., 2008).

A atmosfera modificada pode ser definida como a presença de uma barreira artificial à difusão de gases em torno do produto, que resulta em redução nos níveis de O₂, aumento nos de CO₂, alterações na concentração de etileno, vapor d'água e em outros compostos voláteis (LANA; FINGER, 2000).

Nos sistemas de embalagens tradicionais, privilegia-se o uso de materiais inertes. A principal função deste sistema é a de atuar como uma barreira física contra contaminações e perdas (qualitativas e quantitativas), além de manter as características intrínsecas do produto (SOARES et al., 2012).

Contudo, nas últimas décadas, o conceito sobre embalagens de alimentos tem sido modificado, devido ao aumento da maior demanda por produtos que mantenham o frescor por maior tempo, sem perder a qualidade original do produto. Nesse contexto, diversas tecnologias de embalagem vêm sendo desenvolvidas com o objetivo de aumentar o tempo de vida útil do produto embalado, no qual se destacam as embalagens ativas ou inteligentes (DAINELLI et al., 2008).

3.4.1. Embalagens ativas

O conceito de embalagem ativa vem sendo estudado há mais de 40 anos, sendo de grande importância para a conservação de alimentos e bebidas durante a distribuição e o armazenamento (VERMEIREN et al., 2002). De acordo com Soares (1998), embalagens ativas são aquelas que interagem de maneira intencional com o alimento, visando

melhorar algumas de suas características. Desta forma, esses sistemas buscam alterar a condição de acondicionamento para aumentar a vida útil e melhorar a segurança ou as propriedades sensoriais do produto, mantendo sua qualidade (VERMEIREN et al., 2002).

As embalagens ativas, além de conferirem proteção física e contra contaminações tal qual as embalagens passivas, permitem que sejam incorporados compostos ou materiais ativos à elas e até mesmo sachês (SOARES et al., 2012).

As embalagens ativas têm sido utilizadas com sucesso em diversos países, principalmente nos Estados Unidos, Japão e Austrália. Na Europa, o desenvolvimento e a aplicação desse tipo de embalagem ainda são limitados, devido às restrições de legislação, resistência do consumidor, necessidade de conhecimento sobre a efetividade aos impactos econômico e ambiental (VERMEIREN et al., 1999). No caso do Brasil, esta tecnologia está em crescente desenvolvimento (SOARES et al., 2009; CÉSAR et al., 2010; MOURA et al., 2014; PIRES et al., 2014; DANTAS et al., 2015).

As mais importantes concepções de embalagens ativas são as substâncias que absorvem oxigênio, etileno, umidade e odor, e aquelas que emitem dióxido de carbono, agentes antimicrobianos, antioxidantes e aromas. Esta variabilidade de substâncias de incorporação possibilita seu emprego em uma larga escala de produtos (VERMEIREN et al., 1999).

No entanto, testes devem ser conduzidos com cada substância e em diferentes concentrações, a fim de se avaliar a potencialidade tecnológica, econômica e, principalmente, de segurança das embalagens. Além disso, é necessário trabalhar a questão de marketing de forma a familiarizar o consumidor com este conceito e com os benefícios advindos do emprego desta tecnologia (SOARES et al., 2012).

3.4.1.1. Absorvedores de etileno

Os elevados índices de perdas de frutas e hortaliças no Brasil apontam para a necessidade de sistemas adequados de transporte e acondicionamento, especialmente pelo fato destes produtos manterem seu metabolismo ativo durante todo período pós-colheita (VILELA et al., 2003).

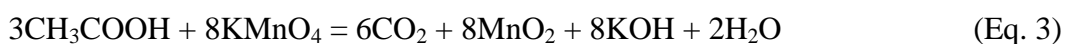
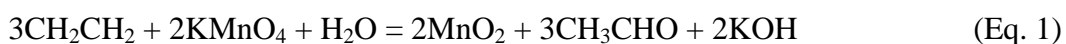
Além da proteção mecânica, as tecnologias desenvolvidas para embalagem de frutas e hortaliças visam retardar a respiração, o pico climatérico, o amadurecimento e,

consequentemente, todas as alterações indesejáveis advindas desses processos fisiológicos (PARISI et al., 2012).

A diminuição do nível de etileno na atmosfera ao redor dos produtos hortícolas tem sido bem reconhecida por atrasar o início do amadurecimento em frutos climatéricos e o desenvolvimento da senescência nos não-climatéricos. A concentração de $0,1 \mu\text{L.L}^{-1}$ de etileno no ar é frequentemente citada como limiar para a atividade fisiológica (KADER, 1985). No entanto, Wills et al. (1999, 2001) afirmaram que, qualquer nível de etileno pode produzir efeito deletério em frutas e hortaliças, sendo que a vida útil pós-colheita diminui linearmente com o aumento logarítmico da concentração de etileno.

Existem várias práticas empregadas para o controle do amadurecimento e aumento da vida pós-colheita de frutos climatéricos, destacando-se as estratégias para manipulação da síntese e ação do etileno (CHITARRA; CHITARRA, 2005). O controle dos níveis de etileno tem se mostrado eficiente no aumento da estabilidade de vegetais, o que pode ser alcançado por meio da remoção desse composto por um agente oxidante, como o permanganato de potássio (KMnO_4), que é geralmente incorporado ao sistema na forma de sachês ou encapsulado na estrutura dos filmes plásticos (ZAGORY, 1995).

Os absorvedores de etileno, tais como KMnO_4 em plataformas de amargosite e sílica gel absorvem e oxidam o etileno liberado por frutos, ao longo da maturação. O mecanismo de ação baseia-se no forte poder oxidativo do permanganato de potássio, que oxida o etileno a acetaldeído (CH_3CHO), sendo esse oxidado a ácido acético (CH_3COOH), que com o KMnO_4 suficiente, será convertido em água (H_2O) e gás carbônico (CO_2) de acordo com as equações que se seguem (RESENDE et al., 2001; SORBENTSYSTEMS, 2015).



Combinando as equações 1 a 3 obtemos a equação 4:



$3\text{CH}_2\text{CH}_2$ – etileno

12KMnO_4 – permanganato de potássio

12MnO_2 – óxido de manganês

12KOH – hidróxido de potássio

6CO_2 – gás carbônico

A habilidade do KMnO_4 em diminuir a concentração de etileno na atmosfera ao redor de produtos hortícolas foi inicialmente demonstrada por Forsyth et al. (1967) em maçãs. A redução do permanganato de potássio foi subsequentemente verificada por atrasar o amadurecimento de frutos climatéricos, como banana (SCOTT et al., 1970), kiwi (SCOTT et al., 1984), manga (ESGUERRA et al., 1978) e abacate (HATTON; REEDER, 1972). Entretanto, apesar de terem sido conduzidos poucos estudos com frutos não-climatéricos, há relatos de que o permanganato de potássio prolongou a vida útil pós-colheita de limões (WILD et al., 1976) e alfaces (KIM; WILLS, 1995) pelo atraso na perda da coloração verde e inibição do ataque microbiano, e que inibiu o desenvolvimento de podridão em morangos (WILLS; KIM, 1995).

O permanganato de potássio apresenta coloração púrpura e, quando reduzido, torna-se marrom, sendo a mudança de cor indicativa da capacidade do absorvedor. Contudo, são utilizados na forma de sachês de forma a evitar a migração do absorvedor e a transferência de cor para o alimento (SOARES et al., 2012).

Para o KMnO_4 ser eficaz, ele deve ser adsorvido à uma plataforma suporte, formando um absorvedor sólido, facilmente controlável (SALAMANCA et al., 2014). O contato íntimo entre os produtos é necessário para uma maior eficiência do processo, o qual é obtido impregnando suportes inorgânicos porosos, como vermiculita expandida ou alumina, com solução saturada de KMnO_4 . Outras plataformas de absorvedores de etileno utilizadas são esponjas embebidas em permanganato de potássio, carvão ativado, argila, zeólita, sílica gel, silicato de alumínio e óxido de alumínio (SCOTT et al., 1970; JAYAMARAN; RAJU, 1992; SHORTER et al., 1992; PICON et al., 1993; OH et al., 1996; WILLS et al., 1998; WILLS; WARTON, 2004; NEVES et al., 2006; JERÔNIMO et al., 2007; ISHAQ et al., 2009; SALAMANCA et al., 2014), porém poucos trabalhos são encontrados relatando a utilização de material nanoparticulado como plataformas para a adsorção do agente oxidante. Sardabi et al. (2003) verificaram que o KMnO_4 revestido com nanopartículas de zeólita apresentou melhor efeito sobre as características de qualidade em maçãs tratadas com 1-MCP e armazenadas a $0,5\text{ }^\circ\text{C}$ e 90% UR por 5

meses. Resultados positivos também foram obtidos por Emadpour et al. (2009) em damascos acondicionados em embalagem com KMnO_4 e zeólita nanoparticulada. Kavanagh e Wade (1987) estudaram 21 plataformas e detectaram grande variação entre elas, sendo que as de menor densidade e maior capacidade de absorção do permanganato de potássio foram as mais eficientes na diminuição dos níveis de etileno.

Blidi et al. (1993) afirmam que o KMnO_4 é o primeiro absorvedor químico de etileno adaptado para pequeno volume de armazenamento. No entanto, por ser consumido rapidamente, deve ser repostado de maneira contínua durante o período de conservação. Além disso, a alta umidade do ambiente de armazenamento diminui a eficiência do KMnO_4 , pois ele reage com a água (WILLS et al., 1998). Assim, geralmente seu emprego está associado ao uso de embalagens (SALUNKE; DESAI, 1986).

3.4.2. Embalagens inteligentes

As embalagens inteligentes consistem em modernos sistemas de acondicionamento capazes de monitorar as reais condições do alimento e/ou do ambiente externo e transmitir informações ao consumidor. Do ponto de vista prático, a embalagem está verdadeiramente em contato com o alimento e, portanto, pode ser considerada uma ferramenta simples e viável de fornecer informações sobre a qualidade do alimento durante as etapas de transporte e armazenamento. Esses sistemas consistem de sensores e indicadores baseados em reações químicas, enzimáticas, imunoquímicas ou mecânicas (HAN et al., 2005; YAM et al., 2005; WILSON, 2007).

De acordo com Yam et al. (2005), as embalagens inteligentes podem ser divididas em dois grandes grupos: as carregadoras de dados, onde estão inseridos o código de barras e as etiquetas por identificação de frequência de rádio (RFID), e as indicadoras, que incluem os sensores de tempo-temperatura, gases, toxinas e microrganismos patogênicos. As RFID podem ser ativas ou passivas. As etiquetas ativas são alimentadas por uma bateria interna e permitem processos de escrita e leitura, emitindo por si só o sinal de rádio que as identifica. As etiquetas passivas são do tipo leitura, normalmente usadas na identificação de objetos. Elas são mais baratas e respondem tanto ao sinal de rádio quanto ao que é emitido pela antena (NARCISO, 2008). A complementação de um selo indicador e de um sensor à embalagem proporciona uma saída para garantir a

segurança e integridade do produto acondicionado ao longo da cadeia de distribuição (SOARES et al., 2012).

Alguns outros exemplos de embalagens inteligentes incluem (SOARES et al., 2012):

- Códigos de barras para informar sobre reaquecimento ou cozimento do alimento acondicionado.
- Biossensores para detectar o crescimento microbiano geral ou de determinado microrganismo.
- Sensores de etileno para monitorar o amadurecimento de frutas frescas.
- Indicadores de tempo/temperatura que podem transmitir/emitir um sinal para o consumidor sobre o estado da embalagem ou do produto acondicionado.
- Indicadores das concentrações de gases no interior das embalagens, para atmosfera modificada.

3.4.3. Embalagens com nanossensores

No contexto dos nanomateriais, as nanopartículas exibem propriedades físicas, químicas e biológicas únicas quando comparadas com partículas na escala micro e macro (ABOU EL-NOUR et al., 2010). As propriedades dos nanomateriais estão relacionadas a características como o aumento da razão da área superficial/volume da partícula, o que resulta em propriedades diferenciadas, como uma elevada reatividade química (WIJNHOFEN et al., 2009; ABOU EL-NOUR et al., 2010).

Existe uma gama de aplicações da nanotecnologia na área de embalagens de alimentos. As nanopartículas podem ser incorporadas aos materiais da embalagem, funcionando como partículas reativas e também podem integrar os chamados nanossensores, que são capazes de responder às alterações ambientais (temperatura ou umidade em ambientes de estocagem, níveis de exposição ao O₂), à deterioração de produtos ou à contaminação microbiana e química (BOUWMEESTER et al., 2009).

Quando adicionados a uma embalagem, os nanossensores podem detectar a presença de determinados compostos químicos, patógenos ou toxinas, sendo assim úteis para definir o estado de segurança e qualidade de um alimento em tempo real, sem a necessidade de serem estabelecidas datas de validade imprecisas (LIAO et al., 2005).

A detecção de O₂ é um exemplo de aplicação de nanossensores em sistemas de embalagem a vácuo ou sob atmosfera de nitrogênio, visando à garantia da ausência de

O₂. Lee et al. (2005) desenvolveram um indicador colorimétrico para detecção de O₂ ativado por luz UV, através do uso de nanopartículas de TiO₂ para fotossensibilizar a redução de azul de metileno pela trietanolamina em um meio polimérico. Quando exposto à radiação UV, o sensor sofre descoloração, e permanece incolor até que seja exposto ao O₂, quando então a coloração azul é recuperada. A intensidade de recuperação de cor é proporcional ao nível de exposição ao O₂. Mills e Hazafy (2009) usaram um sistema semelhante de detecção de O₂, no qual o SnO₂ nanocristalino foi usado como fotossensibilizante em um indicador colorimétrico.

A detecção de gases produzidos pela deterioração de alimentos é outro exemplo da utilização de nanossensores. Vários tipos de sensores de gases capazes de traduzir interações químicas entre partículas em um sinal analítico têm sido desenvolvidos, baseados em estudos realizados sobre propriedades de superfícies (AZEREDO et al., 2012).

A Kraft Foods, nos Estados Unidos, em parceria com pesquisadores da Universidade da cidade de New Jersey, vem trabalhando no desenvolvimento de uma plataforma sensorial a ser adicionada em embalagens de alimentos. Ela consiste em um arranjo de nanossensores extremamente sensíveis a gases liberados por microrganismos deterioradores, que produzem alteração de cor (JOSEPH; MORRISON, 2015).

Neste contexto, a nanotecnologia se destaca como uma área promissora na busca por novos materiais e técnicas visando prolongar a vida útil de alimentos (AZEREDO, 2009), uma vez que possibilita o desenvolvimento de embalagens com sistemas ativos e inteligentes, como absorvedores de etileno e indicadores de maturação de frutos, respectivamente. Estas embalagens, além de atuarem como um sistema convencional, por fornecer uma barreira passiva, que protege o alimento contra o ambiente externo, ainda pode aumentar o tempo de vida útil e indicar o seu estado de conservação em tempo real (AHVENAINEN, 2003; AZEREDO, 2013).

Embalagens contendo indicadores de qualidade para frutos podem contribuir para conservação do produto e satisfação do consumidor. E, em se tratando do tomate, que é uma das principais hortaliças cultivadas no Brasil e, ao mesmo tempo, altamente perecível, o desenvolvimento de novas tecnologias que propiciem o controle e o monitoramento do amadurecimento são extremamente desejáveis. As nanopartículas de óxido de alumínio e dióxido de silício são resistentes, de fácil manuseio, amorfas com alta porosidade, além de possuírem boa estabilidade térmica e alta área superficial. A

coloração branca de ambas permite uma melhor visualização da mudança de cor do KMnO_4 quando este é reduzido na presença do etileno.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos na Embrapa Instrumentação, em São Carlos, SP, em duas etapas. A primeira envolveu o desenvolvimento da plataforma impregnada com o agente oxidante KMnO_4 , associados a nanopartículas comerciais de alumina e sílica (Sigma-Aldrich Co.), como indicadores colorimétricos da maturação de tomates cv. Pizzadoro. A segunda etapa visou a avaliação da performance dos melhores indicadores colorimétricos obtidos na primeira etapa, sem redução total do KMnO_4 nas plataformas.

4.1. Experimento 1: Desenvolvimento de Plataforma Impregnada com KMnO_4 Associados a Nanopartículas de Alumina e Sílica

Os tomates de mesa cv. Pizzadoro foram obtidos em cultivo comercial no município de São Carlos, SP. Os frutos foram colhidos manualmente no estágio de maturação “breakers” (até 10% da superfície da casca de cor vermelha, amarelada ou rósea), de acordo com a classificação indicada pela USDA (2015) (Figura 1A, Anexo). Em seguida, foram acondicionados em caixas plásticas revestidas com plástico bolha e transportados em veículo não refrigerado por cerca de 15 km até a Embrapa Instrumentação. No laboratório, os tomates foram lavados com detergente neutro e sanitizados por imersão em solução de hipoclorito de sódio a 200 mg L^{-1} por 15 minutos, secos à temperatura ambiente e selecionados quanto à tamanho, ausência de defeitos e de doenças (Figura 1). Paralelamente, foi realizada a confecção do adesivo absorvedor de etileno e indicador de maturação. Para tanto, foram utilizadas diferentes concentrações de permanganato de potássio (KMnO_4), as quais foram impregnadas em nanopartículas comerciais de óxido de alumínio (nanopartículas de 13 nm de tamanho) e dióxido de silício (nanopartículas de 5-15 nm de tamanho) (Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, EUA). Os tratamentos consistiram em 2,5%, 5% (concentração típica empregada em sachês comerciais) e 10% de KMnO_4 , macerados em cadinho com as nanopartículas de alumina e sílica separadamente, além do tratamento contendo 100% de KMnO_4 . Após a maceração, pesou-se 0,3 g da mistura, que foi cuidadosamente

espalhada em cada adesivo dupla face (3,5 x 3,5 cm), cobrindo-se em seguida com filme flexível de policloreto de vinila (PVC) Alpfilm[®], de 15 µm de espessura, para evitar contato com os frutos embalados. Os adesivos foram armazenados em dessecadores até serem adicionados às embalagens para evitar a redução do KMnO₄ (Figura 2). Grupos de 3 tomates foram acondicionados em embalagem de politereftalato de etileno (PET), de 1000 mL de capacidade, munida de tampa e sem perfurações, fabricada pela Montplas[®], as quais receberam a adição de um adesivo (Figura 3) antes do fechamento. As embalagens foram vedadas com fita adesiva transparente para evitar alterações na atmosfera interna e armazenadas a 22 ± 1 °C e 90% UR por 10 dias (Figura 4). As avaliações das características físicas e químicas dos tomates, assim como da composição gasosa das embalagens foram realizadas a cada 2 dias, com exceção da perda de massa fresca, a qual foi realizada todos os dias. As características avaliadas foram: perda de massa fresca, coloração da casca, firmeza, pH, teor de sólidos solúveis, acidez titulável e índice de maturação (*ratio*). Também foi avaliada a composição gasosa do interior das embalagens. O delineamento experimental utilizado foi em esquema fatorial 7 (tratamentos) * 6 (dias de amostragem) * 3 (embalagens) e nove repetições, totalizando 387 amostras, tendo como unidade experimental cada tomate (Figura 5).



Figura 1. Secagem dos tomates à temperatura ambiente e seleção quanto ao tamanho, ausência de defeitos e de doenças.

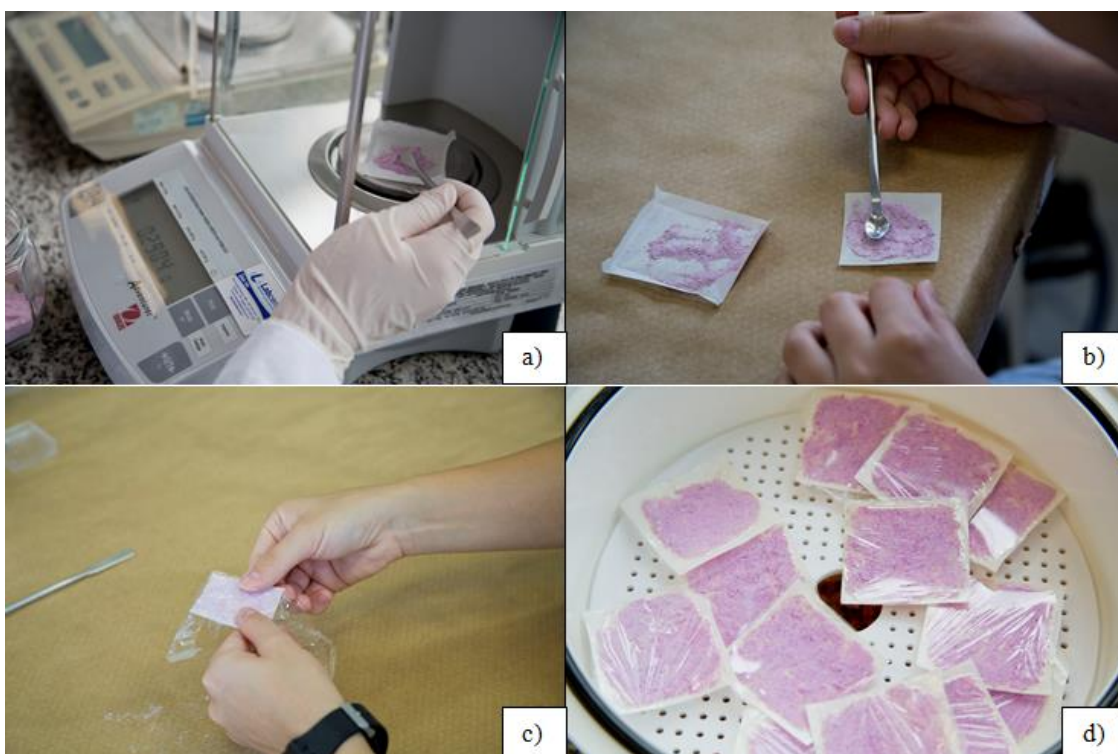


Figura 2. a) Pesagem de 0,3 g da mistura de diferentes concentrações de KMnO_4 impregnadas em nanopartículas comerciais de óxido de alumínio ou de dióxido de silício para cada adesivo; b) Espalhamento da mistura em cada adesivo dupla face; c) Recobrimento com filme flexível de PVC; d) Armazenamento dos adesivos em dessecadores.



Figura 3. Detalhe da embalagem contendo os tomates.



Figura 4. Armazenamento do produto em câmara à temperatura de 22 ± 1 °C e 90% UR por 10 dias.

Tratamentos

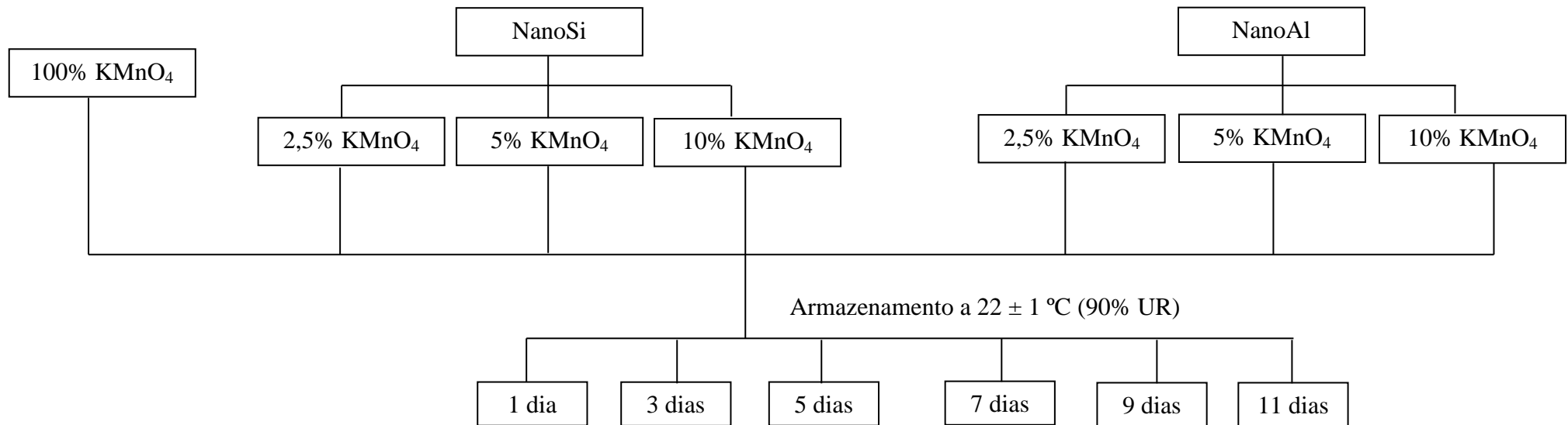


Figura 5. Esquema do experimento 1.

4.2. Experimento 2: Avaliação da Performance dos Indicadores Colorimétricos

O experimento 2 foi realizado com tomates da mesma cultivar, adquiridos no centro de distribuição Santa Cecília, em Cabreúva, SP. Os frutos foram selecionados na unidade de beneficiamento passando pelas seguintes etapas: recebimento; lavagem, secagem e escovação; classificação e embalagem. A classificação foi realizada eletronicamente por diâmetro e cor (Figura 6), de acordo com as normas do MAPA (2015). Após o beneficiamento, os tomates foram escolhidos no estádio de maturação “breakers” (USDA, 2015), acondicionados em caixas plásticas revestidas com plástico bolha e transportados em veículo não refrigerado por cerca de 200 km até a Embrapa Instrumentação. Assim que chegaram ao laboratório, os frutos foram novamente selecionados quanto à ausência de danos mecânicos, podridões e lesões. Em seguida, foram lavados com detergente neutro, sanitizados em solução de hipoclorito de sódio a 200 mg L^{-1} por 15 minutos, e secos à temperatura ambiente (Figura 7). Os tratamentos consistiram nas melhores performances obtidas como indicadores colorimétricos da maturação de tomates observadas no experimento 1, ou seja, nanopartículas de alumina contendo 5 e 10% de KMnO_4 , nanopartículas de sílica impregnadas com 10% de KMnO_4 , além do tratamento contendo 100% de KMnO_4 e do tratamento controle (sem adesivo). Os procedimentos de confecção dos adesivos e de acondicionamento dos frutos, assim como as análises físicas e químicas realizadas seguiram o procedimento descrito no experimento 1 (Item 4.1.). Os tomates foram armazenados a $22 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ e 90% UR por 21 dias até atingir cor vermelha (Figura 8), sendo avaliados a cada 2 dias quanto à coloração, firmeza, pH, teores de sólidos solúveis e de acidez titulável, assim como quanto ao índice de maturação (*ratio*). A avaliação da composição gasosa interna das embalagens foi realizada a cada 2 dias, assim como das características físicas e químicas dos tomates, com exceção da perda de massa fresca, a qual foi realizada todos os dias. O delineamento experimental utilizado foi em esquema fatorial 5 (tratamentos) * 8 (dias de amostragem) * 3 (embalagens) e nove repetições, totalizando 369 amostras, tendo como unidade experimental cada tomate (Figura 9).



Figura 6. Classificação eletrônica dos tomates por diâmetro e cor na unidade de beneficiamento Santa Cecília, em Cabreúva, SP.



Figura 7. Secagem dos tomates à temperatura ambiente e seleção quanto à ausência de danos mecânicos, podridões e lesões.



Figura 8. Armazenamento dos tomates embalados em câmara a 22 ± 1 °C e 90% UR por 21 dias.

Tratamentos

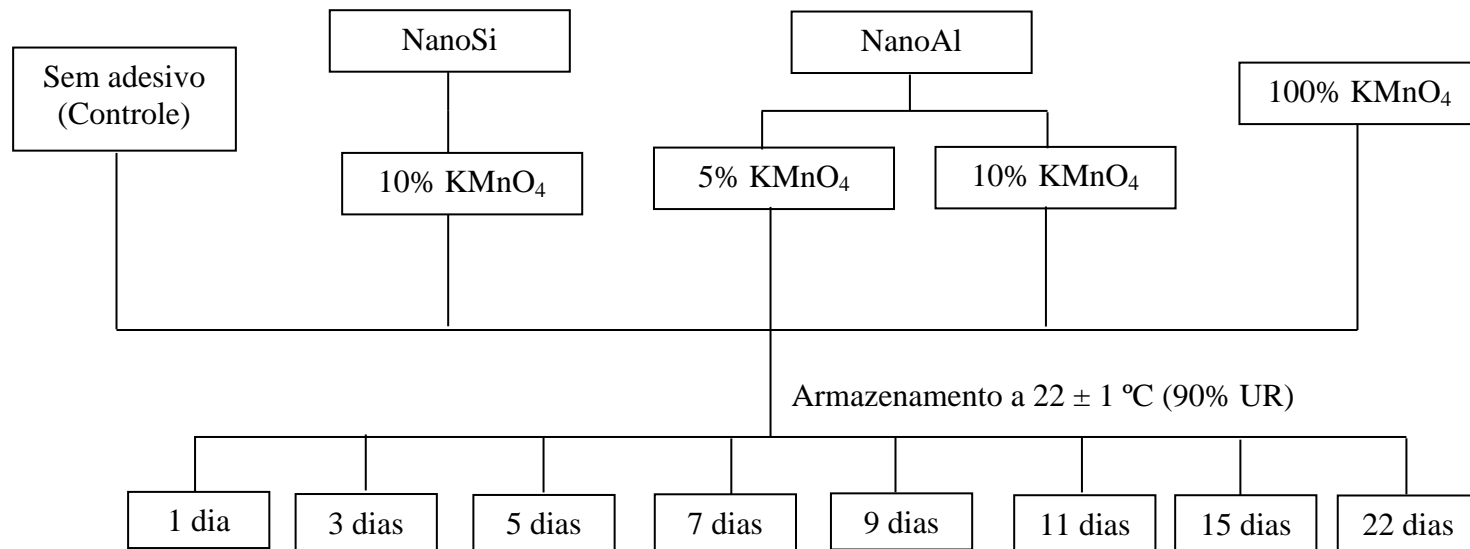


Figura 9. Esquema do experimento 2.

4.3. Avaliações

Perda de massa fresca
Coloração
Firmeza da polpa
pH
Acidez titulável
Teor de sólidos solúveis
Índice de maturação (<i>ratio</i>)
Composição gasosa (CO ₂ e Etileno)

4.3.1. Perda de massa fresca

A perda de massa fresca foi calculada como o percentual de redução relacionado ao dia 0 para 9 frutos/tratamento por dia de análise (Figura 10).



Figura 10. Pesagem dos tomates para o cálculo do percentual de perda de massa fresca.

4.3.2. Coloração

4.3.2.1. Fruto

Os parâmetros de cor da casca de tomate foram avaliados para cada um dos frutos utilizando reflectômetro Hunter Lab 45/0-L (Hunter Associates Laboratory, Inc., Reston, VA, EUA), baseados no espaço de cor CIELAB e expressos em valores de L^* , a^* e b^* , conforme sistema proposto pela L'Eclairage Commission Internationale (CIE). As leituras foram realizadas na região basal de cada tomate (Figura 11), sendo avaliados em cada dia de análise, 9 frutos por tratamento.



Figura 11. Medição de cor na região basal de cada tomate.

4.3.2.2. Adesivo

Os parâmetros de cor dos adesivos foram avaliados de maneira similar aos frutos, sendo a mensuração realizada na região central de cada adesivo (Figura 12). Em cada dia de análise, 3 adesivos por tratamento foram medidos. A reprodução da cor dos adesivos foi feita utilizando-se o software Adobe Photoshop CC, e expressa em valores de L^* , a^* e b^* .



Figura 12. Medição de cor na região central de cada adesivo.

4.3.3. Firmeza da polpa

A firmeza foi determinada com o auxílio do texturômetro TA.XTplus Texture Analyser (Stable Micro Systems Ltd., Inglaterra, Reino Unido), equipado com sonda de aço inoxidável de 4 mm de diâmetro. Foi removida uma película da casca e realizada três penetrações na região basal de cada fruto (Figura 13), sendo os resultados expressos em Newton (N).

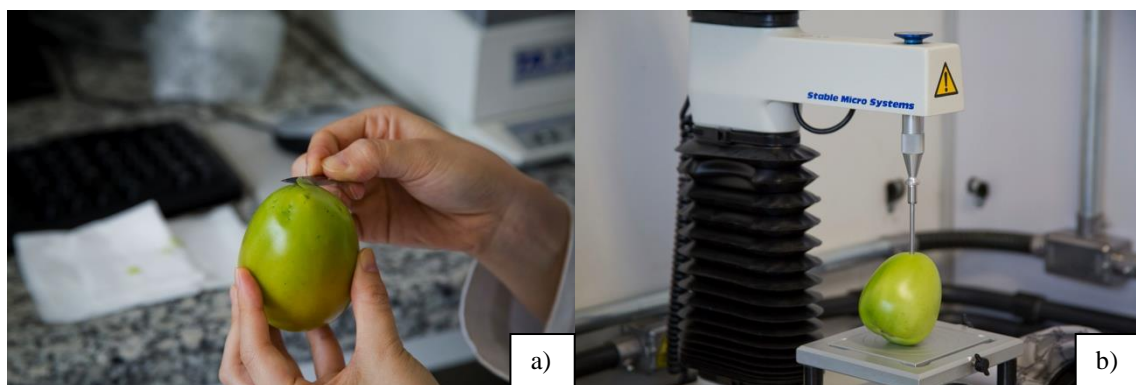


Figura 13. a) Remoção de pequena película da casca; b) Penetração na região basal.

4.3.4. pH, acidez titulável, teor de sólidos solúveis e índice de maturação (*ratio*)

O pH foi determinado potenciométricamente em pHmetro PHS-3B pela medição direta das amostras trituradas (AOAC, 2010) (Figura 14). A acidez titulável foi determinada por titulação de 10 g de amostra diluída em 50 mL de água destilada com

solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 0,1 N até atingir pH 8,1 (Figura 15), sendo expressa em g de ácido cítrico 100 g⁻¹ de polpa (CARVALHO et al., 1990; AOAC, 2010). O teor de sólidos solúveis foi medido com o auxílio de um refratômetro manual digital marca Atago RX-5000cx (Atago Co. Ltd., Tóquio, Japão), sendo os resultados expressos em °Brix (Figura 16), segundo a metodologia de Carvalho et al. (1990). Em todas as análises foram utilizadas 3 repetições com 3 frutas como unidade experimental. O índice de maturação (*ratio*) foi calculado pela relação entre os teores de sólidos solúveis e de acidez titulável.



Figura 14. Determinação de pH em pHmetro pela medição direta das amostras trituradas.



Figura 15. Determinação da acidez titulável das amostras por meio da titulação com NaOH a 0,1 N até atingir pH 8,1.



Figura 16. Mensuração do teor de sólidos solúveis com o uso de um refratômetro.

4.3.5. Composição gasosa das embalagens

Para a determinação das concentrações de CO₂ e etileno, foram retiradas alíquotas de 1 mL de gás do interior das embalagens com o auxílio de seringa de vidro HS Gauge Point, modelo Gastight, marca Hamilton, através do septo de silicone aderido à tampa (Figura 17). É importante mencionar que as embalagens foram previamente vedadas com fita adesiva transparente para evitar alterações nas concentrações de gases da atmosfera interna (Figura 18). Foram utilizados 9 frutos em cada tratamento, com 3 unidades por embalagem. A cada 2 dias foram realizadas análises de gases, retirando-se amostras em duplicata de cada embalagem, uma para determinação de CO₂ e outra para determinação de etileno. Essas alíquotas foram injetadas em cromatógrafo a gás da marca Varian (Figura 19), modelo CP-3800 com coluna Porapak N e detector de ionização de chama (FID). O gás de arraste foi o hidrogênio, a um fluxo de 30 mL.min⁻¹.



Figura 17. Coleta de 1,0 mL de gás do interior das embalagens, através do septo de silicone.



Figura 18. Tomates acondicionados em embalagens plásticas do tipo PET, vedadas com fita adesiva transparente para determinação da composição gasosa.



Figura 19. Injeção das amostras de gás em cromatógrafo a gás da marca Varian.

4.3.5.1. *Concentrações de CO₂ e de etileno*

Para a determinação da concentração de CO₂, as temperaturas da coluna, injetor, detector e metanador foram de 50, 110, 200 e 350 °C, respectivamente. As áreas de pico de CO₂ foram transformadas em ppm mediante fator de correção obtido pela injeção de gás padrão com concentração de CO₂ conhecida. No cálculo da concentração de CO₂, foram levados em consideração o volume da embalagem (1 L), a massa dos frutos e o tempo de acúmulo de CO₂, sendo os resultados expressos em mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹. O procedimento para a determinação da concentração de etileno foi o mesmo utilizado para a determinação de CO₂. A única diferença foi a temperatura do metanador, que, para esta determinação, foi de 100 °C. As áreas de pico de etileno foram transformadas em ppm mediante fator de correção obtido pela injeção de gás padrão com concentração de etileno conhecida. No cálculo da concentração de etileno, foram levados em consideração o volume da embalagem (1 L), a massa dos frutos e o tempo de acúmulo de etileno, sendo os resultados expressos em µL C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹.

4.4. Análise Sensorial

Primeiramente, buscou-se identificar se a aparência geral do produto poderia ser determinante na aceitação do consumidor, e para tanto se aplicou um teste afetivo considerando-se os atributos cor, textura e aparência geral (CAMARGO et al., 2007).

No experimentos 1 e 2, uma equipe de 73 e 53 provadores não treinados e consumidores do produto, respectivamente, avaliaram visualmente as amostras através de escala hedônica mista estruturada de 5 pontos (1 = desgostei muito, 5 = gostei muito), de acordo com os Questionários 1A e 2A (Anexo).

Em seguida, os tratamentos foram submetidos aos testes de intenção de compra (Questionário 1A, Anexo), realizados pelos mesmos consumidores não treinados. No experimento 2, a intenção de compra foi dividida com base em duas finalidades diferentes, uma para tomates *in natura* e outra para tomates processados industrialmente, em ketchup, molhos, doces e sucos (Questionário 2A, Anexo).

Os testes sensoriais foram realizados ao final dos experimentos 1 e 2, no 10º e 21º dias, respectivamente, em salas climatizadas à temperatura aproximada de 22 °C, sob luz fluorescente. As amostras foram dispostas em recipientes de isopor brancos codificados aleatoriamente. Cada um continha 3 frutos por tratamento, aos quais foram apresentados aos provadores monadicamente.

A preferência dos tomates entre os tratamentos foi calculada pela somatória, em porcentagem, entre os pontos positivos da escala hedônica mista estruturada (Questionários 1A e 2A, Anexo), de acordo com os atributos sensoriais de aparência (4 = gostei moderadamente, 5 = gostei muito) e de intenção de compra (4 = provavelmente eu compraria, 5 = decididamente eu compraria).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos casualizados, com os dados obtidos submetidos à análise estatística, conforme descrito na seção 4.5.

4.5. Análises Estatísticas

A comparação dos tratamentos foi realizada através da análise de variância (ANOVA) com medidas repetidas no tempo. Nos casos em que a condição de esfericidade da matriz de variâncias e covariâncias não foi satisfeita, utilizou-se a correção de Geisser e Greenhouse para os graus de liberdade. Os testes de comparações múltiplas de Duncan e de Games-Howell foram utilizados de acordo com a condição de homogeneidade de variância dos tratamentos.

Para avaliar a estrutura de correlação das variáveis físicas e químicas dos frutos foi executada uma análise de componentes principais, com seleção das componentes de acordo com o critério de Kaiser, ou seja, com autovalores superiores à unidade. As cargas fatoriais acima de 0,5 foram avaliadas como significativas (HAIR et al., 2005).

A identificação de padrões de cores dos adesivos foi feita pela análise de agrupamento ou de *cluster*, através do algoritmo *k-means*, de acordo com valores de L^* , a^* e b^* . As técnicas de análise de agrupamento têm como objetivo dividir um grupo original de observações em vários grupos, seguindo algum critério de similaridade ou dissimilaridade (CRUZ; REGAZZI, 1994).

A comparação dos grupos (*clusters*) em cada tratamento foi realizada através da análise de variância e teste de comparações múltiplas de Duncan ou Games-Howell nos casos em que foram formados mais de dois grupos e a anova indicou diferença entre eles.

Nos atributos da análise sensorial, a comparação entre os escores dos tratamentos foi realizada através de Anova não paramétrica e comparação múltipla de Kruskal-Wallis, devido ao nível de mensuração ordinal das variáveis, e por serem 7 e 5 amostras independentes nos experimentos 1 e 2, respectivamente.

Nos atributos da análise sensorial, a comparação entre os escores das faixas etárias e dos gêneros foi realizada através do teste de Mann-Whitney, devido ao nível de mensuração ordinal das variáveis e por serem duas amostras independentes.

A correlação entre os atributos da análise sensorial foi feita através da correlação não paramétrica de Spearman.

Os softwares utilizados para as análises estatísticas foram o SPSS/IMB, versão 19 e o Statistica/Statsoft, versão 7, adotando-se o nível de significância de 5%.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os experimentos foram conduzidos em duas etapas como descrito na metodologia (Item 4.), sendo que a segunda etapa foi derivada de uma seleção da primeira, pela escolha dos tratamentos com melhor desempenho como indicadores colorimétricos da maturação de tomates, sem redução total do $KMnO_4$ nas plataformas. Dessa forma, os resultados e discussão dos experimentos 1 e 2 foram analisados separadamente.

5.1. Experimento 1: Desenvolvimento de Plataforma Impregnada com KMnO_4 Associados a Nanopartículas de Alumina e Sílica

Os dados obtidos no experimento 1 são apresentados na Tabela 1, na qual observa-se efeito significativo do tempo para todas as variáveis ($p < 0,001$), com exceção da análise de sólidos solúveis. Efeito significativo dos tratamentos foi observado para a coloração (valores de L^* , a^* e b^*) ($p < 0,05$), porém não se verificou interação entre os fatores dias e tratamentos (Tabela 1).

Tabela 1. Análise de variância (ANOVA) com medidas repetidas no tempo.

EXPERIMENTO 1 Variáveis	Fonte de Variação		
	Dias	Dias*Tratamentos	Tratamentos
Perda de massa fresca*	< 0,001	0,259	0,128
(L^*)*	< 0,001	0,117	< 0,001
(a^*)*	< 0,001	0,146	< 0,001
(b^*)	< 0,001	0,123	0,009
Firmeza	< 0,001	0,123	0,286
pH*	< 0,001	0,154	0,447
Acidez titulável	< 0,001	0,852	0,275
Sólidos solúveis*	0,610	0,712	0,726
Ratio	< 0,001	0,935	0,521
CO_2^*	< 0,001	0,062	0,074
C_2H_4^*	< 0,001	0,860	0,937

p-valores das anovas com medidas repetidas; *utilização da correção de Geisser-Greenhouse para os graus de liberdade, devido à ausência de esfericidade.

5.1.1. Perda de massa fresca

A perda de massa fresca é um indicativo do processo de desidratação de frutas devido à transpiração. Ela envolve a transferência de água a partir da célula para a atmosfera circundante (JAVANMARDI; KUBOTA, 2006), representando, assim, uma forma de avaliar a eficácia do adesivo absorvedor na conservação da qualidade da fruta. A perda de massa fresca dos tomates aumentou significativamente em todos os tratamentos durante o período de armazenamento ($p < 0,001$), porém não houve diferença significativa entre eles ($p = 0,128$) e nem interação entre o efeito do tempo e dos tratamentos ($p = 0,259$) (Tabela 1, Figura 20). Em geral, o percentual de perda de massa foi maior entre o dia da colheita e o dia seguinte (Figura 20), possivelmente como

consequência de estresse da colheita, transporte e limpeza dos frutos (PELEG, 1985; BRECHT, 2002).

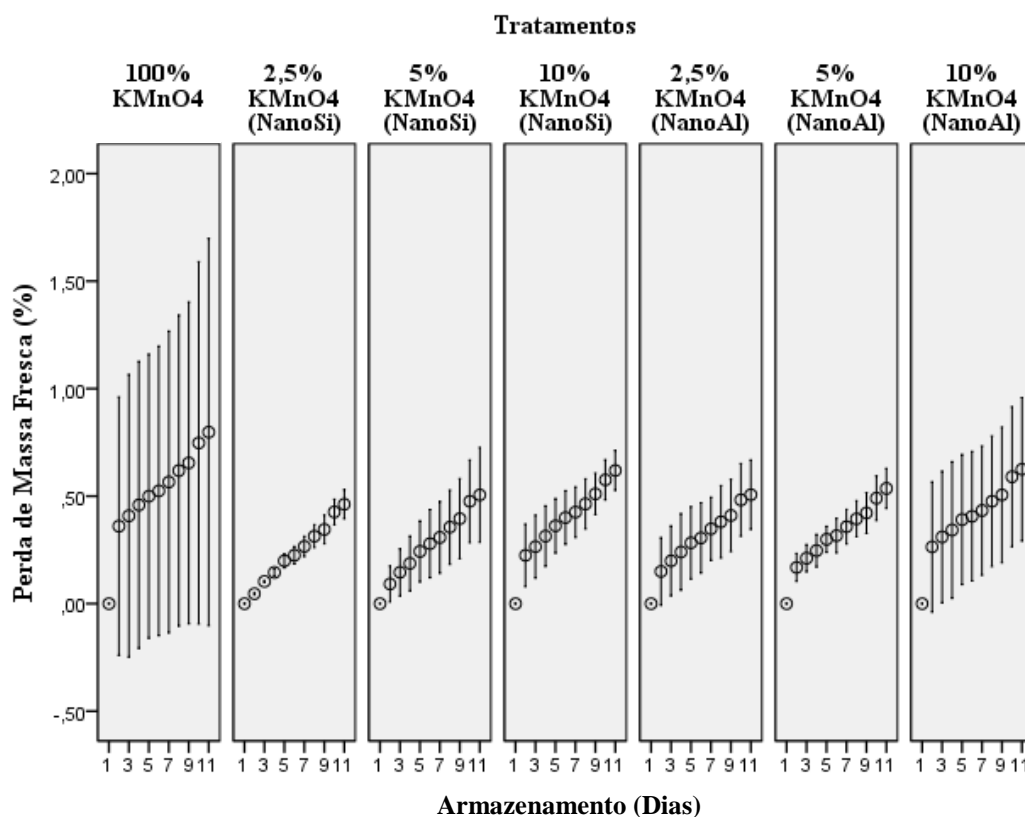


Figura 20. Efeito das plataformas de KMnO₄ associadas ou não a nanopartículas na perda de massa fresca (%) em tomates cv. Pizzadoro armazenados a 22 ± 1 °C (90% UR) por 10 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).

5.1.2. Coloração

As alterações na cor da casca durante o amadurecimento ocorrem devido a ambos os processos degradativos e sintéticos que ocorrem simultaneamente (CHITARRA; CHITARRA, 2005), e constitui uma das características mais associadas ao ponto de colheita e maturidade para consumo em tomates. No entanto, não são todos os frutos que apresentam alteração da cor durante o amadurecimento (TUCKER, 1993).

Nos resultados obtidos para a avaliação da coloração da casca dos tomates, analisados através do parâmetro L*, que indica luminosidade, pode-se observar que houve efeito significativo do período de armazenamento ($p < 0,001$) e dos tratamentos ($p < 0,001$), porém sem interação entre estes fatores ($p = 0,117$) (Tabela 1). Como a

escala varia de 0 a 100, do escuro para o claro (Figura 21), e os valores médios de L^* variaram de 55 a 45 ao longo dos dias de armazenamento (Figura 22), pode-se dizer que houve escurecimento da casca dos tomates devido ao desenvolvimento da cor vermelha. Observando a Tabela 2, verifica-se que os frutos dos tratamentos com 100% de $KMnO_4$ e de nanopartículas de alumina contendo 10% de $KMnO_4$ apresentaram a menor média de luminosidade, indicando casca mais escurecida, comparativamente aos do tratamento de nanopartículas de sílica impregnadas com 2,5% de $KMnO_4$. No entanto, mesmo os valores de luminosidade sendo estatisticamente diferentes entre os tratamentos, essas diferenças foram muito sutis, não sendo expressivas do ponto de vista prático.

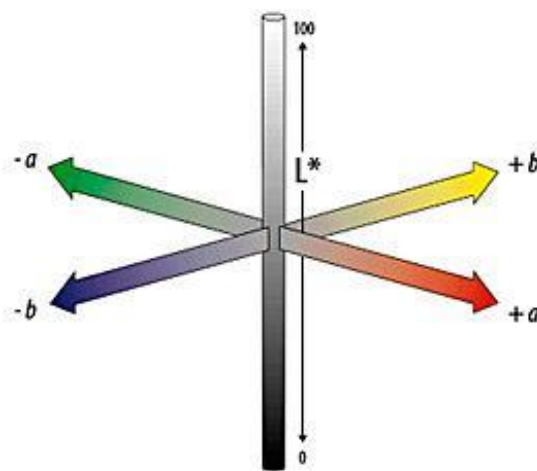


Figura 21. Espaço de cor CIELAB, expressos em valores de L^* , a^* e b^* .

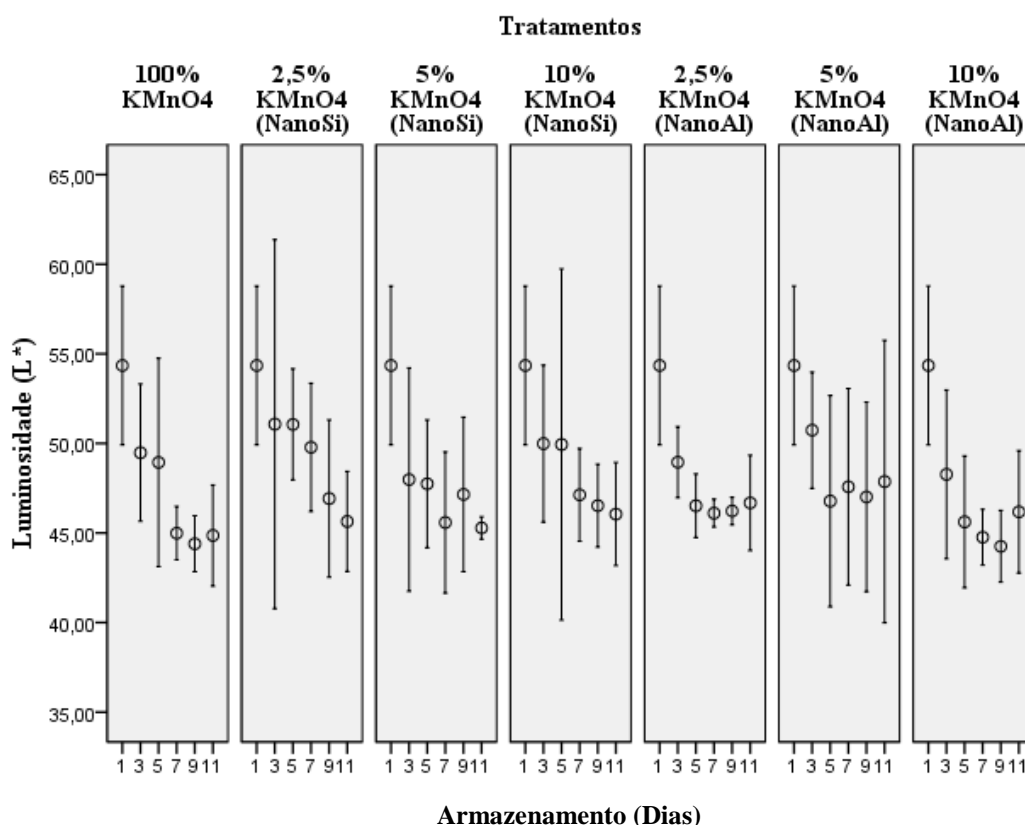


Figura 22. Efeito das plataformas de KMnO₄ associadas ou não a nanopartículas na luminosidade (L*) em tomates cv. Pizzadoro armazenados a 22 ± 1 °C (90% UR) por 10 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias (p < 0,05).

Tabela 2. Médias de luminosidade dos frutos por tratamento.

Tratamentos	Médias de Luminosidade
100% KMnO ₄	47,83 c
2,5% KMnO ₄ (NanoSi)	49,79 a
5% KMnO ₄ (NanoSi)	48,01 bc
10% KMnO ₄ (NanoSi)	49,00 ab
2,5% KMnO ₄ (NanoAl)	48,14 bc
5% KMnO ₄ (NanoAl)	49,05 ab
10% KMnO ₄ (NanoAl)	47,24 c

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de comparações múltiplas de Games-Howell (p < 0,05).

O parâmetro a* da coloração também foi significativamente influenciado pelo período de armazenamento (p < 0,001) e pelos tratamentos (p < 0,001), porém sem interação expressiva entre os mesmos (p = 0,146) (Tabela 1). Como a escala varia de - a +, da coordenada de cor verde para a vermelha (Figura 21), e os valores médios de a* variaram de 10 a 30 ao longo dos dias de armazenamento (Figura 23), pode-se dizer que

os frutos se tornaram avermelhados com o avanço dos dias. A cor vermelha é o resultado da degradação da clorofila, bem como da síntese de licopeno e de outros carotenóides, como cloroplastos convertidos em cromoplastos (FRASER et al., 1994). Analisando-se o efeito dos tratamentos na Tabela 3, observa-se que os frutos do tratamento com 100% de KMnO_4 e de nanopartículas de alumina contendo 10% de KMnO_4 apresentaram a maior média de a^* , indicando maior intensidade da cor vermelha que os tomates do tratamento de nanopartículas de sílica impregnadas com 2,5% de KMnO_4 . No entanto, apesar deste parâmetro ter variado significativamente do ponto de vista estatístico, as diferenças foram muito sutis, não sendo expressivas do ponto de vista prático.

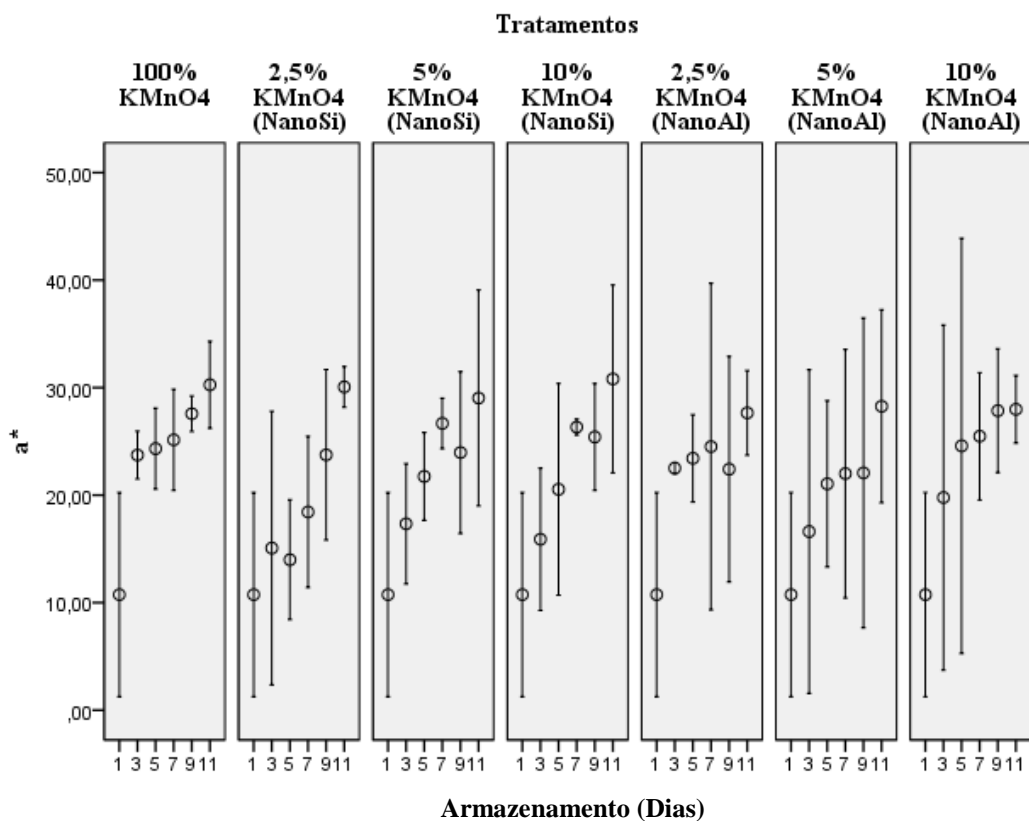


Figura 23. Efeito das plataformas de KMnO_4 associadas ou não a nanopartículas no parâmetro de cor a^* em tomates cv. Pizzadoro armazenados a 22 ± 1 °C (90% UR) por 10 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).

Tabela 3. Médias de a* dos frutos por tratamento.

Tratamentos	Médias de a*
100% KMnO ₄	23,63 a
2,5% KMnO ₄ (NanoSi)	18,68 c
5% KMnO ₄ (NanoSi)	21,58 ab
10% KMnO ₄ (NanoSi)	21,62 ab
2,5% KMnO ₄ (NanoAl)	21,88 ab
5% KMnO ₄ (NanoAl)	20,12 bc
10% KMnO ₄ (NanoAl)	22,73 a

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de comparações múltiplas de Duncan ($p < 0,05$).

Tal qual os demais componentes da coloração, o parâmetro b* também foi influenciado pelos dias de armazenamento ($p < 0,001$) e pelos tratamentos ($p = 0,009$), porém sem interação entre o efeito do tempo e dos tratamentos ($p = 0,123$) (Tabela 1). Como a escala varia de - a +, da coordenada de cor azul para a amarela (Figura 21), e os valores médios de b* variaram de 40 a 35 ao longo dos dias de armazenamento (Figura 24), pode-se dizer que houve diminuição da contribuição da cor amarela na composição da cor da casca dos tomates. Quanto ao efeito dos tratamentos, observou-se que os frutos do tratamento com nanopartículas de alumina contendo 5% de KMnO₄ apresentaram a maior média de b*, indicando maior intensidade da cor amarela que os do tratamento de nanopartículas de alumina impregnadas com 10% de KMnO₄. No entanto, mesmo os valores do parâmetro b* sendo significativamente diferentes entre os tratamentos, essas diferenças foram muito sutis, sendo inexpressivas do ponto de vista prático (Tabela 4).

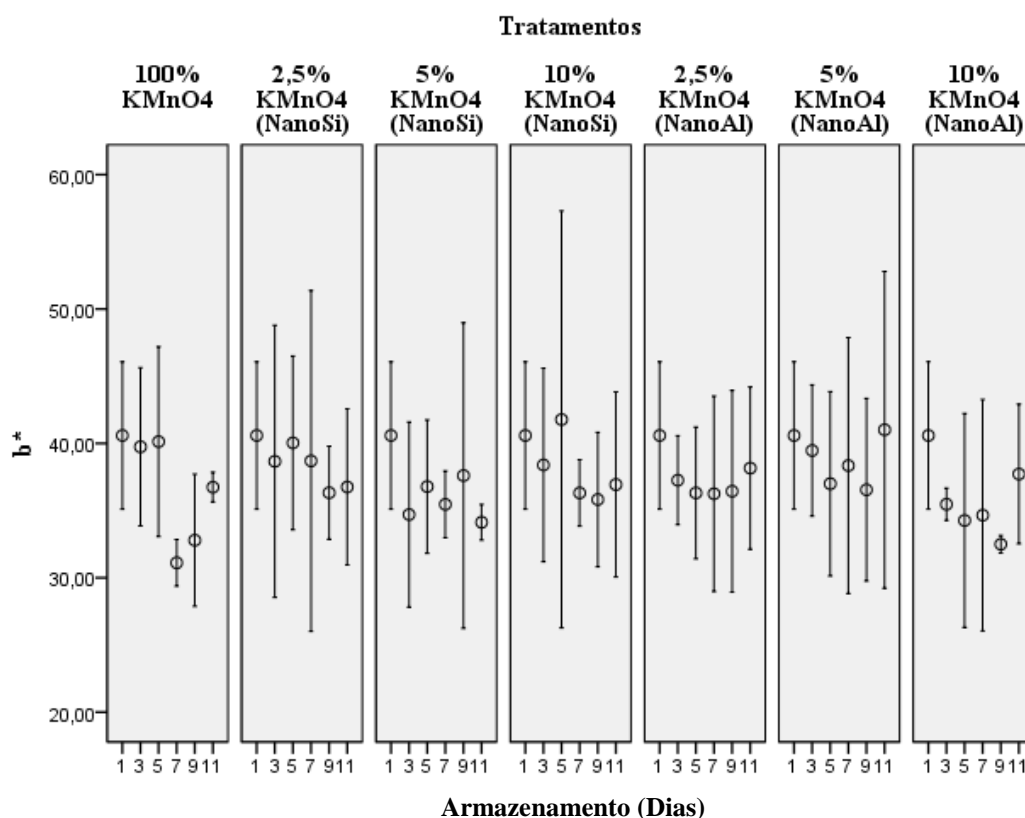


Figura 24. Efeito das plataformas de KMnO₄ associadas ou não a nanopartículas no parâmetro de cor b* em tomates cv. Pizzadoro armazenados a 22 ± 1 °C (90% UR) por 10 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias (p < 0,05).

Tabela 4. Médias de b* dos frutos por tratamento.

Tratamentos	Médias de b*
100% KMnO ₄	36,85 bcd
2,5% KMnO ₄ (NanoSi)	38,51 ab
5% KMnO ₄ (NanoSi)	36,54 cd
10% KMnO ₄ (NanoSi)	38,30 abc
2,5% KMnO ₄ (NanoAl)	37,50 abcd
5% KMnO ₄ (NanoAl)	38,83 a
10% KMnO ₄ (NanoAl)	35,86 d

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de comparações múltiplas de Games-Howell (p < 0,05).

5.1.3. Firmeza da polpa

A firmeza da polpa do fruto é determinada pela força de coesão entre as pectinas. Com a evolução do amadurecimento ocorre atuação de enzimas pectinolíticas, que transformam a pectina insolúvel em solúvel e promovem o amolecimento dos frutos

(CHITARRA; CHITARRA, 2005). A firmeza dos tomates diminuiu significativamente em todos os tratamentos durante o período de armazenamento ($p < 0,001$), porém não houve diferença significativa entre eles ($p = 0,286$) e nem interação entre o efeito do tempo e dos tratamentos ($p = 0,123$) (Tabela 1). Ao longo dos dias de armazenamento, houve redução de 20 para 9 N nos valores da firmeza (Figura 25), o que corresponde a uma diminuição de 55% da rigidez da polpa, possível resultado do amadurecimento dos frutos. Semelhante à análise de perda de massa fresca, a perda da firmeza também foi maior entre os dias da colheita e o dia posterior, de cerca de 20 para 15 N (Figura 25), como possível consequência de estresse durante a colheita e a manipulação pós-colheita dos frutos (PELEG, 1985; BRECHT, 2002).

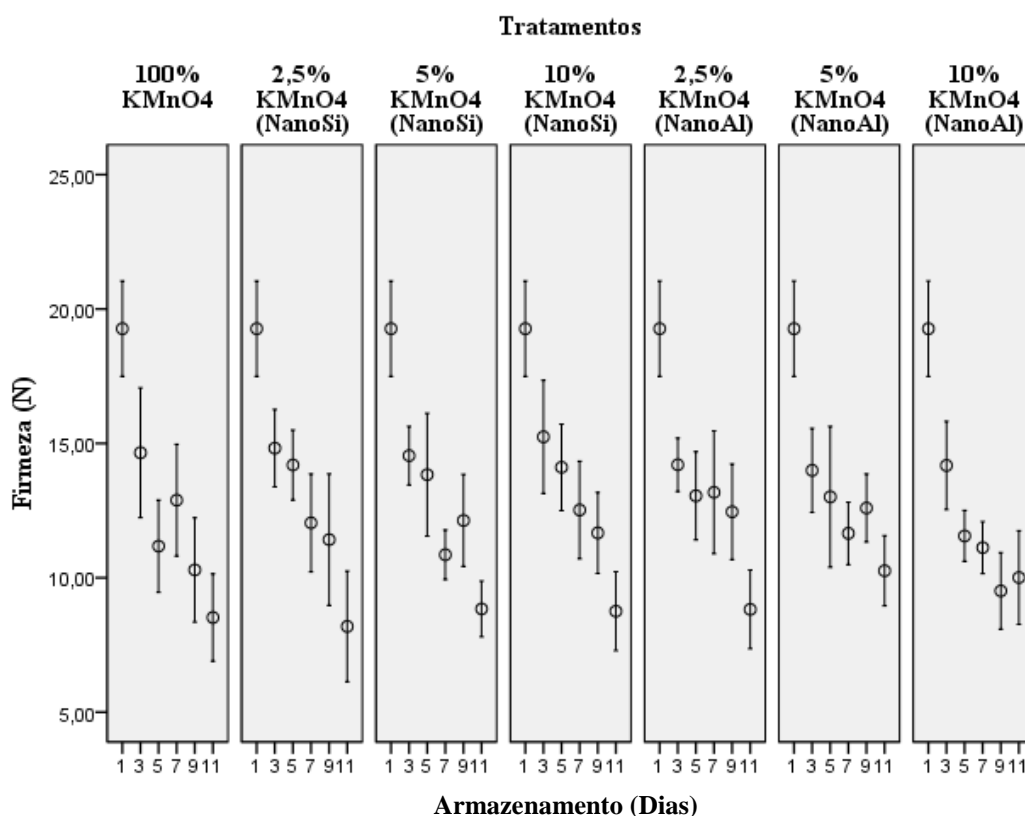


Figura 25. Efeito das plataformas de KMnO_4 associadas ou não a nanopartículas na firmeza (N) em tomates cv. Pizzadoro armazenados a 22 ± 1 °C (90% UR) por 10 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).

5.1.4. pH, acidez titulável, teor de sólidos solúveis e índice de maturação (*ratio*)

Os tratamentos não interferiram na qualidade dos tomates, representada pelo pH ($p = 0,447$), acidez titulável ($p = 0,275$), teor de sólidos solúveis ($p = 0,726$) e *ratio* ($p = 0,521$) (Tabela 1).

Durante o armazenamento, houve aumento significativo nos valores de pH e diminuição nos de acidez titulável na polpa dos tomates de todos os tratamentos ($p < 0,001$) (Tabela 1, Figuras 26 e 27). Os valores de pH encontrados neste trabalho estão próximos da faixa de 4,0 a 4,5 indicada por Jones (1998), considerada adequada para a comercialização de tomates e, ao mesmo tempo, foram similares aos obtidos por Costa et al. (2006) em vários genótipos de tomate cereja. De acordo com Chitarra e Chitarra (2005), o conteúdo de ácidos orgânicos e a adstringência dos frutos diminuem com a maturação devido ao processo de respiração ou à sua conversão em açúcares. O comportamento observado neste trabalho indica que o pH do fruto aumenta com a diminuição da acidez, podendo ser usado como um indicador desta variação. Este é um dado importante, uma vez que as mudanças na acidez interferem no desenvolvimento do sabor característico dos tomates (KAYS, 1991; NASCIMENTO et al., 2013).

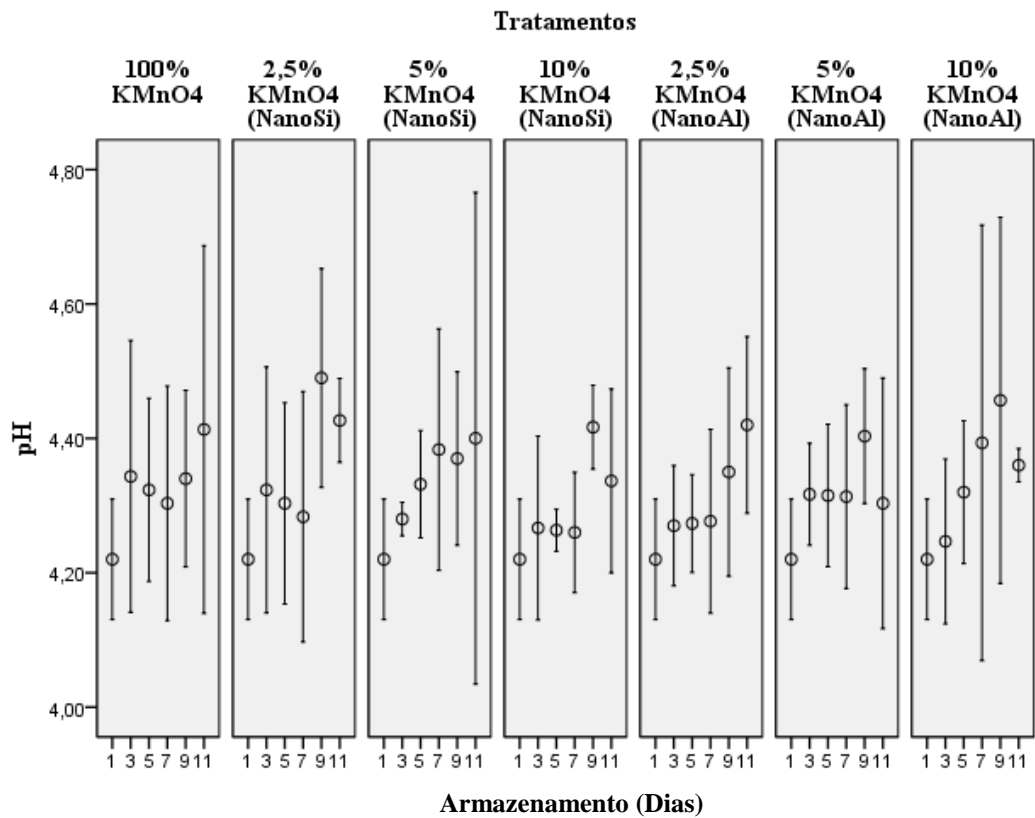


Figura 26. Efeito das plataformas de KMnO_4 associadas ou não a nanopartículas no pH em tomates cv. Pizzadoro armazenados a 22 ± 1 °C (90% UR) por 10 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).

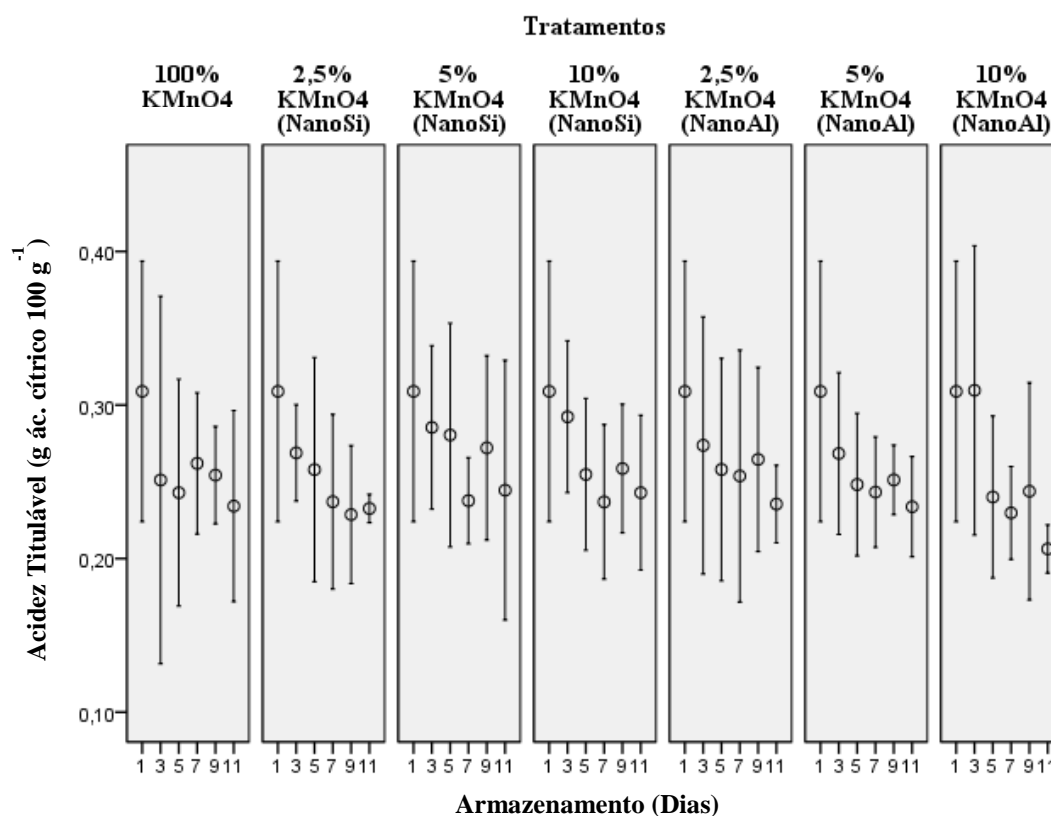


Figura 27. Efeito das plataformas de KMnO_4 associadas ou não a nanopartículas na acidez titulável ($\text{g ácido cítrico } 100 \text{ g}^{-1}$) em tomates cv. Pizzadoro armazenados a 22 ± 1 °C (90% UR) por 10 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).

Para o teor de sólidos solúveis, principal componente responsável pelo sabor do fruto, não houve efeito significativo do tempo de armazenamento ($p = 0,610$) e nem diferença entre os tratamentos ($p = 0,726$) e interação ($p = 0,712$), como pode ser observado na Tabela 1. No entanto, os valores obtidos estiveram entre 4,60 e 4,74 °Brix (Tabela 5), que é a faixa comum publicada em outros estudos (FONTES et al., 2000; SAMPAIO; FONTES, 2000; GUILHERME et al., 2014). E, ao mesmo tempo, foram semelhantes aos encontrados em outras cultivares de tomate por Ferreira et al. (2005) para a cv. Santa Clara (de 4,28 a 5,44 °Brix), para a cv. Débora (de 4,2 a 4,7 °Brix) por Borguini (2002) e para a cv. Kátia (4,4 °Brix) por Cavassa e Ferreira (2004).

Tabela 5. Médias do teor de sólidos solúveis (°Brix) dos frutos por tratamento.

Tratamentos	Médias do teor de sólidos solúveis (°Brix)
100% KMnO ₄	4,72 a
2,5% KMnO ₄ (NanoSi)	4,64 a
5% KMnO ₄ (NanoSi)	4,74 a
10% KMnO ₄ (NanoSi)	4,63 a
2,5% KMnO ₄ (NanoAl)	4,69 a
5% KMnO ₄ (NanoAl)	4,64 a
10% KMnO ₄ (NanoAl)	4,60 a

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pela análise de variância ($p < 0,05$).

O *ratio* caracteriza o sabor do tomate, principalmente o relacionado ao balanço doce/ácido. Durante o armazenamento, houve um aumento significativo na relação SS/AT em todos os tratamentos ($p < 0,001$) (Tabela 1, Figura 28). O fruto do tomateiro é considerado de excelente sabor quando apresenta valor para esta relação superior a 10 (KADER et al., 1978), sendo ótimo para o consumo em torno de 14,5 (GIL et al., 2002). Como os valores do *ratio* variaram entre 15 e 20 (Figura 28), pode-se inferir que, inicialmente, os tomates obtidos independente do tratamento apresentavam sabor agradável e eram adequados para o consumo *in natura*, e que ao longo do período de avaliação, os frutos amadureceram e foram perdendo a qualidade, podendo, ao final do armazenamento serem utilizados para o consumo processado.

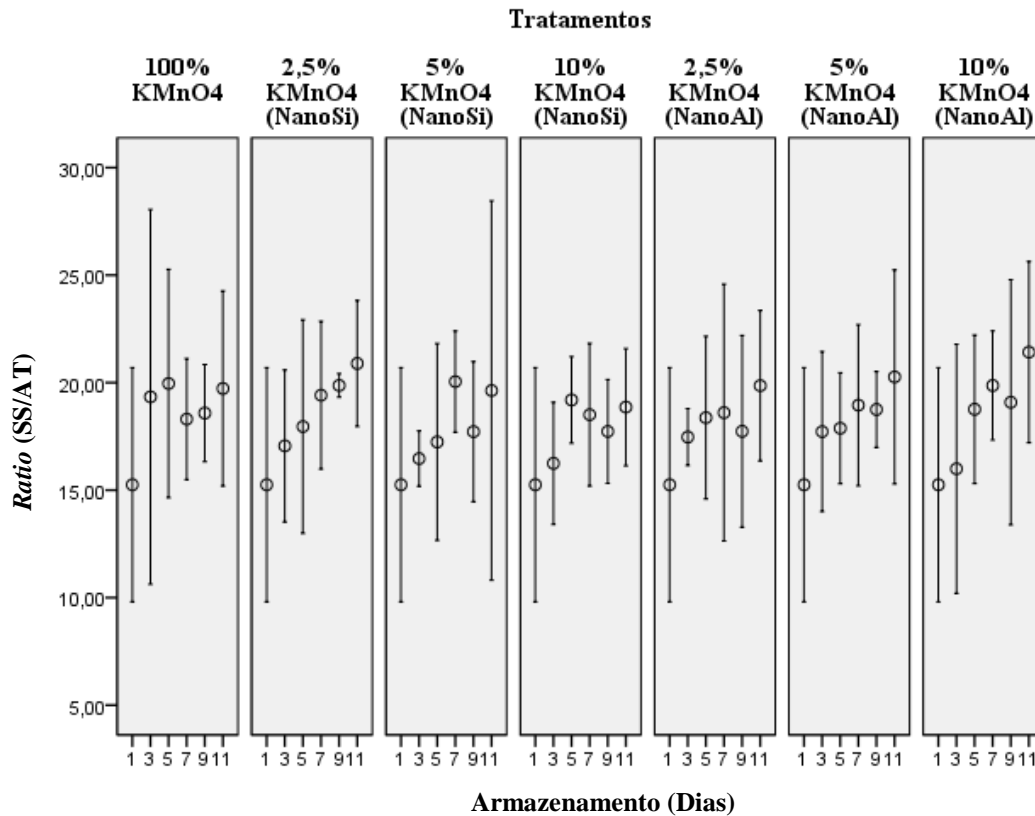


Figura 28. Efeito das plataformas de KMnO_4 associadas ou não a nanopartículas no *ratio* (SS/AT) em tomates cv. Pizzadoro armazenados a 22 ± 1 °C (90% UR) por 10 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).

5.1.5. Concentração de CO_2

Os níveis de CO_2 no interior das embalagens diminuíram significativamente com o avanço dos dias de armazenamento ($p < 0,001$). No entanto, não houve diferença significativa entre os tratamentos ($p = 0,074$) e nem interação entre o efeito do tempo e dos tratamentos ($p = 0,062$) (Tabela 1, Figura 29). Kader e Morris (2015) também relataram comportamento semelhante em tomates cvs. UC 134 e VF 145B-7879. Segundo esses autores, níveis elevados de CO_2 no início do armazenamento estão relacionados às operações de colheita e aos procedimentos de pós-colheita, o que também foi observado por Calegario et al. (2001) e Magalhães et al. (2009). Os teores de CO_2 foram elevados no primeiro dia (13,04 a 6,10 $\text{mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) e reduziram aproximadamente a metade no terceiro dia (Figura 29), o que pode ser atribuído à maior manipulação nos processos de transporte e limpeza dos tomates (PELEG, 1985; BRECHT, 2002).

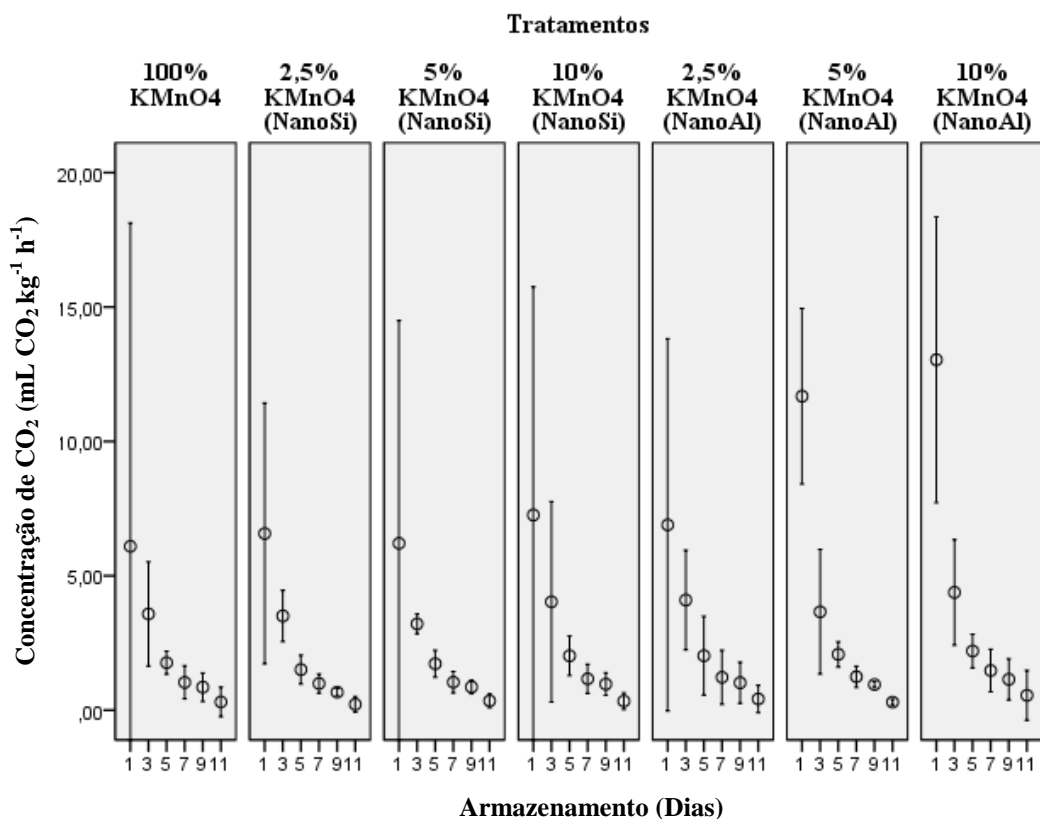


Figura 29. Efeito das plataformas de KMnO₄ associadas ou não a nanopartículas nas concentrações de CO₂ (mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹) em função dos dias e dos tratamentos para tomates cv. Pizzadoro armazenados a 22 ± 1 °C (90% UR) por 10 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias (p < 0,05).

5.1.6. Concentração de etileno

O perfil da concentração de etileno nos tomates foi semelhante ao do CO₂, o qual foi caracterizado por decréscimo ao longo do tempo (p < 0,001), não havendo diferença significativa entre os tratamentos (p = 0,937) e nem interação entre o efeito do tempo e dos tratamentos (p = 0,860) (Tabela 1, Figura 30). Tal qual o CO₂, o primeiro dia de armazenamento também se destacou pelas maiores concentrações de etileno no interior das embalagens (Figura 30), seguido de diminuição, o que pode ser atribuído ao efeito dos adesivos absorvedores de etileno.

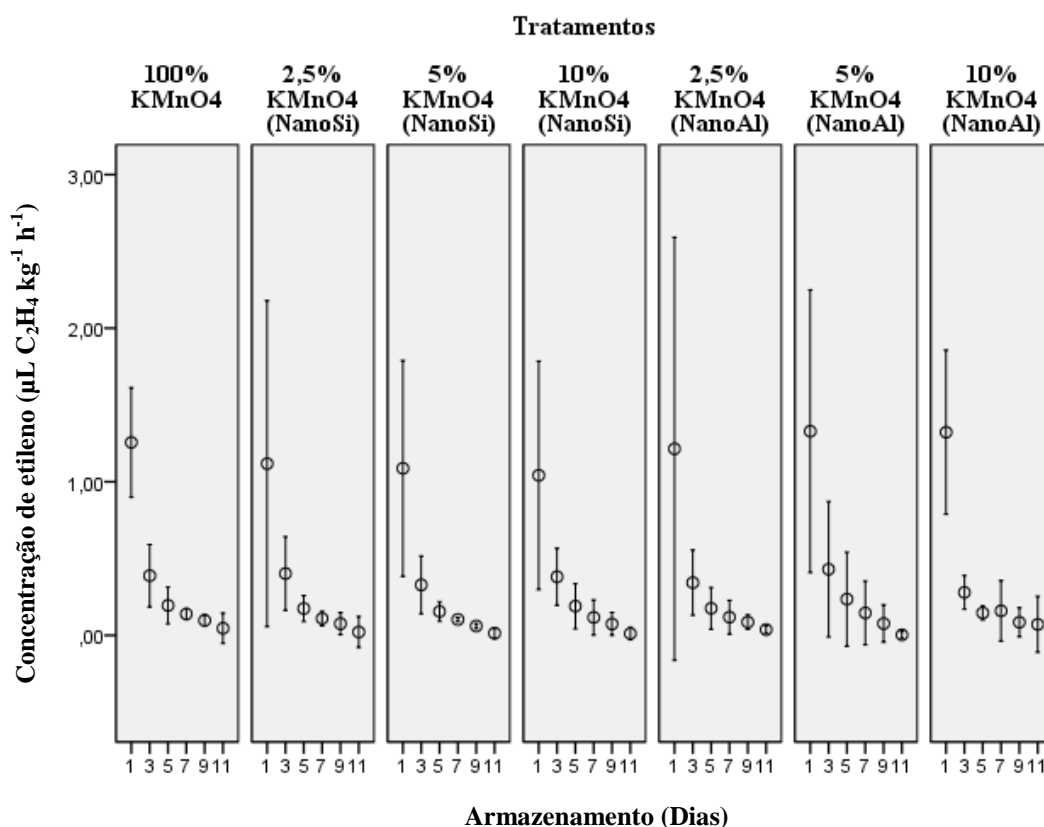


Figura 30. Efeito das plataformas de KMnO_4 associadas ou não a nanopartículas nas concentrações de etileno ($\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) em função dos dias e dos tratamentos para tomates cv. Pizzadoro armazenados a $22 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ (90% UR) por 10 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).

Na literatura, o benefício dos absorvedores de etileno em vegetais tem sido evidenciado por vários autores (HAO; HAO, 1993; LIN; ZHANG, 1993; JIANG et al., 1997; SILVA et al., 2010; SALAMANCA et al., 2014). Salamanca et al. (2014) relataram que tomates cv. Chonto acondicionados em embalagens PET com absorvedores de etileno compostos por uma mistura de argila zeólita e KMnO_4 e armazenados a $18 \text{ }^\circ\text{C}$ e 85% UR durante 28 dias, apresentaram retardo no amadurecimento, expressos por menores perdas de massa fresca e firmeza, maiores valores de acidez titulável e teores mais baixos de sólidos solúveis.

Lin e Zhang (1993) e Jiang et al. (1997) constataram que embalagens de PVC contendo absorvedores de etileno à base de KMnO_4 -amargosite e KMnO_4 foram mais eficazes em prolongar a conservação pós-colheita de bananas.

Hao e Hao (1993) verificaram que morangos embalados com filme de PVC contendo KMnO_4 , e armazenados a baixas temperaturas apresentaram decréscimo na

taxa respiratória e aumento da vida útil de 20 para 30 dias, com manutenção da relação SS/AT aceitável para o consumo.

Mamões embalados em filmes de polietileno de baixa densidade (PEBD), nos quais foram incluídos sachês, contendo vermiculita impregnada com diferentes quantidades de KMnO_4 foram mantidos com qualidade até 25 dias (SILVA et al., 2010).

No entanto, alguns trabalhos também evidenciaram que o uso de absorvedores de etileno não ocasionou diferença ou trouxe benefício aos frutos. Jerônimo et al. (2007) verificaram que o uso de sachês e filmes contendo KMnO_4 impregnado em vermiculita (10 g/500 g de fruto) não interferiu na qualidade de mangas embaladas.

Neves et al. (2006) observaram que caquis embalados em embalagens de PEBD com sachês de KMnO_4 e silicato de alumínio não apresentaram diminuição da ocorrência dos distúrbios fisiológicos.

Pêssegos armazenados em minicâmaras contendo sachês de KMnO_4 a 5% impregnados em vermiculita não tiveram benefícios na conservação (BRACKMANN et al., 2003).

Os resultados das comparações das variáveis físicas e químicas entre os tratamentos demonstraram que não houve diferença significativa entre eles, porém houve interferência apenas na coloração da casca. Apesar disso, não foi possível detectar visualmente diferenças na coloração, devido aos valores serem muito próximos (Tabelas 2, 3 e 4).

Assim, no presente trabalho, os adesivos absorvedores de etileno foram capazes de absorver etileno, mas não retardar eficientemente o amadurecimento dos tomates cv. Pizzadoro, nas condições experimentais propostas. Em geral, os sachês absorvedores comerciais possuem maior massa de KMnO_4 , em torno de 2 a 6 g cada (WILLS; WARTON, 2004), com cerca de 4 a 6% do composto (ABELES et al., 1992) e são encontrados em quantidades variadas dentro das embalagens, de acordo com a massa e a fisiologia dos produtos. Pelo fato do KMnO_4 constituir-se de um absorvedor químico de etileno adaptado para pequeno volume de armazenamento e ser consumido rapidamente (BLIDI et al., 1993), a baixa quantidade da mistura (0,3 g) em cada adesivo pode não ter sido suficiente para ocasionar um atraso efetivo no amadurecimento, em virtude da necessidade de substituição durante o período de conservação. A proteção dos adesivos apenas com um filme fino flexível de PVC, em contraste com os materiais mais resistentes dos sachês também pode ter contribuído para o rápido consumo do agente oxidante, pois o PVC é permeável ao O_2 , mas o C_2H_4 é uma molécula maior e de diferente polaridade, o que pode influenciar no processo. Outra variável importante que

pode ter afetado o retardo no amadurecimento seria a alta umidade observada pela condensação no interior das embalagens, diminuindo assim a eficiência do KMnO_4 , dado o seu caráter higroscópico (WILLS et al., 1998).

5.2. Experimento 1: Análise de Componentes Principais

Para avaliar a estrutura de correlação das variáveis físicas e químicas dos frutos do experimento 1, submeteu-se os resultados obtidos à Análise de Componentes Principais (PCA). Foram consideradas as duas primeiras componentes CP1 e CP2, que representaram 69,46% da variância total (Figura 31; Tabela 1A, Anexo).

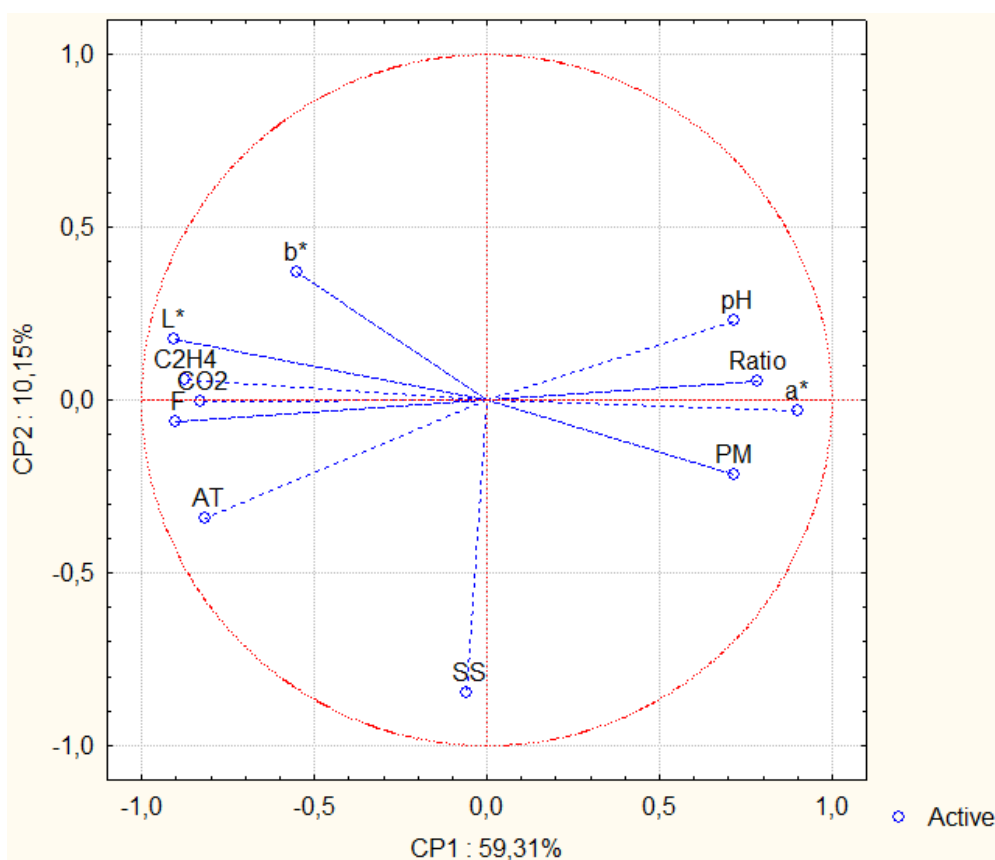


Figura 31. Projeção das 11 variáveis físicas e químicas no plano das componentes 1 e 2.







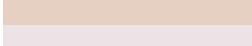

A primeira componente (CP1) está relacionada às variáveis perda de massa fresca (PM), parâmetro de cor a^* , pH e *ratio*, as quais se correlacionaram inversamente às variáveis luminosidade (L^*), parâmetro de cor b^* , firmeza (F), acidez titulável (AT), dióxido de carbono (CO_2) e etileno (C_2H_4), indicando que o aumento nos valores das variáveis do primeiro grupo implica em decréscimo nos valores do segundo grupo.

A segunda componente (CP2) está relacionada aos teores de sólidos solúveis (SS) e explica 10,15% da variância total (Figura 31). O teor de SS não se correlacionou com nenhuma das outras variáveis, indicando que ela não foi influenciada pelos fatores estudados, o que corrobora com os resultados da análise univariada (Tabela 1).

5.3. Experimento 1: Análise de Agrupamento ou de *Cluster* da Coloração dos Adesivos

Os adesivos à base de plataformas nanométricas foram avaliados como indicadores de mudança de cor, pela redução do agente oxidante permanganato de potássio na presença do etileno, conforme os tomates amadureciam. Assim, a identificação de padrões de cores dos adesivos foi feita pela análise de agrupamento, de acordo com o espaço de cor CIELAB e expressos por L*, a* e b*. Através desses parâmetros, foram identificados 8 grupos de cores, variando da cor roxa a marrom, conforme o permanganato foi reduzido (Tabela 6).

Tabela 6. Padrões de cores dos adesivos, obtidos pela análise de agrupamento (*cluster*), através dos valores de cor L*, a* e b* durante o armazenamento dos tomates.

Grupos/Clusters	Cor	L*	a*	b*
I		29,67	3,44	3,87
II		58,91	26,98	-8,87
III		63,75	22,20	-1,05
IV		66,38	16,21	8,37
V		70,75	19,92	-12,64
VI		73,85	6,26	19,33
VII		84,67	5,02	10,19
VIII		90,58	2,57	0,17

Pela Tabela 7, observa-se que os padrões de cores dos adesivos variaram entre os tratamentos, ao longo dos dias de armazenamento, sendo o permanganato reduzido de forma diferente, especialmente nas plataformas nanoestruturadas de alumina e sílica. No tratamento com 100% de KMnO_4 , a cor escura (Grupo I) se deve ao fato do permanganato possuir uma tonalidade roxa muito intensa. Como não havia uma plataforma de impregnação, não foi possível visualizar mudança de cor perceptível ao longo dos dias. Os tratamentos contendo as maiores concentrações de KMnO_4 , no caso o de nanopartículas de alumina contendo 5 e 10% de KMnO_4 e o de nanopartículas de sílica contendo 10% de KMnO_4 não tiveram o permanganato de potássio todo reduzido

ao final do experimento, apresentando um padrão de cor de grupos mais arroxeadado (Grupos III e IV) do que amarronzado (Grupo VI). Em geral, como não houve diferenças significativas nas variáveis físicas e químicas entre os tratamentos, com exceção da coloração nos frutos, sugere-se que as diferentes concentrações de KMnO_4 nos adesivos foram eficientes em absorver o etileno pela evidente mudança de cor, mas não por proporcionar retardo efetivo no amadurecimento dos tomates, sendo que as maiores concentrações mostraram-se mais eficientes em conter a redução total do permanganato de potássio.

Tabela 7. Padrões de cores dos adesivos por tratamento, ao longo dos dias de armazenamento.

Tratamentos	Grupo/Cluster	Armazenamento (Dias)					
		1	3	5	7	9	11
100% KMnO_4	I	3	3	3	3	3	3
	VIII	3	0	0	0	0	0
2,5% KMnO_4 (NanoSi)	VII	0	3	3	3	3	2
	VI	0	0	0	0	0	1
	VIII	3	0	0	0	0	0
5% KMnO_4 (NanoSi)	VII	0	2	2	2	0	0
	IV	0	1	1	1	3	1
	VI	0	0	0	0	0	2
	VIII	3	0	0	0	0	0
10% KMnO_4 (NanoSi)	III	0	3	3	3	2	0
	IV	0	0	0	0	1	3
	V	3	0	0	0	0	0
2,5% KMnO_4 (NanoAl)	III	0	2	2	1	1	0
	IV	0	1	1	2	2	0
	VI	0	0	0	0	0	3
	V	3	0	0	0	0	0
5% KMnO_4 (NanoAl)	II	0	2	2	1	0	0
	III	0	1	1	2	3	0
	IV	0	0	0	0	0	3
	V	3	0	0	0	0	0
10% KMnO_4 (NanoAl)	II	0	3	3	1	1	0
	III	0	0	0	2	2	1
	IV	0	0	0	0	0	2

Grupos/Clusters obtidos pela análise de agrupamento (*cluster*), através dos valores de cor L^* , a^* e b^* dos adesivos. As cores representam os padrões de cores dos adesivos por tratamento, ao longo dos dias de armazenamento e os números representam a quantidade de embalagens.

5.3.1. Comparação dos grupos (*clusters*)

A comparação dos grupos em cada tratamento foi realizada através da análise de variância e comparações múltiplas (Figuras 2A a 12A, Anexo), visando estabelecer estádios de maturação nos tomates com os diferentes padrões de cores dos adesivos. Observa-se na Tabela 8 que houve diferenças significativas entre os grupos em todos os tratamentos, com quase todas as variáveis físicas e químicas, à exceção do tratamento com 100% de KMnO_4 , no qual houve apenas um grupo de cor de adesivo (Grupo I). Como indicadores de maturação, foram destacados em vermelho os tratamentos nos quais foram formados mais de dois grupos de cores e a anova indicou diferença entre eles. Para o amadurecimento de frutos, ao menos 3 padrões diferentes seriam necessários para uma indicação do estágio de maturação ao qual se encontram: desde um padrão inicial, imaturo; passando pelo estágio maduro, ótimo ao consumo *in natura*; e ao final, um produto em estágio de senescência, ideal por exemplo para o processamento. Alguns tratamentos, como os de nanosílica (NanoSi) contendo 5 e 10% de KMnO_4 e, em especial, o de nanoalumina (NanoAl) contendo 5% de KMnO_4 apresentaram diferenças significativas em um maior número de variáveis, correspondendo a 4, 3 e 6, respectivamente. Neste último tratamento, houve diferenças na perda de massa, parâmetro de cor a^* , firmeza, pH, *ratio* e CO_2 . Com base nesses resultados, foram escolhidos para o experimento 2, os 3 tratamentos com melhor performance, sendo relevantes as concentrações que não foram reduzidas totalmente. No caso do tratamento de nanopartículas de alumina impregnadas com 10% de KMnO_4 , foram formados 4 grupos de cores (Grupos II, III, IV e V), mas apenas 2 estádios distintos de maturação foram encontrados para as variáveis, demonstrado pela sobreposição dos intervalos de confiança das médias dos grupos (Figuras 2A a 12A, Anexo). Pelo fato deste resultado poder ser consequência da variabilidade das amostras e não da eficiência do adesivo, pois esta concentração não foi reduzida totalmente, este tratamento foi selecionado para ser repetido no experimento 2.

Tabela 8. Comparação dos grupos (*clusters*) em cada tratamento submetida à análise de variância (ANOVA) e comparações múltiplas, como tentativa de estabelecer estádios de maturação em tomates cv. Pizzadoro.

TRATAMENTOS	GRUPO	Perda de massa	L*	a*	b*	Firmeza	pH	AT	SS	Ratio	CO ₂	C ₂ H ₄
100% KMnO ₄	I	0,38	47,83	23,63	36,85	12,80	4,32	0,26	4,72	18,53	2,27	0,35
2,5% KMnO ₄ (NanoSi)	VIII	0,00 a	54,34 a	10,74 a	40,58 a	19,27 a	4,22 a	0,31 a	4,66 a	15,25 a	6,57 a	1,12 a
	VII	0,14 b	49,18 b	19,62 b	38,34 a	12,33 b	4,36 b	0,25 b	4,61 a	18,87 b	1,45 b	0,16 b
5% KMnO ₄ (NanoSi)	VIII	0,00 a	54,34 a	10,74 a	40,58 a	19,27 a*	4,22a*	0,31 ab*	4,66 a	15,25 a	6,21 ab*	1,09 a*
	VII	0,16 b	48,06 b	21,54 b	36,52 ab	12,53 b*	4,33 b*	0,27 ab*	4,79 a	18,11 a	1,95 a*	0,18 a*
	IV	0,19 b	46,08 bc	23,49 b	35,43 b	12,70 b*	4,34 b*	0,27 a*	4,70 a	17,33 a	1,32 ab*	0,13 b*
	VI	0,30 c	45,15c	31,30 c	34,44 b	8,28 c*	4,47 ab*	0,23 b*	4,88 a	21,68 b	0,29 b*	0,01 b*
10% KMnO ₄ (NanoSi)	VIII	0,00 a	54,34 a	10,74 a	40,58 a	19,27 a	4,22 a	0,31 a	4,66 a*	15,25 a	7,26 ab*	1,04 a*
	III	0,28 b	48,90 b	21,29 b	38,60 a	13,76 b	4,29 ab	0,26 b	4,64 a*	17,62 b	2,13 a*	0,20 a*
	IV	0,38 c	46,05 b	29,91 c	36,71 a	8,99 c	4,36 b	0,24 b	4,57 a*	18,86 b	0,49 b*	0,02 b*
2,5% KMnO ₄ (NanoAl)	V	0,00 a	54,34 a	10,74 a	40,58 a	19,27 a	4,22 a	0,31 a	4,66 a	15,25 a	6,89 a	1,22 a*
	III	0,21 b	47,09 b	24,55 bc	37,10 b	12,89 b	4,28 a	0,26 b	4,59 a	17,51 ab	2,32 b	0,21 a*
	IV	0,23 b	46,81 b	21,88 b	36,02 b	13,56 b	4,30 a	0,26 b	4,83 a	18,58 b	1,86 b	0,15 a*
	VI	0,31 b	46,68 b	27,65 c	38,16 ab	8,82 c	4,42 b	0,24 b	4,67 a	19,86 b	0,42 b	0,04 a*
5% KMnO ₄ (NanoAl)	V	0,00 a	54,34 a	10,74 a	40,58 a	19,27 a	4,22 a	0,31 a	4,66 a	15,25 a	11,68 a	1,33 ab*
	II	0,19 b	48,53 b	19,82 b	38,72 a	12,65 b	4,29 b	0,26 b	4,53 a	17,63 b	2,35 b	0,23 a*
	III	0,26 c	47,66 b	20,87 b	37,21 a	12,93 b	4,37 c	0,25 b	4,68 a	18,82 bc	1,72 bc	0,22 ab*
	IV	0,32 c	47,87 b	28,27 c	41,01 a	10,26 c	4,30 b	0,23 b	4,72 a	20,27 c	0,30 c	0,00 b*
10% KMnO ₄ (NanoAl)	V	0,00 a*	54,34 a	10,74 a	40,58 a	19,27 a	4,22 a*	0,31 a	4,66 a	15,25 a	13,04 a*	1,32 a*
	II	0,29 b*	46,33 b	23,17 b	34,85 b	12,31 b	4,30 ab*	0,26 ab	4,67 a	17,98 ab	2,80 b*	0,19 b*
	III	0,39 b*	44,56 b	27,13 b	33,43 b	10,16 b	4,44 b*	0,23 b	4,59 a	19,94 b	1,14 b*	0,11 b*
	IV	0,44 ab*	46,93 b	27,98 b	38,90 a	9,93 b	4,37 b*	0,20 b	4,28 b	20,91 b	0,60 b*	0,07 b*

Médias seguidas por mesmas letras nas colunas não diferem significativamente entre si pela análise de variância ($p < 0,05$), utilizando-se o teste de comparações múltiplas de Duncan para grupos com homogeneidade de variância e o teste de comparações múltiplas de Games-Howell* para grupos com

heterogeneidade de variância. Variáveis físicas e químicas: perda de massa (%); parâmetros de cor L^* , a^* , b^* ; firmeza (N); pH, AT (g ác. cítrico 100 g^{-1}); SS ($^{\circ}\text{Brix}$); *ratio* (SS/AT); CO_2 ($\text{mL CO}_2\text{ kg}^{-1}\text{ h}^{-1}$); C_2H_4 ($\mu\text{L C}_2\text{H}_4\text{ kg}^{-1}\text{ h}^{-1}$).

5.4. Experimento 1: Análise Sensorial

A análise sensorial de frutos deve ser realizada a fim de se verificar a aceitação dos mesmos por parte dos consumidores. Essa análise é feita mediante a utilização dos sentidos humanos, como visão, gustação, olfato, audição e tato. Desta forma, as sensações que resultam da interação dos órgãos humanos dos sentidos com os alimentos são usadas para avaliar sua qualidade, aceitabilidade por parte do consumidor e nas pesquisas para o desenvolvimento de novos produtos (TEIXEIRA et al., 1987; MORAES, 1988).

Os testes sensoriais de aparência e de intenção de compra foram realizados ao final do experimento, no 10º dia, e os resultados permitiram a visualização da preferência dos tomates através de anova não paramétrica e comparação múltipla de Kruskal-Wallis pela seleção dos pontos positivos da escala hedônica mista estruturada (Questionário 1A, Anexo), com base nas maiores porcentagens dos atributos (Tabela 2A, Anexo).

O poder de compra foi maior para os frutos tratados com nanopartículas de sílica contendo 5% de KMnO_4 (Figura 32), demonstrando que o consumidor leva em consideração todo o conjunto de atributos (cor, textura e aparência geral).

Comparando-se os resultados (Figura 32) com a imagem dos tomates expostos aos provadores (Figura 33), observa-se, em geral, uma maior preferência por tomates mais avermelhados, uniformes e sem manchas ou danos. Os tomates geralmente são consumidos em sua qualidade organoléptica máxima, a qual é alcançada quando toda a superfície da casca está com cor vermelha e ainda firme. Logo, a cor é uma das características externas mais importantes para determinar a maturação e estimar a vida pós-colheita dos tomates, sendo por sua vez um fator importante na decisão de compra por parte do consumidor (LÓPEZ CAMELO; GÓMEZ, 2004).

Nas análises de qualidade, os frutos dos tratamentos com 100% de KMnO_4 e de nanopartículas de alumina contendo 10% de KMnO_4 apresentaram a menor média de luminosidade e a maior média de a^* , demonstrando maior escurecimento e intensidade da cor vermelha, principalmente com relação ao tratamento de nanopartículas de sílica impregnadas com 2,5% de KMnO_4 , que apresentou frutos mais claros e esverdeados (Tabelas 2 e 3). Na análise sensorial, os frutos do tratamento com 100% de KMnO_4 apresentaram coloração vermelha mais intensa, confirmando os resultados das análises físicas. No entanto, os resultados dos outros tratamentos da análise sensorial foram

contraditórios aos das análises físicas e químicas. Os frutos tratados com nanopartículas de alumina contendo 10% de KMnO_4 apresentaram coloração mais esverdeada, enquanto os tratados com nanopartículas de sílica contendo 2,5% de KMnO_4 apresentaram coloração mais avermelhada. Em geral, houve preferência dos provadores por tomates mais avermelhados, porém os tomates visualmente mais vermelhos não foram as primeiras opções de preferência dos provadores. Esse fato se deve à escolha ter sido não apenas com base nos parâmetros de cor, mas também na firmeza e aparência geral dos frutos (Figuras 32 e 33).

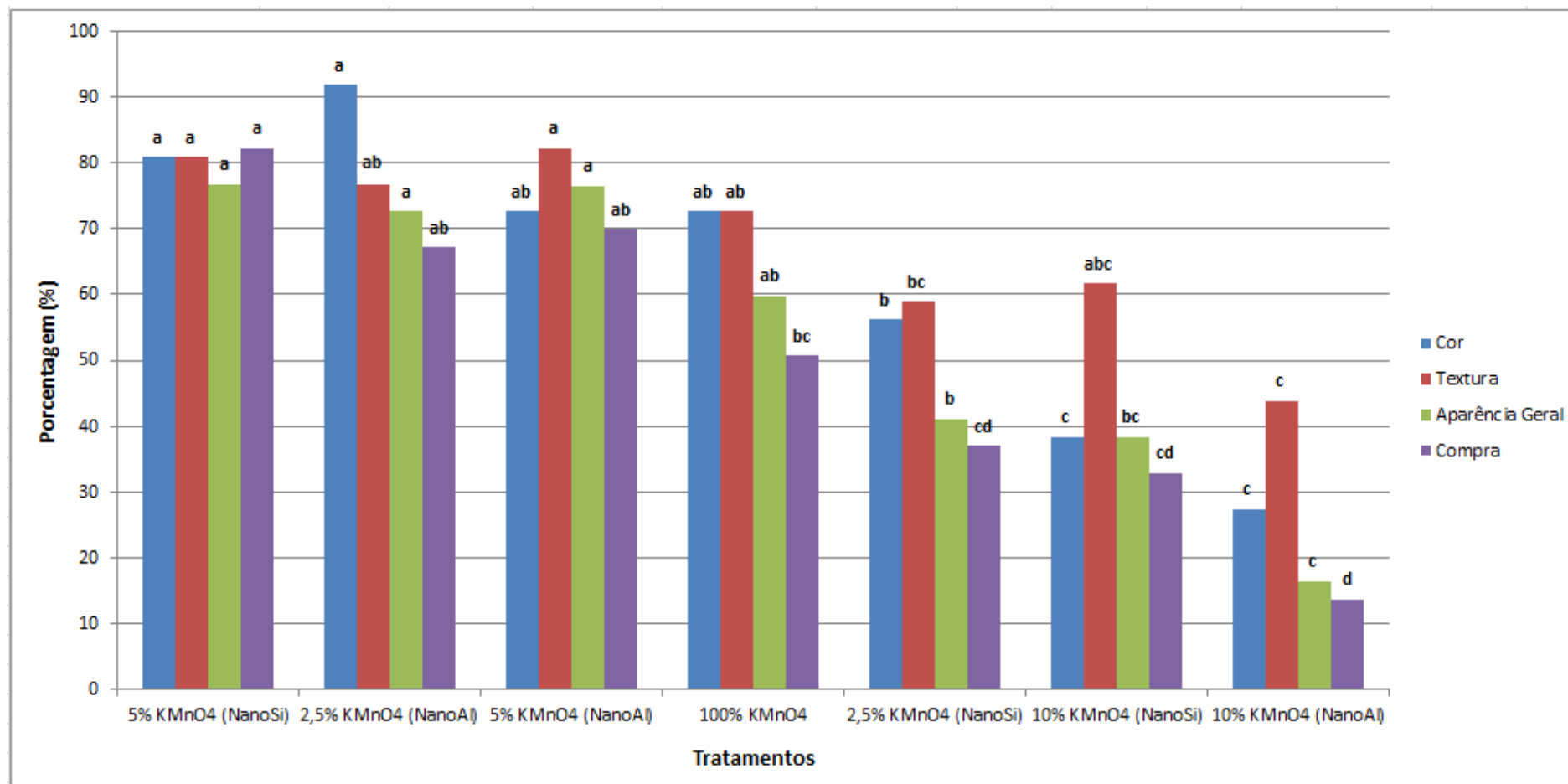


Figura 32. Preferência (%) dos tomates entre os tratamentos, em ordem decrescente, de acordo com os atributos sensoriais de aparência e de intenção de compra. Atributos com letras diferentes diferem significativamente entre si pela anova não paramétrica e comparação múltipla de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

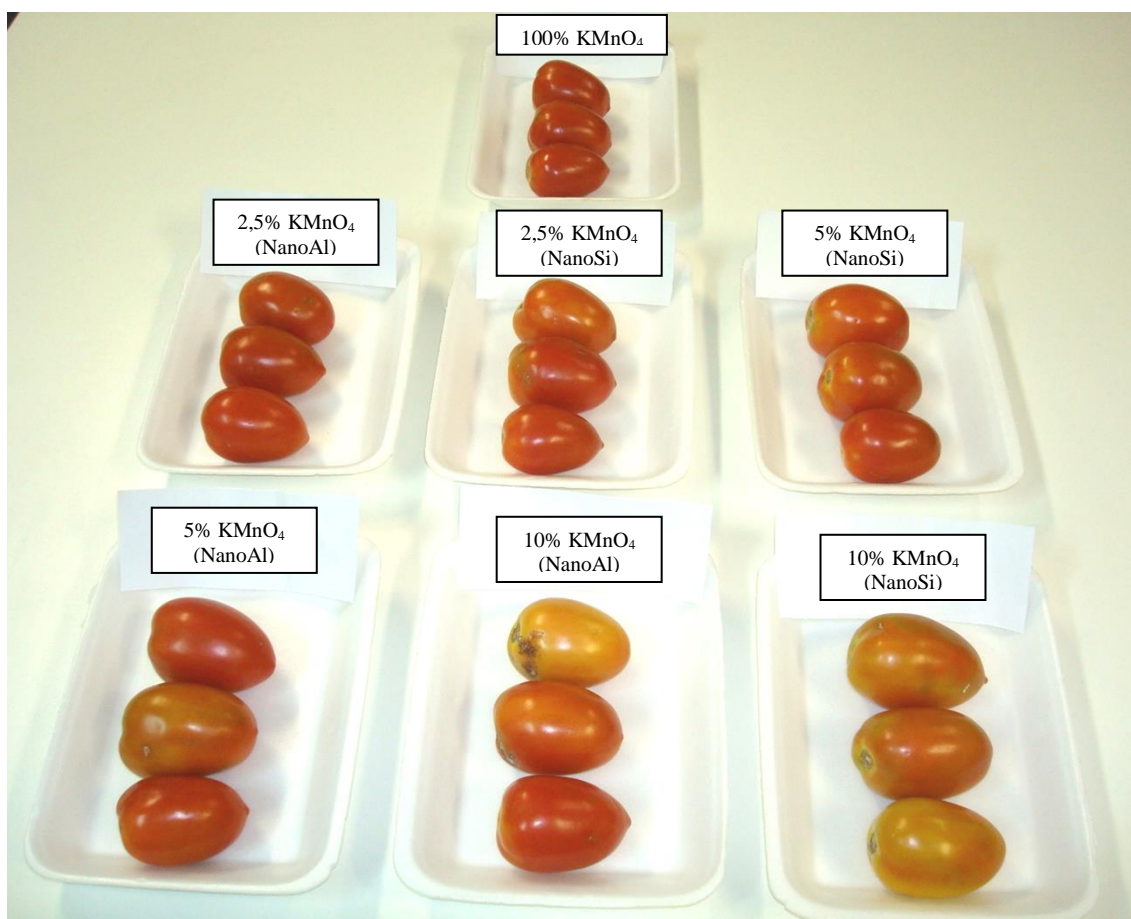


Figura 33. Aspecto visual dos tomates dos 7 tratamentos apresentados aos provadores.

Na comparação entre os escores das faixas etárias, as respostas dos provadores foram divididas em dois grupos: um até 26 anos e o outro acima de 26 anos de idade (Tabela 3A, Anexo). De acordo com a Tabela 9, observa-se que não houve diferença significativa entre as preferências nas duas faixas etárias avaliadas.

Tabela 9. Escores das faixas etárias submetidos ao teste de Mann-Whitney.

Tratamentos	Cor	Textura	Aparência Geral	Compra
100% KMnO ₄	0,102	0,483	0,621	0,824
2,5% KMnO ₄ (NanoSi)	0,205	0,257	0,488	0,303
5% KMnO ₄ (NanoSi)	0,555	0,962	0,754	0,458
10% KMnO ₄ (NanoSi)	0,115	0,612	0,306	0,177
2,5% KMnO ₄ (NanoAl)	0,865	0,299	0,895	0,893
5% KMnO ₄ (NanoAl)	0,072	0,606	0,521	0,443
10% KMnO ₄ (NanoAl)	0,634	0,164	0,359	0,514

p-valores de Mann-Whitney para escores das faixas etárias.

Na comparação entre os escores dos gêneros, as respostas dos provadores foram divididas em dois grupos: feminino e masculino (Tabela 4A, Anexo). De acordo com a Tabela 10, houve diferença significativa apenas na preferência de compra dos tomates do tratamento de 100% KMnO₄ (p = 0,009). Ao final do experimento, os tomates desse tratamento apresentaram coloração mais avermelhada (Figura 33) e pelas porcentagens de preferência (Tabela 11), os homens comprariam mais que as mulheres.

Tabela 10. Escores dos gêneros submetidos ao teste de Mann-Whitney.

Tratamentos	Cor	Textura	Aparência Geral	Compra
100% KMnO ₄	0,176	0,507	0,101	0,009
2,5% KMnO ₄ (NanoSi)	0,373	0,120	0,435	0,709
5% KMnO ₄ (NanoSi)	0,435	0,246	0,894	0,873
10% KMnO ₄ (NanoSi)	0,762	0,737	0,552	0,475
2,5% KMnO ₄ (NanoAl)	0,753	0,114	0,995	0,990
5% KMnO ₄ (NanoAl)	0,927	0,500	0,211	0,070
10% KMnO ₄ (NanoAl)	0,154	0,856	0,284	0,481

p-valores de Mann-Whitney para escores dos gêneros.

Tabela 11. Porcentagem de preferência de compra de tomates entre os gêneros.

Gênero	Tratamentos						
	100% KMnO ₄	2,5% KMnO ₄ (NanoSi)	5% KMnO ₄ (NanoSi)	10% KMnO ₄ (NanoSi)	2,5% KMnO ₄ (NanoAl)	5% KMnO ₄ (NanoAl)	10% KMnO ₄ (NanoAl)
Feminino	40,0%	33,3%	77,8%	33,3%	62,2%	60,0%	8,9%
Masculino	67,9%	42,9%	89,3%	32,1%	75,0%	85,7%	21,4%

Para a correlação entre os atributos, verificou-se que a cor e a aparência geral apresentaram maior valor de correlação do que com a textura, e que a intenção de compra esteve mais fortemente correlacionada à aparência geral e à cor, respectivamente (Tabela 12).

Tabela 12. Correlação entre os atributos através da correlação não paramétrica de Spearman.

Atributos	Cor	Textura	Aparência Geral	Compra
Cor	1,000	0,514	0,710	0,618
Textura	0,514	1,000	0,588	0,553
Aparência Geral	0,710	0,588	1,000	0,694
Compra	0,618	0,553	0,694	1,000

5.5. Experimento 2: Avaliação da Performance dos Indicadores Colorimétricos

Visando prolongar o amadurecimento e a conservação pós-colheita de tomates, os tratamentos escolhidos através do experimento anterior foram comparados estatisticamente de acordo com os resultados das variáveis físicas e químicas. Os dados obtidos no experimento 2 são apresentados na Tabela 13. Houve efeito significativo do tempo ($p < 0,05$) para todos os parâmetros, com exceção da variável b^* e dos teores de sólidos solúveis, similar ao experimento 1, na análise de sólidos solúveis (Tabela 1). Em relação aos tratamentos, houve diferença para o parâmetro de cor a^* , assim como para os valores de L^* , a^* e b^* do experimento 1, e interação significativa entre os dias e os tratamentos para as variáveis a^* , acidez titulável e *ratio*, a qual não houve no experimento 1 ($p < 0,05$) (Tabelas 1 e 13).

Tabela 13. Análise de variância (ANOVA) com medidas repetidas no tempo.

EXPERIMENTO 2 Variáveis	Fonte de Variação		
	Dias	Dias*Tratamentos	Tratamentos
Perda de massa*	< 0,001	0,303	0,534
(L^*)*	< 0,001	0,241	0,819
(a^*)*	< 0,001	0,040	0,001
(b^*)*	0,295	0,206	0,837
Firmeza*	< 0,001	0,142	0,706
pH*	< 0,001	0,752	0,343
Acidez titulável	< 0,001	0,022	0,957
Sólidos solúveis	0,173	0,930	0,782
<i>Ratio</i>	< 0,001	0,049	0,979
CO ₂ *	< 0,001	0,099	0,426
C ₂ H ₄ *	0,003	0,198	0,141

p-valores das anovas com medidas repetidas; *utilização da correção de Geisser-Greenhouse para os graus de liberdade, devido à ausência de esfericidade.

5.5.1. Perda de massa fresca

A perda de massa fresca dos tomates aumentou significativamente em todos os tratamentos durante o período de armazenamento ($p < 0,001$), porém não houve diferença significativa entre eles ($p = 0,534$) e nem interação entre o efeito do tempo e dos tratamentos ($p = 0,303$) (Tabela 13, Figura 34). Similar ao ocorrido no experimento

1, o percentual de perda de massa foi maior entre o dia da colheita e o primeiro dia de armazenamento (Figura 34), possivelmente como consequência da maior manipulação.

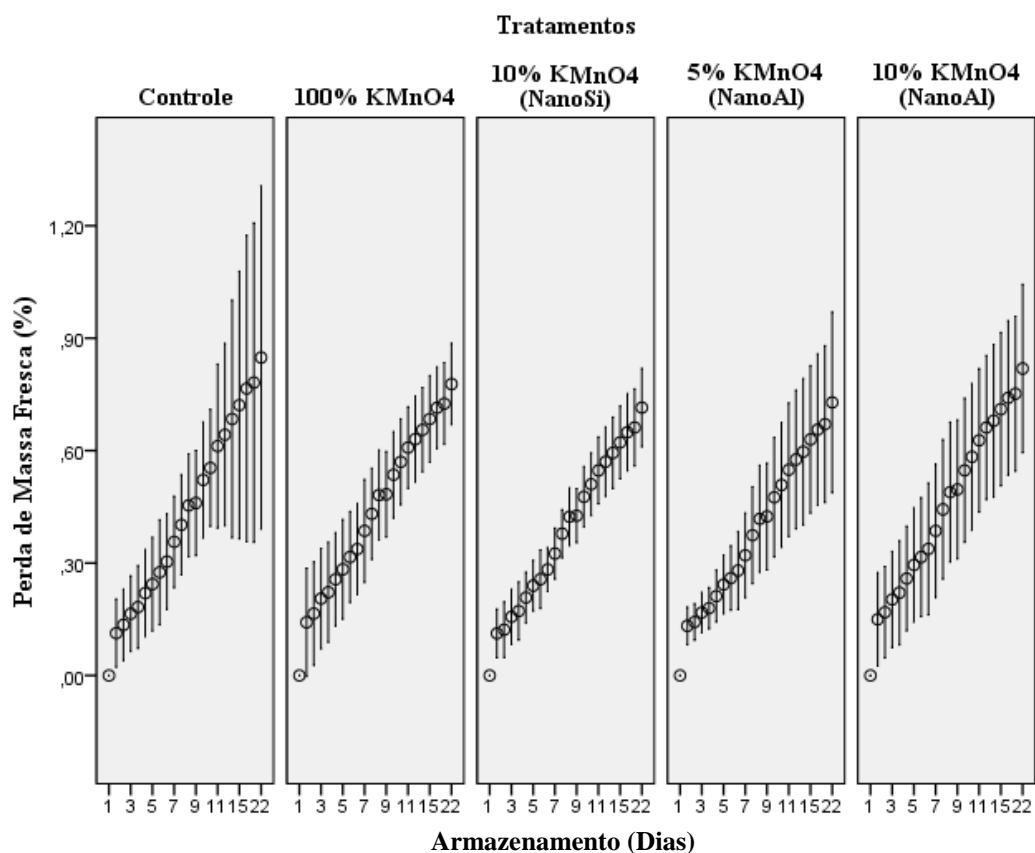


Figura 34. Perda de massa fresca (%) em tomates cv. Pizzadoro submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 22 ± 1 °C e 90% UR durante 21 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).

5.5.2. Coloração

Os resultados obtidos para a avaliação da coloração da casca dos tomates, analisados através do parâmetro L^* , indicam que houve diminuição significativa dos valores durante o período de armazenamento ($p < 0,001$), independente do tratamento ($p = 0,819$), não sendo observada interação entre o efeito do tempo e dos tratamentos ($p = 0,241$) (Tabela 13, Figura 35). Os valores médios de L^* foram semelhantes aos dos tomates do experimento 1, variando de 55 a 45 ao longo dos dias de armazenamento (Figura 35). Isto é um indicativo de que os frutos apresentaram escurecimento da casca com o avanço dos dias, como resultado do desenvolvimento da coloração vermelha.

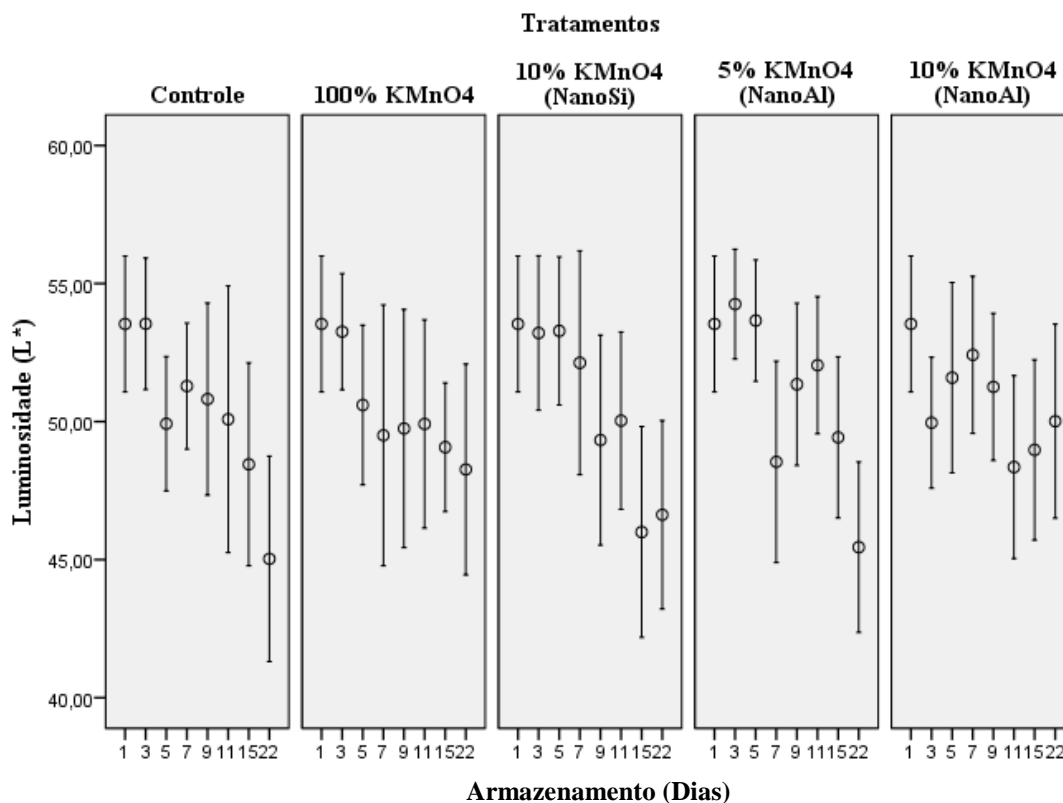


Figura 35. Luminosidade (L^*) em tomates cv. Pizzadoro submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 22 ± 1 °C e 90% UR durante 21 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).

O parâmetro a^* foi significativamente influenciado pelo período de armazenamento ($p < 0,001$), pelos tratamentos ($p = 0,001$) e pela interação entre o efeito do tempo e dos tratamentos ($p = 0,040$) (Tabela 13). Ao longo dos dias de armazenamento, observou-se que os valores médios de a^* variaram de -10 a 15 (Figura 36), indicando que os tomates se tornaram avermelhados conforme amadureciam, como consequência da degradação da clorofila e síntese de licopeno. Os valores registrados neste experimento foram menores que os encontrados no experimento 1 (Figura 23), o que se deve aos frutos estarem mais verdes no ponto de colheita. Os frutos controle (sem adesivo) apresentaram valores menos negativos de a^* , demonstrando maior intensidade da cor vermelha em relação aos outros tratamentos (Tabela 14).

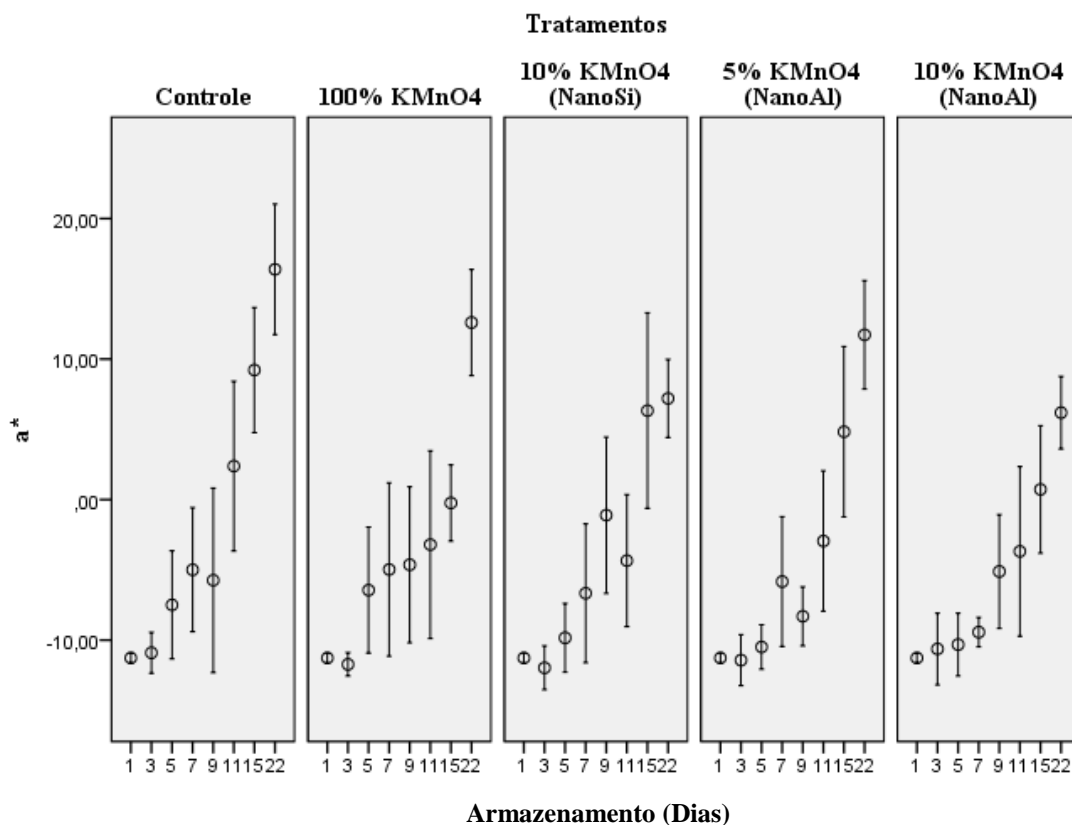


Figura 36. Parâmetro de cor a^* em tomates cv. Pizzadoro submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 22 ± 1 °C e 90% UR durante 21 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).

Tabela 14. Médias de a^* dos frutos por tratamento.

Tratamentos	Médias de a^*
Controle	-1,55 a
100% KMnO ₄	-3,73 b
10% KMnO ₄ (NanoSi)	-3,96 b
5% KMnO ₄ (NanoAl)	-4,21 b
10% KMnO ₄ (NanoAl)	-5,44 b

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de comparações múltiplas de Games-Howell ($p < 0,05$).

Não houve efeito significativo do tempo de armazenamento ($p = 0,295$), dos tratamentos ($p = 0,837$) e nem da interação entre eles ($p = 0,206$), para o parâmetro b^* (Tabela 13), cujos valores se mantiveram em $24 \pm 0,2$ (Figura 37, Tabela 15). Isto é um indicativo de que os frutos mantiveram a mesma tonalidade conforme amadureciam. Alguns pesquisadores também verificaram comportamento estável do parâmetro b^*

durante o amadurecimento de tomates (LÓPEZ CAMELO et al., 1995; LÓPEZ CAMELO; GÓMEZ, 1998; ARIAS et al., 2000).

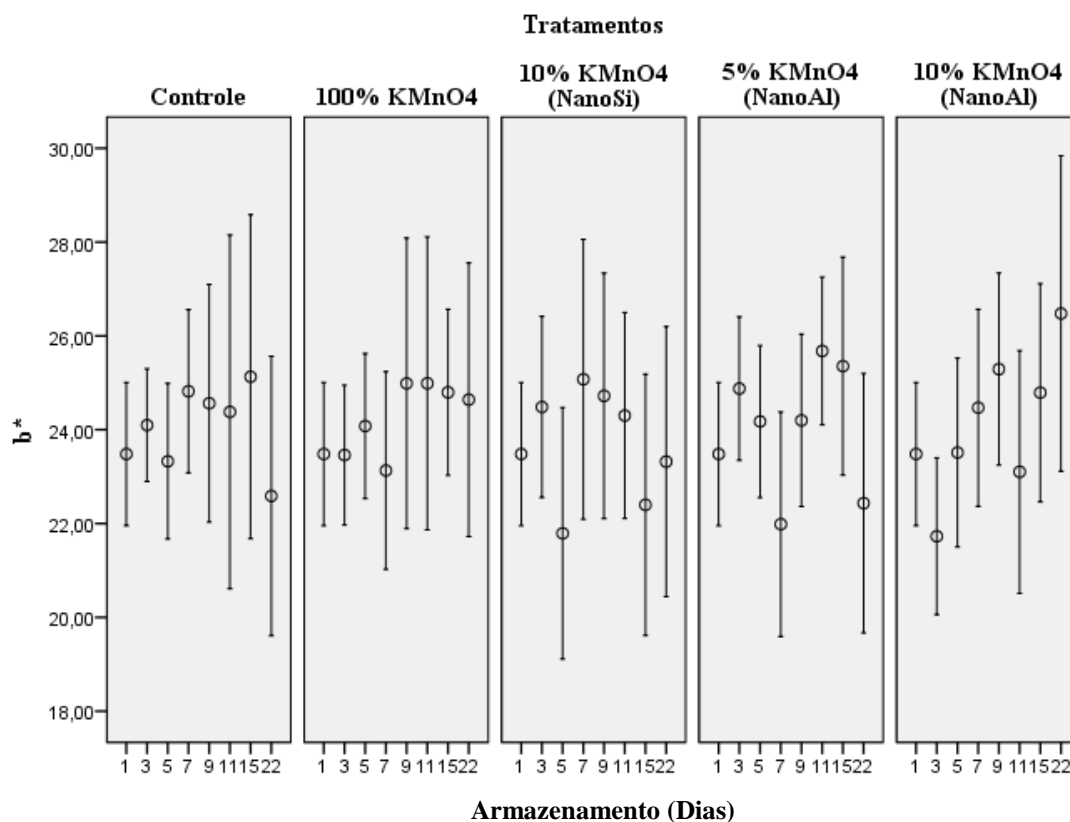


Figura 37. Parâmetro de cor b^* em tomates cv. Pizzadoro submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 22 ± 1 °C e 90% UR durante 21 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).

Tabela 15. Médias de b^* dos frutos por tratamento.

Tratamentos	Médias de b^*
Controle	24,05 a
100% KMnO ₄	24,20 a
10% KMnO ₄ (NanoSi)	23,70 a
5% KMnO ₄ (NanoAl)	24,02 a
10% KMnO ₄ (NanoAl)	24,11 a

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pela análise de variância ($p < 0,05$).

5.5.3. Firmeza da polpa

A firmeza foi significativamente influenciada pelo período de armazenamento ($p < 0,001$), porém sem diferenças entre os tratamentos ($p = 0,706$) e a interação entre eles ($p = 0,142$) (Tabela 13). Os valores médios de firmeza reduziram de 24,02 para 9,22 N, o que representa uma perda de 62% nos 21 dias de armazenamento (Figura 38). Como os tomates desse experimento estavam mais verdes, os valores iniciais de firmeza foram mais altos (24,02 N) que os registrados no experimento 1 (19,27 N).

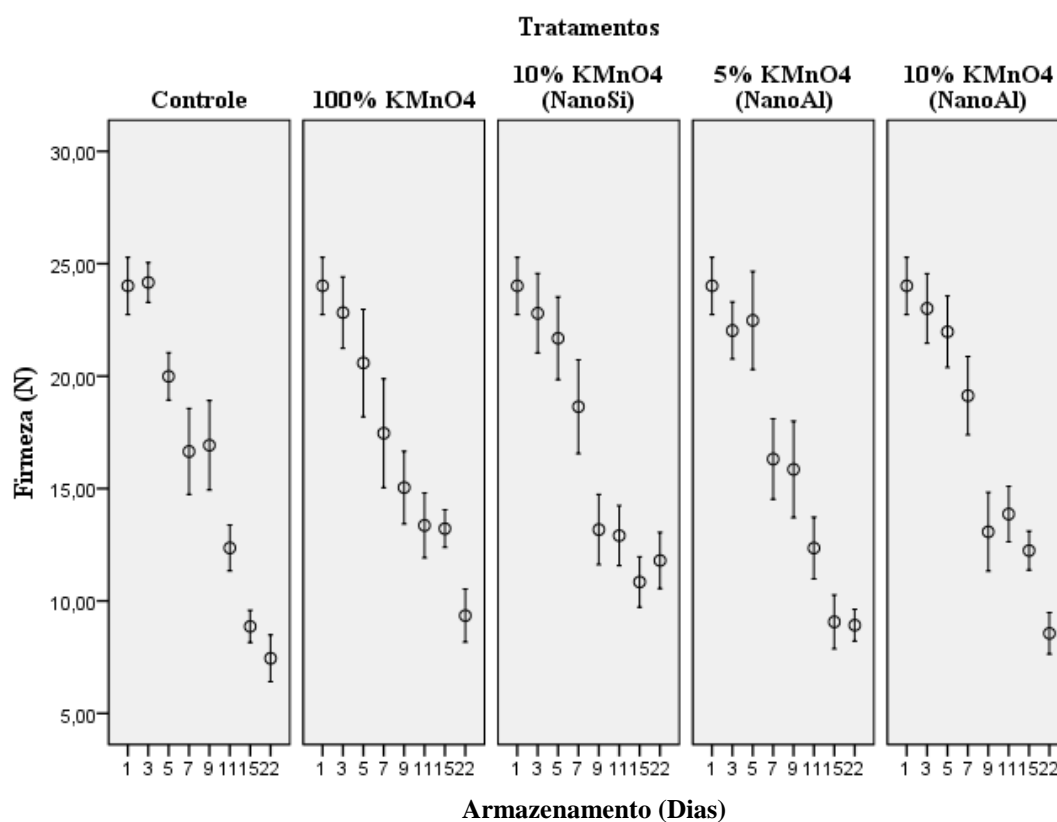


Figura 38. Firmeza (N) em tomates cv. Pizzadoro submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 22 ± 1 °C e 90% UR durante 21 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).

5.5.4. pH, acidez titulável, teor de sólidos solúveis e índice de maturação (*ratio*)

Os tratamentos não interferiram na qualidade dos tomates, representada pelo pH ($p = 0,343$), acidez titulável ($p = 0,957$), teor de sólidos solúveis (0,782) e *ratio* ($p = 0,979$) (Tabela 13).

Durante o armazenamento, houve aumento significativo nos valores de pH e diminuição no teor de acidez da polpa dos tomates de todos os tratamentos ($p < 0,001$). Houve interação entre o efeito do tempo e dos tratamentos somente para a variável acidez titulável ($p = 0,022$), possivelmente devido ao aumento e diminuição dos valores dada a variabilidade das amostras, porém sem diferença no perfil médio (Tabela 13, Figuras 39 e 40). As médias de pH foram similares às do experimento 1 e estão dentro dos valores considerados como adequados para a comercialização de tomates, os quais se mantiveram na faixa de 4,0 a 4,5 (JONES, 1998). De acordo com Chitarra e Chitarra (2005), o conteúdo de ácidos orgânicos e a adstringência do produto diminuem com a maturação devido ao processo de respiração ou à sua conversão em açúcares. O comportamento observado neste trabalho indica que o pH do fruto aumenta com a diminuição da acidez, podendo ser usado como um indicador desta variação, tal qual o constatado no experimento 1 (Figuras 26 e 27).

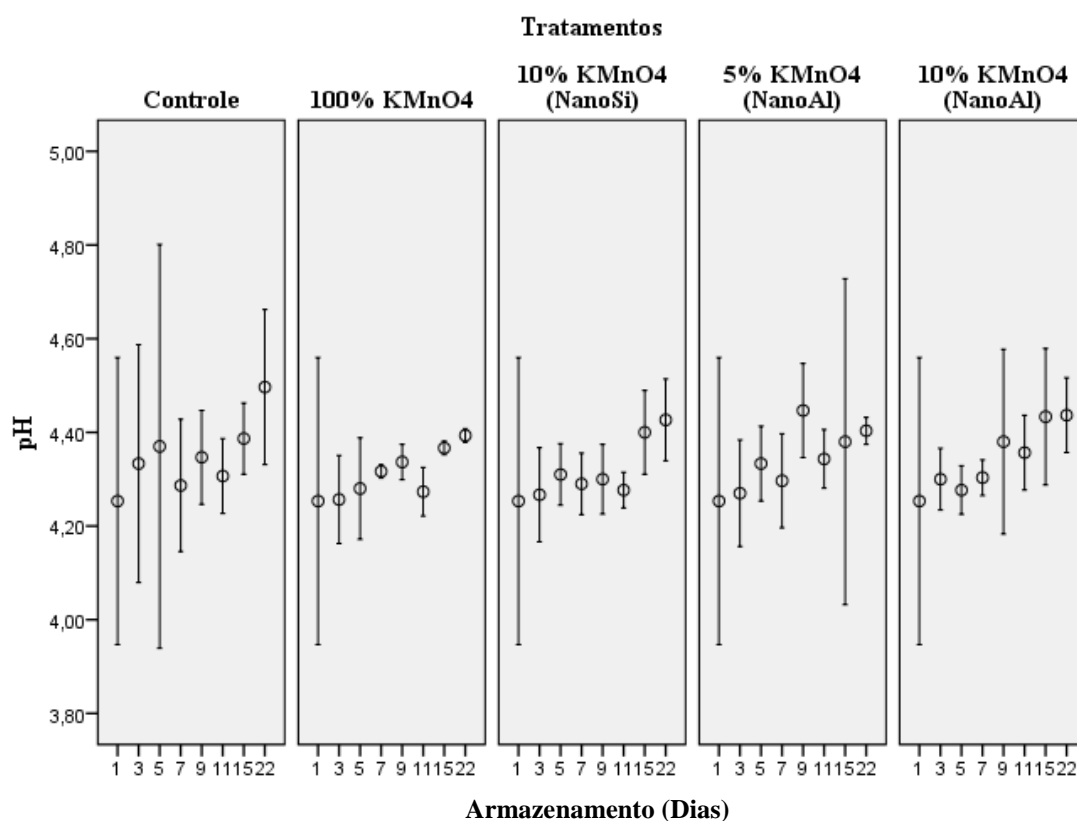


Figura 39. pH em tomates cv. Pizzadoro submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 22 ± 1 °C e 90% UR durante 21 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).

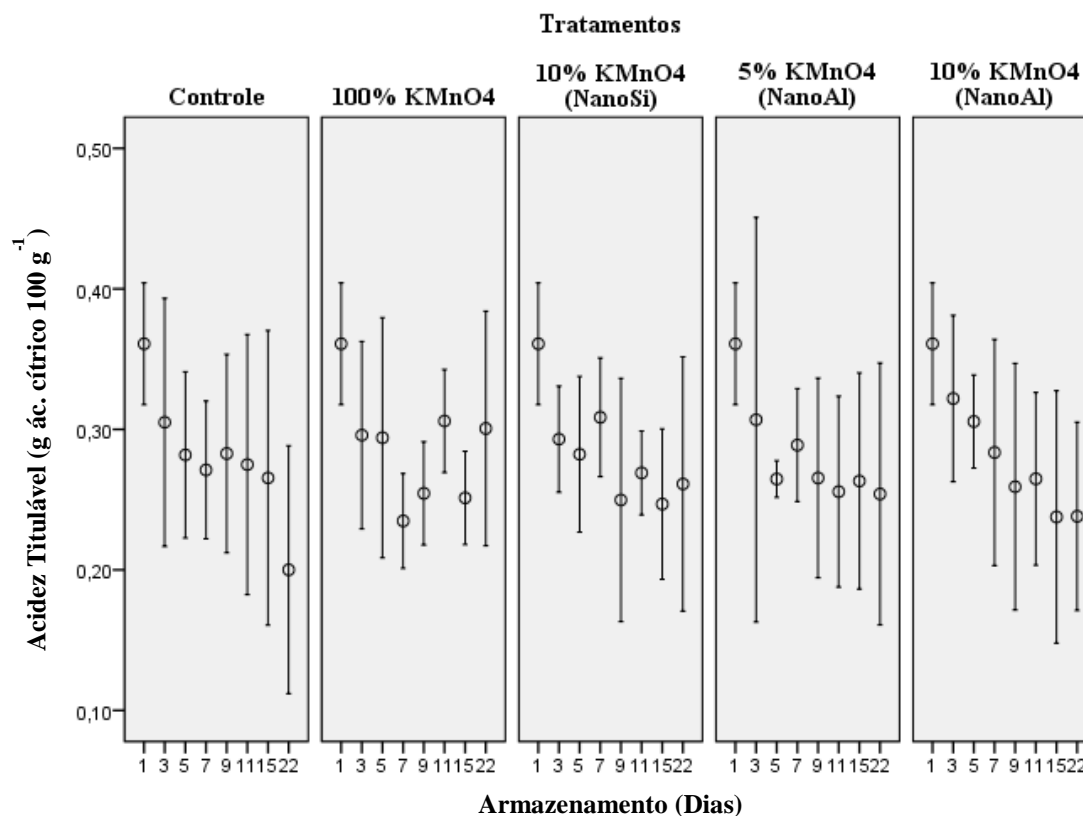


Figura 40. Acidez titulável (g ác. cítrico 100 g⁻¹) em tomates cv. Pizzadoro submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 22 ± 1 °C e 90% UR durante 21 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias (p < 0,05).

Para o teor de sólidos solúveis, principal componente responsável pelo sabor do fruto, não houve efeito significativo do tempo de armazenamento (p = 0,173), dos tratamentos (p = 0,782), e nem da interação entre eles (p = 0,930) (Tabela 13). No entanto, os valores obtidos estiveram entre 4,78 e 4,83 °Brix (Tabela 16), que é a faixa comum publicada em outros estudos (FONTES et al., 2000; SAMPAIO; FONTES, 2000; GUILHERME et al., 2014). Esse resultado foi similar ao relatado nas cvs. Santa Clara (FERREIRA et al., 2005), Débora (BORGUINI, 2002) e Kátia (CAVASSA; FERREIRA, 2004).

Tabela 16. Médias do teor de sólidos solúveis (°Brix) dos frutos por tratamento.

Tratamentos	Médias do teor de sólidos solúveis (°Brix)
Controle	4,78 a
100% KMnO ₄	4,81 a
10% KMnO ₄ (NanoSi)	4,83 a
5% KMnO ₄ (NanoAl)	4,79 a
10% KMnO ₄ (NanoAl)	4,78 a

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pela análise de variância ($p < 0,05$).

Durante o armazenamento, houve aumento significativo na relação SS/AT na polpa dos tomates com o avanço dos dias ($p < 0,001$), independente do tratamento (Tabela 13, Figura 41). Também houve significância da interação entre o efeito do tempo e dos tratamentos ($p = 0,049$), o que pode ser devido à diminuição dos valores da acidez titulável, porém sem diferença no perfil médio (Figura 41). Segundo Kader et al. (1978), o fruto do tomateiro é considerado de excelente sabor quando apresenta valores de *ratio* superiores a 10, sendo ótimo para o consumo em torno de 14,5 (GIL et al., 2002). Assim, pode-se inferir que, no início do experimento, os tomates submetidos aos diferentes tratamentos apresentavam sabor agradável e eram adequados para o consumo *in natura*, e que ao longo do período de avaliação, os frutos amadureceram e foram perdendo a qualidade, podendo, ao final do armazenamento serem utilizados para o consumo processado (variação de 13,90 a 19,24) (Figura 41).

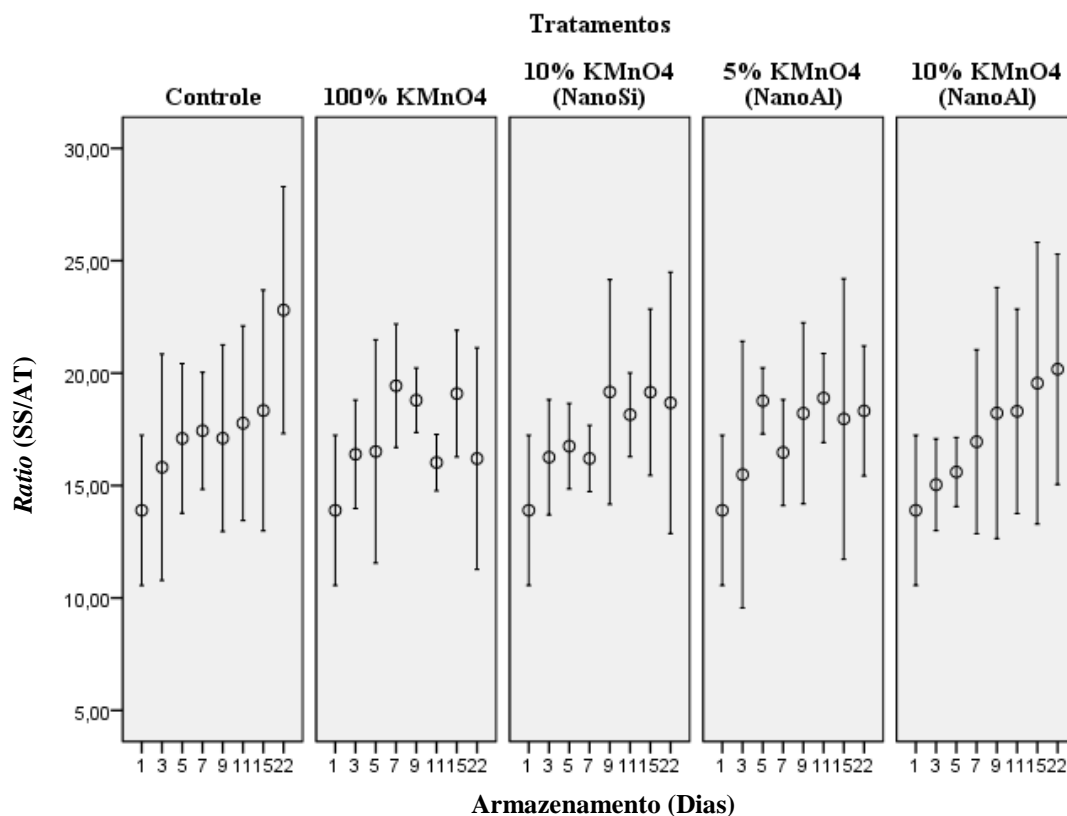


Figura 41. *Ratio* (SS/AT) em tomates cv. Pizzadoro submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 22 ± 1 °C e 90% UR durante 21 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).

5.5.5. Concentração de CO₂

A concentração de CO₂ no interior das embalagens diminuiu com os dias de armazenamento em todos os tratamentos ($p < 0,001$). No entanto, não houve diferença significativa entre os tratamentos ($p = 0,426$) e nem interação entre o efeito do tempo e dos tratamentos ($p = 0,099$) (Tabela 13, Figura 42). Kader e Morris (2015) também observaram redução nos níveis de CO₂ em tomates e relataram que a elevada atividade inicial está relacionada aos procedimentos de colheita e de pós-colheita, como observado por outros autores (CALEGARIO et al., 2001; MAGALHÃES et al., 2009). Os teores de CO₂ foram elevados, especialmente no primeiro dia de armazenamento (Figura 42), possivelmente pela maior manipulação nos processos de transporte e limpeza dos tomates (PELEG, 1985; BRECHT, 2002).

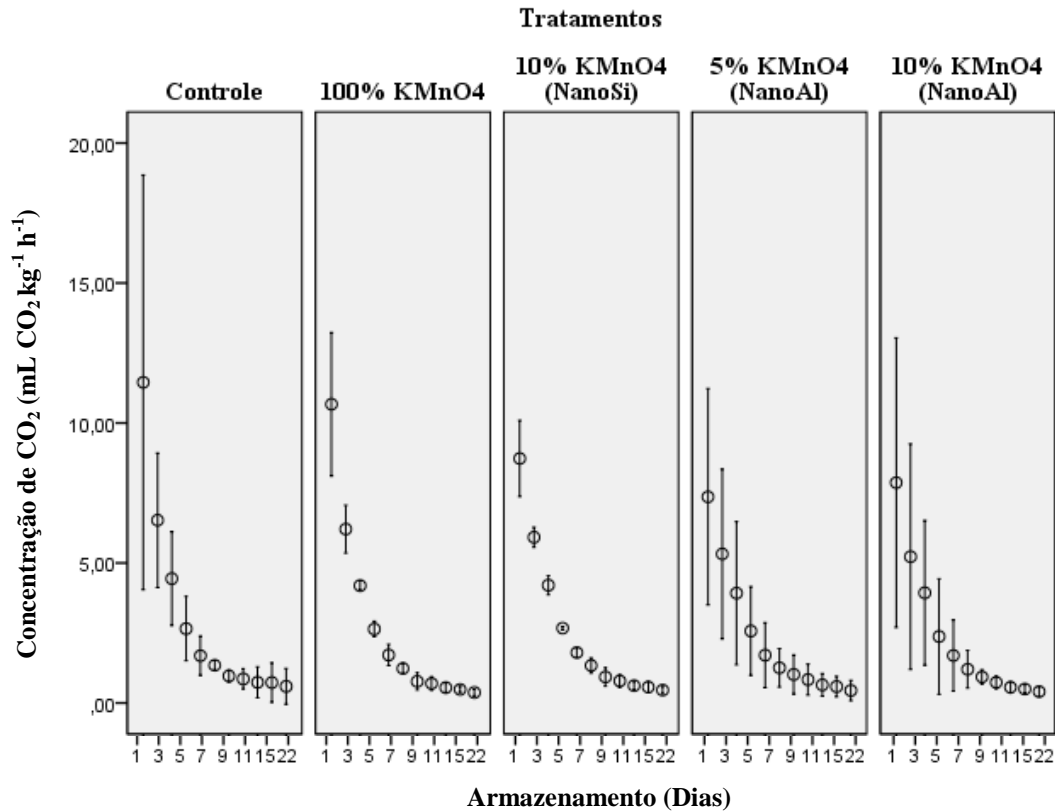


Figura 42. Concentrações de CO₂ (mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹) em função dos dias e dos tratamentos para tomates cv. Pizzadoro armazenados a 22 ± 1 °C e 90% UR durante 21 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias (p < 0,05).

5.5.6. Concentração de etileno

O perfil da concentração de etileno nos tomates apresentou comportamento semelhante ao do CO₂, ou seja, caracterizou-se por decréscimo ao longo do tempo (p = 0,003). Não houve diferença significativa entre os tratamentos (p = 0,141) e nem interação entre os fatores tempo e tratamentos (p = 0,198) (Tabela 13, Figura 43). Assim como para o CO₂, o primeiro dia de armazenamento também se caracterizou por atividade metabólica mais intensa dos tomates, evidenciada pelos níveis mais elevados de etileno nas embalagens, independentemente do tratamento (Figura 43), seguido de diminuição nos dias subsequentes.

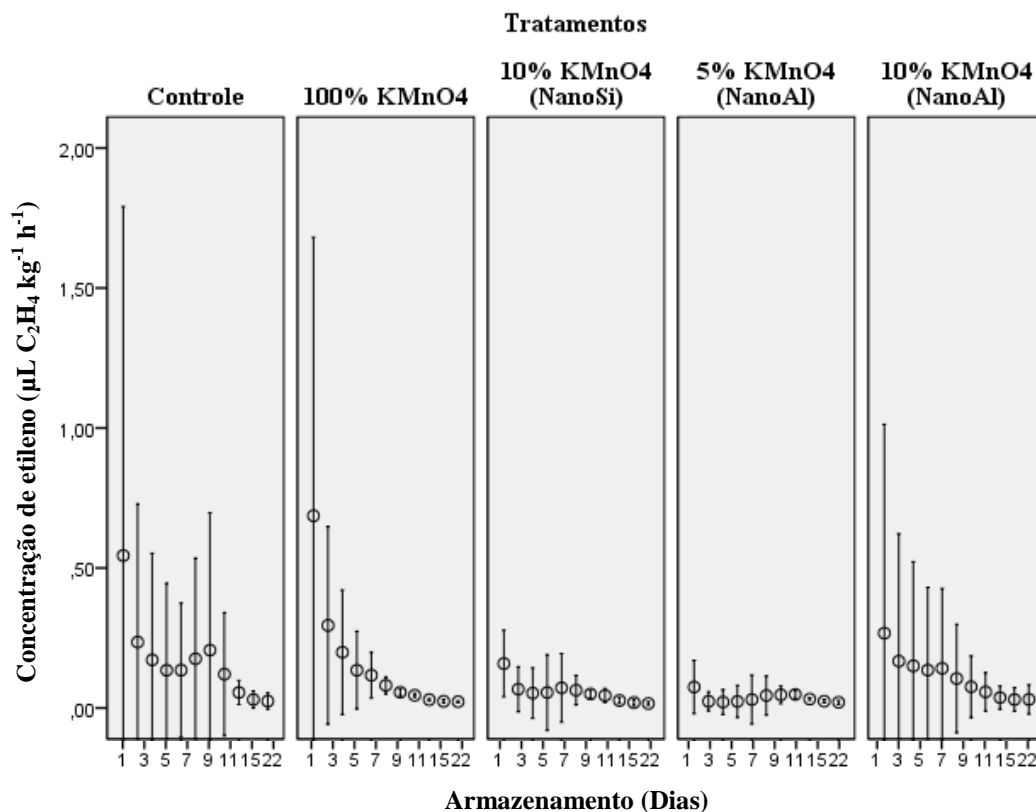


Figura 43. Concentrações de etileno ($\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) em função dos dias e dos tratamentos para tomates cv. Pizzadoro armazenados a $22 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ e 90% UR durante 21 dias. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).

Os resultados das comparações das variáveis físicas e químicas entre os tratamentos demonstraram não haver diferença significativa, com exceção do parâmetro a^* (Tabela 13). Ao longo dos dias de armazenamento, observou-se que os valores médios de a^* aumentaram (Figura 36), indicando que os tomates se tornaram avermelhados conforme amadureciam. Os frutos controle (sem adesivo) apresentaram valores menos negativos de a^* , demonstrando maior intensidade da cor vermelha em relação aos outros tratamentos (Tabela 14).

Na literatura, apesar da maioria dos trabalhos evidenciarem o benefício dos absorvedores de etileno em frutos, tanto em frutos climatéricos, como não-climatéricos (HAO; HAO, 1993; LIN; ZHANG, 1993; JIANG et al., 1997; RESENDE et al., 2001; COSTA, 2008; JAYATHUNGE et al., 2011), alguns trabalhos têm mostrado não haver diferença e/ou benefício (BARROS et al., 1994; BRACKMANN et al., 2003; NEVES et al., 2006; JERÔNIMO et al., 2007). No presente trabalho, os adesivos absorvedores de etileno foram capazes de absorver etileno, mas apenas retardaram a degradação da

clorofila e síntese de licopeno dos tomates cv. Pizzadoro, nas condições experimentais propostas. Vários fatores podem ter influenciado esse resultado, como a baixa quantidade de material exposto nos adesivos (0,3 g), ausência de reposição da mistura ao longo do armazenamento, alta umidade observada pela condensação no interior das embalagens, além do próprio modelo de adesivo confeccionado não ser o mais apropriado.

5.6. Experimento 2: Análise de Componentes Principais

Para avaliar a estrutura de correlação das variáveis físicas e químicas dos frutos do experimento 2 foi realizada a análise de componentes principais. Foram consideradas as três primeiras componentes CP1, CP2 e CP3, que representaram 76,93% da variância total (Figuras 44 e 45; Tabela 5A, Anexo).

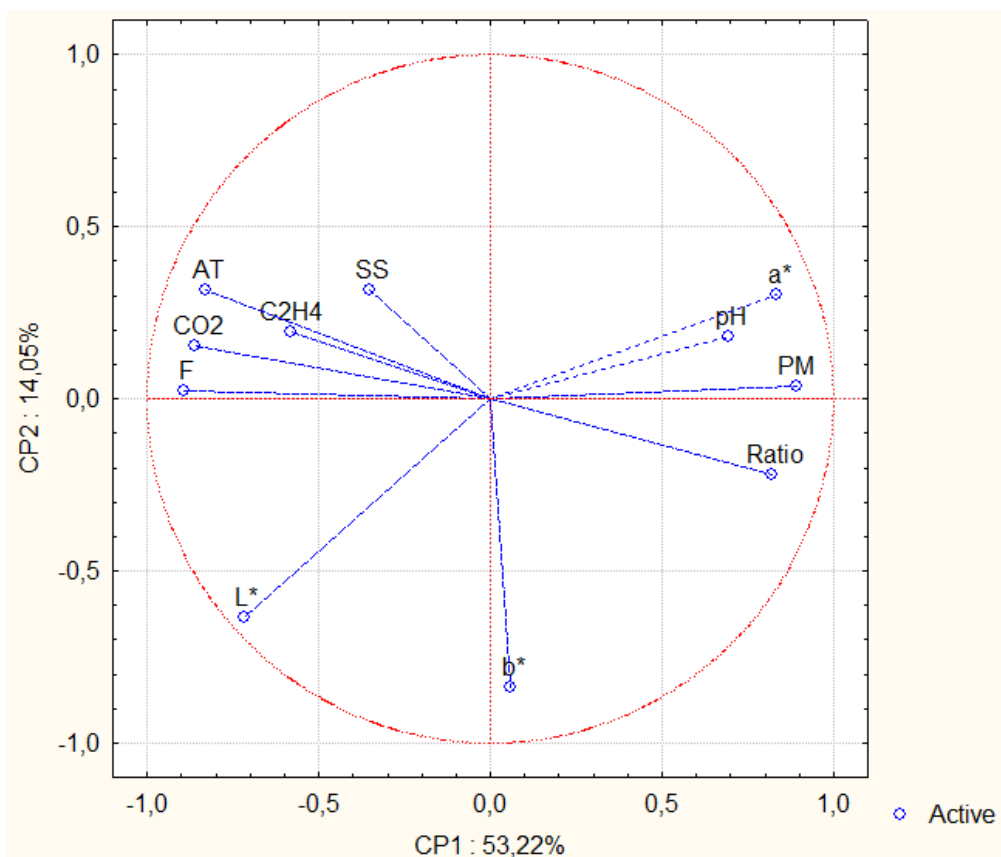


Figura 44. Projecção das 11 variáveis físicas e químicas no plano das componentes 1 e 2.

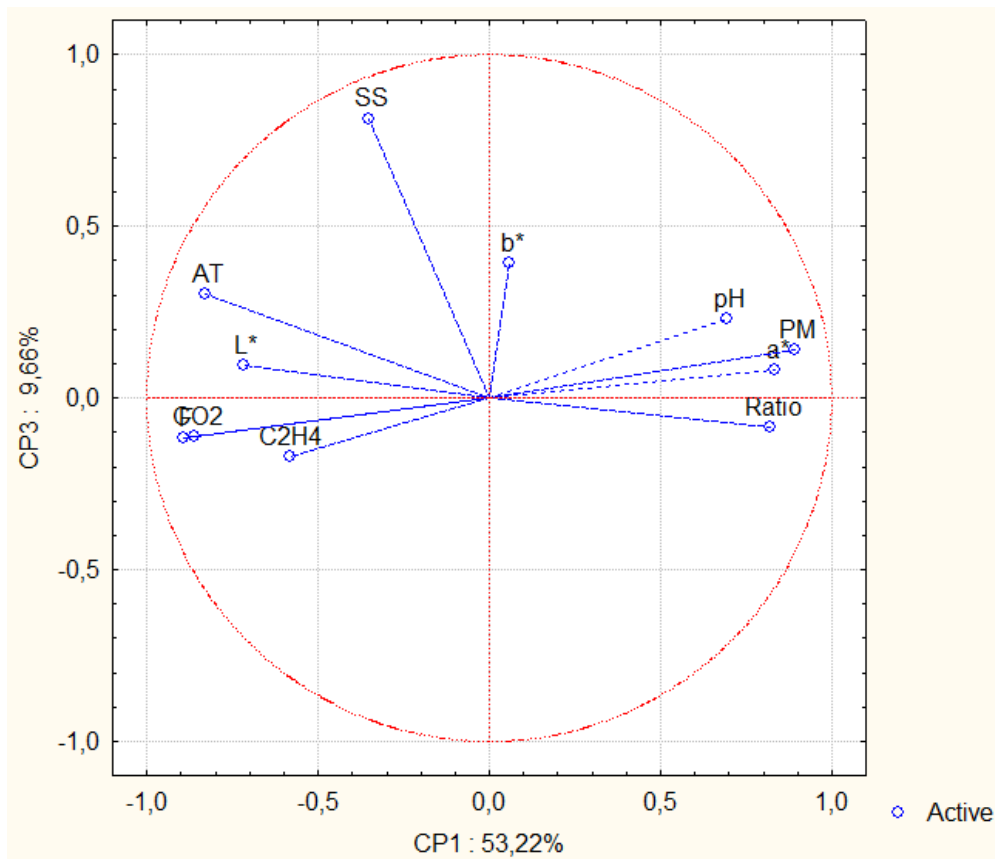


Figura 45. Projeção das 11 variáveis físicas e químicas no plano das componentes 1 e 3.







A primeira componente (CP1) está relacionada às variáveis perda de massa fresca (PM), parâmetro de cor a^* , pH e *ratio*, as quais se comportaram de maneira oposta à luminosidade (L^*), firmeza (F), acidez titulável (AT), dióxido de carbono (CO_2) e etileno (C_2H_4). Assim, à medida que os valores das primeiras variáveis citadas aumentam, os valores das segundas variáveis tendem a diminuir.

A segunda componente (CP2) explicou 14,05% da variância total e se relacionou às variáveis luminosidade (L^*) e parâmetro de cor b^* (Figura 44), as quais se correlacionaram diretamente. A terceira componente (CP3) explicou 9,66% da variância total e esteve associada aos teores de sólidos solúveis (SS). Este parâmetro não apresentou efeito significativo do tempo de armazenamento, dos tratamentos e nem interação entre eles, na análise univariada e, ao mesmo tempo (Tabela 13), representou a componente com menor variabilidade total (%).

5.7. Experimento 2: Análise de Agrupamento ou de *Cluster* da Coloração dos Adesivos

Assim como no experimento 1, a identificação de padrões de cores dos adesivos como indicadores de mudança foi feita pela análise de agrupamento, de acordo com o espaço de cor CIELAB e expressos por L*, a* e b*. Através desses parâmetros, foram distinguidos 6 grupos de cores, variando da cor roxa a marrom, conforme o permanganato de potássio foi reduzido (Tabela 17).

Tabela 17. Padrões de cores dos adesivos, obtidos pela análise de agrupamento (*cluster*), através dos valores de cor L*, a* e b* durante o armazenamento dos tomates.

Grupos/Clusters	Cor	L*	a*	b*
I		24,28	2,93	2,92
II		51,09	22,07	-0,81
III		54,08	19,17	5,70
IV		55,89	24,54	-7,94
V		64,60	14,12	-7,83
VI		74,13	6,88	6,16

Pela Tabela 18, observa-se que os padrões de cores dos adesivos variaram entre os tratamentos, ao longo dos dias de análises, sendo que o permanganato foi reduzido de forma diferente, especialmente nas plataformas nanoestruturadas de alumina e sílica. Semelhante ao experimento 1, no tratamento com 100% de KMnO_4 , a cor roxa escura do permanganato (Grupo I) sem plataforma de impregnação não permitiu a visualização de mudança de cor perceptível ao longo dos dias. Os tratamentos escolhidos contendo as maiores concentrações de KMnO_4 , no caso o de nanopartículas de alumina contendo 5 e 10% de KMnO_4 e o de nanopartículas de sílica contendo 10% de KMnO_4 e que não haviam sido reduzidas totalmente ao final do experimento anterior foram então reproduzidos. No experimento 2, o permanganato dessas concentrações foi todo reduzido até o final do experimento, sendo representado pela cor do grupo mais amarronzado (Grupo III). A redução total do permanganato de potássio neste experimento pode ser explicada pelo maior tempo de armazenamento dos frutos, cerca de 10 dias a mais em relação ao experimento 1. Em contrapartida, os frutos do experimento 2 apresentaram coloração mais esverdeada. Assim como no experimento anterior, não foram observadas diferenças significativas nas variáveis físicas e químicas

entre os tratamentos, com exceção do parâmetro de cor a^* nos frutos, sugerindo que as diferentes concentrações de KMnO_4 nos adesivos foram eficientes em absorver o etileno e retardar a mudança de cor. Como indicadores de maturação, os tratamentos com as plataformas de nanoalumina demonstraram serem melhor visualizadas pelas variações de cor dos adesivos do início ao fim, possuírem mais de 2 grupos por tratamento e redução total do permanganato de potássio apenas no último dia de análise.

Tabela 18. Padrões de cores dos adesivos por tratamento, ao longo dos dias de armazenamento.

Tratamentos	Grupo/Cluster	Armazenamento (Dias)								
		1	3	5	7	9	11	15	22	
100% KMnO_4	I	3	3	3	3	3	3	3	3	3
10% KMnO_4 (NanoSi)	VI	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	III	0	3	3	3	3	3	3	3	3
5% KMnO_4 (NanoAl)	V	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	IV	2	2	2	1	1	0	0	0	
	II	0	1	1	2	2	3	3	0	
	III	0	0	0	0	0	0	0	3	
	V	3	0	0	0	0	0	0	0	
10% KMnO_4 (NanoAl)	IV	0	3	2	0	0	0	0	0	
	II	0	0	1	3	3	3	3	0	
	III	0	0	0	0	0	0	0	3	
	V	3	0	0	0	0	0	0	0	

Grupos/Clusters obtidos pela análise de agrupamento (*cluster*), através dos valores de cor L^* , a^* e b^* dos adesivos. As cores representam os padrões de cores dos adesivos por tratamento, ao longo dos dias de armazenamento e os números representam a quantidade de embalagens.

5.7.1. Comparação dos grupos (*clusters*)

Como no experimento 1, a comparação dos grupos em cada tratamento foi realizada através da análise de variância e comparações múltiplas (Figuras 13A a 23A, Anexo), visando estabelecer estádios de maturação nos tomates com os diferentes padrões de cores dos adesivos. Observa-se na Tabela 19 que houve diferenças significativas entre os grupos em todos os tratamentos, com quase todas as variáveis físicas e químicas, com exceção do tratamento contendo 100% de KMnO_4 , no qual houve apenas um grupo de cor de adesivo (Grupo I). Como indicadores de maturação, foram destacados em vermelho os tratamentos nos quais foram formados mais de dois grupos de cores e a anova indicou diferença entre eles. Os tratamentos de nanopartículas

de alumina impregnadas com 5 e 10% de KMnO_4 apresentaram ao menos 3 padrões diferentes para indicação do estágio de maturação dos frutos. Esses mesmos tratamentos apresentaram diferenças significativas em um maior número de variáveis, correspondendo a 4 e 5, respectivamente. No tratamento de nanopartículas de alumina impregnadas com 10% de KMnO_4 , houve diferenças na perda de massa, parâmetro de cor a^* , firmeza, acidez titulável e CO_2 . Se observarmos as diferenças nas variáveis dos dois experimentos, estas foram similares. No caso do tratamento de nanopartículas de sílica impregnadas com 10% de KMnO_4 , apenas 2 estádios distintos de maturação foram encontrados para as variáveis, demonstrado pela sobreposição dos intervalos de confiança das médias dos grupos (Figuras 13A a 23A, Anexo). No experimento 1, esse mesmo tratamento apresentou 3 estádios distintos (Tabela 8), porém a eficiência dos tratamentos com nanoalumina, mesmo contendo menor concentração de KMnO_4 (5%) comprovam o melhor potencial desta plataforma para as mudanças de cor do permanganato pela absorção do etileno.

Tabela 19. Comparação dos grupos (*clusters*) em cada tratamento submetida à análise de variância (ANOVA) e comparações múltiplas, como tentativa de estabelecer estádios de maturação em tomates cv. Pizzadoro.

TRATAMENTOS	GRUPO	Perda de massa	L*	a*	b*	Firmeza	pH	AT	SS	Ratio	CO ₂	C ₂ H ₄
100% KMnO ₄	I	0,35	50,49	-3,74	24,20	16,98	4,31	0,29	4,81	17,04	3,02	0,18
10% KMnO ₄ (NanoSi)	VI	0,00 a	53,54 a	-11,27 a	23,48 a	24,01 a	4,25 a	0,36 a	5,02 a	13,90 a	8,73 a	0,16 a
	III	0,33 b	50,17 a	-3,33 a	23,68 a	16,13 b	4,32 a	0,27 b	4,80 a	17,81 b	2,04 b	0,05 b
5% KMnO ₄ (NanoAl)	IV	0,14 a	53,01 a	-10,24 a*	23,92 ab	22,13 a*	4,31 a	0,30 a*	4,90 a	16,44 a	4,14 a*	0,03 a
	II	0,34 b	50,80 a	-3,59 b*	24,49 a	13,79 b*	4,36 a	0,27 a*	4,79 a	17,93 a	1,45 b*	0,04 a
	III	0,73 c	45,45 b	11,73 c*	22,43 c	8,92 c*	4,40 a	0,25 a*	4,63 a	18,32 a	0,45 c*	0,02 a
10% KMnO ₄ (NanoAl)	V	0,00 a	53,54 a	-11,27 a*	23,48 a	24,01 a*	4,25 ab*	0,36 a	5,02 a*	13,90 a*	7,87 abc*	0,27 a*
	IV	0,19 b	50,79 b	-10,47 a*	22,56 a	22,92 a*	4,29 a*	0,31 b	4,82 a*	15,40 ab*	4,28 a*	0,18 a*
	II	0,40 c	50,28 b	-4,85 b*	24,30 a	15,02 b*	4,36 b*	0,26 c	4,71 a*	18,00 c*	1,12 b*	0,08 a*
	III	0,82 d	50,01 b	6,19 c*	26,48 b	8,56 c*	4,44 b*	0,24 c	4,77 a*	20,17 bc*	0,40 c*	0,03 a*

Médias seguidas por mesmas letras nas colunas não diferem significativamente entre si pela análise de variância ($p < 0,05$), utilizando-se o teste de comparações múltiplas de Duncan para grupos com homogeneidade de variância e o teste de comparações múltiplas de Games-Howell* para grupos com heterogeneidade de variância. Variáveis físicas e químicas: perda de massa (%); parâmetros de cor L*, a*, b*; firmeza (N); pH, AT (g ác. cítrico 100 g⁻¹); SS (°Brix); *ratio* (SS/AT); CO₂ (mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹); C₂H₄ (μL C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹).

5.8. Experimento 2: Análise Sensorial

O teste afetivo de aparência sensorial e de intenção de compra (*in natura* e processado) foi realizado ao final do experimento, no 21º dia. Os resultados dos testes sensoriais permitiram a visualização da preferência dos tomates entre os tratamentos, com base nas maiores porcentagens dos atributos (Tabela 6A, Anexo).

No entanto, essa preferência não foi consistente em relação aos mesmos tratamentos do experimento 1 (Tabela 2A, Anexo), o que demonstra uma variabilidade do amadurecimento e consequente aparência dos frutos, independente dos tratamentos.

Comparando-se os resultados (Figura 46) com a imagem dos tomates expostos aos provadores (Figura 47), mesmo havendo uma sutil diferença visual, observa-se uma maior preferência em todos os atributos apresentados por tomates mais avermelhados, assim como no experimento 1.

Como não houve diferença significativa na preferência da textura entre os tratamentos (Figura 46), deduz-se que as variáveis que influenciaram a compra, tanto de tomates para fins *in natura* como processado, foram a aparência geral associada à coloração do fruto.

Nas análises físicas e químicas, os frutos controle (sem adesivo) apresentaram a maior média de a^* , demonstrando maior intensidade da cor vermelha em relação a todos os outros tratamentos (Tabela 14). Já na análise sensorial, a diferença visual da coloração dos tomates foi sutil. No entanto, observa-se que os provadores privilegiaram os frutos do tratamento com 100% de KMnO_4 e os do controle, comparativamente aos do tratamento de nanopartículas de alumina impregnadas com 5% de KMnO_4 , devido à coloração vermelha mais intensa (Figuras 46 e 47).

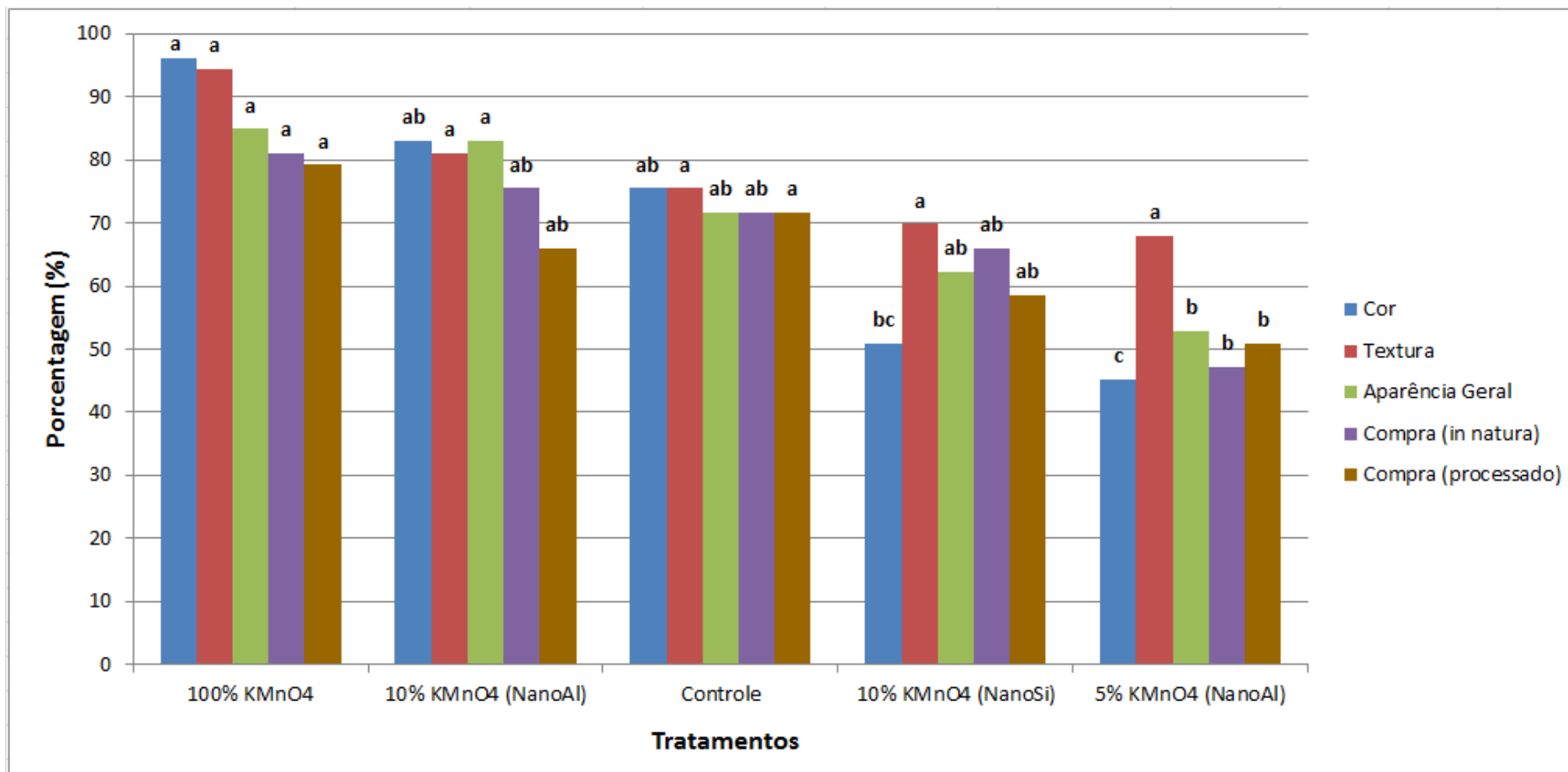


Figura 46. Preferência (%) dos tomates entre os tratamentos, em ordem decrescente, de acordo com os atributos sensoriais de aparência e de intenção de compra (*in natura* e processado). Atributos com letras diferentes diferem significativamente entre si pela anova não paramétrica e comparação múltipla de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

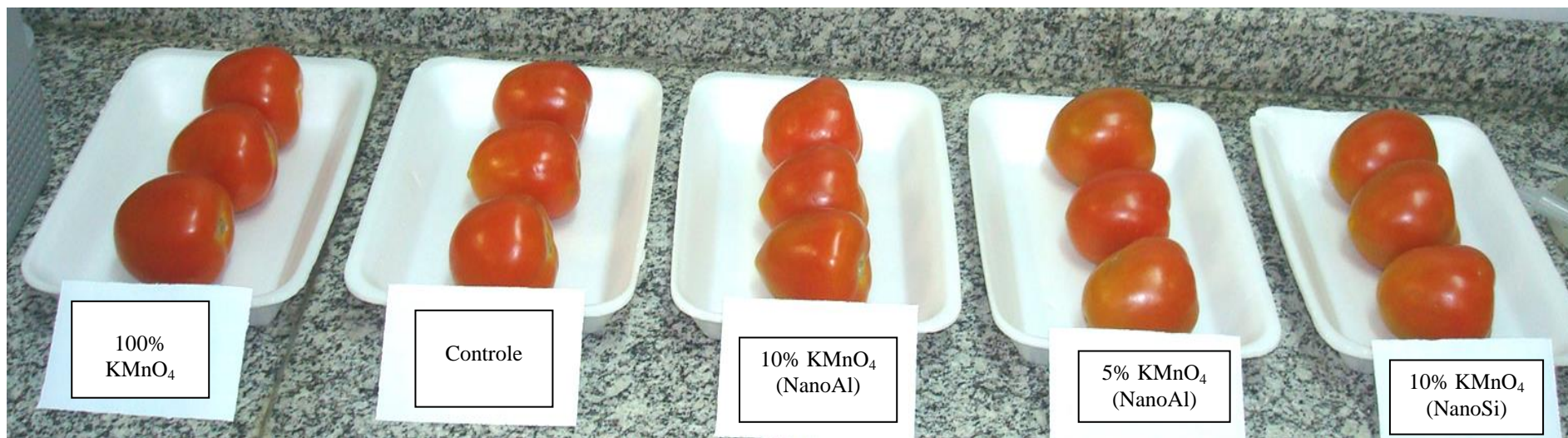


Figura 47. Aspecto visual dos tomates dos 5 tratamentos apresentados aos provadores.

Na comparação entre os escores das faixas etárias, as respostas dos provadores foram divididas em dois grupos: um até 26 anos e o outro acima de 26 anos de idade (Tabela 7A, Anexo). De acordo com a Tabela 20, observa-se que não houve diferença significativa entre as preferências nas duas faixas etárias determinadas.

Tabela 20. Escores das faixas etárias submetidos ao teste de Mann-Whitney.

Tratamentos	Cor	Textura	Aparência Geral	Compra (<i>in natura</i>)	Compra (processado)
Controle	0,798	0,691	0,609	0,677	0,480
100% KMnO ₄	0,436	0,719	0,425	0,708	0,575
10% KMnO ₄ (NanoSi)	0,523	0,893	0,175	0,877	0,545
5% KMnO ₄ (NanoAl)	0,151	0,450	0,389	0,622	0,376
10% KMnO ₄ (NanoAl)	0,139	0,593	0,334	0,619	0,554

p-valores de Mann-Whitney para escores das faixas etárias.

Na comparação entre os escores dos gêneros, as respostas dos provadores foram divididas em dois grupos: feminino e masculino (Tabela 8A, Anexo). De acordo com a Tabela 21, não houve diferença significativa na preferência dos tomates entre os gêneros. No entanto, para a compra de tomates *in natura* do tratamento de 100% KMnO₄ e para a compra de tomates para processamento do tratamento de nanopartículas de sílica contendo 10% de KMnO₄, em destaque em negrito, os valores estiveram muito próximos do limiar de significância ($p = 0,055$ e $p = 0,057$, respectivamente). Ao final do experimento, os tomates do tratamento de 100% KMnO₄ apresentaram coloração mais avermelhada (Figura 47) e pelas porcentagens de preferência para a compra *in natura*, ou seja, para consumo direto, como em saladas, os homens comprariam mais que as mulheres (Tabela 22). Por outro lado, os tomates do tratamento de nanopartículas de sílica contendo 10% de KMnO₄ apresentaram coloração menos avermelhada (Figura 47) e pelas porcentagens de preferência para a compra processada, ou seja, para consumo em molhos, por exemplo, os homens também comprariam mais que as mulheres (Tabela 23).

Tabela 21. Escores dos gêneros submetidos ao teste de Mann-Whitney.

Tratamentos	Cor	Textura	Aparência Geral	Compra (<i>in natura</i>)	Compra (processado)
Controle	0,953	0,231	0,663	0,842	0,938
100% KMnO ₄	0,755	0,751	0,187	0,055	0,365
10% KMnO ₄ (NanoSi)	0,211	0,977	0,702	0,251	0,057
5% KMnO ₄ (NanoAl)	0,856	0,694	0,879	0,656	0,175
10% KMnO ₄ (NanoAl)	1,000	0,477	0,968	0,992	0,384

p-valores de Mann-Whitney para escores dos gêneros.

Tabela 22. Porcentagem de preferência de compra (*in natura*) de tomates entre os gêneros.

Gênero	Tratamentos				
	Controle	100% KMnO ₄	10% KMnO ₄ (NanoSi)	5% KMnO ₄ (NanoAl)	10% KMnO ₄ (NanoAl)
Feminino	69,7%	75,8%	57,6%	42,4%	75,8%
Masculino	75,0%	90,0%	80,0%	55,0%	75,0%

Tabela 23. Porcentagem de preferência de compra (processado) de tomates entre os gêneros.

Gênero	Tratamentos				
	Controle	100% KMnO ₄	10% KMnO ₄ (NanoSi)	5% KMnO ₄ (NanoAl)	10% KMnO ₄ (NanoAl)
Feminino	69,7%	75,8%	45,5%	42,4%	60,6%
Masculino	75,0%	85,0%	80,0%	65,0%	75,0%

A aparência externa de frutos é um fator fundamental para o mercado *in natura*, por ser fator de atratividade e exercer influência direta sobre a escolha do consumidor, que tem preferência por cultivares que possuem casca de coloração vermelha (JERÔNIMO et al., 2007).

Para a correlação entre os atributos, verificou-se que a cor e a aparência geral apresentaram maior valor de correlação do que a textura. Na intenção de compra (*in natura*), os atributos de cor, textura e aparência geral estiveram mais fortemente correlacionados do que na intenção de compra de tomates para processamento (Tabela 24).

Tabela 24. Correlação entre os atributos através da correlação não paramétrica de Spearman.

Atributos	Cor	Textura	Aparência Geral	Compra (<i>in natura</i>)	Compra (processado)
Cor	1,000	0,576	0,753	0,591	0,277
Textura	0,576	1,000	0,602	0,455	0,207
Aparência Geral	0,753	0,602	1,000	0,675	0,276
Compra (<i>in natura</i>)	0,591	0,455	0,675	1,000	0,393
Compra (processado)	0,277	0,207	0,276	0,393	1,000

6. CONCLUSÕES

- Os adesivos desenvolvidos foram eficientes em consumir parte do etileno liberado pelos frutos no interior das embalagens, através da oxidação do gás etileno causada pelo permanganato de potássio, ocasionando mudança de cor, de roxo até marrom.
- Não houve diferenças significativas nas variáveis físicas e químicas entre os tratamentos, com exceção dos parâmetros de cor nos frutos, sugerindo retardo na degradação da clorofila e síntese de licopeno.
- Vários fatores podem ter contribuído para esse resultado, como a baixa quantidade de material exposto nos adesivos (0,3 g), ausência de reposição da mistura ao longo do armazenamento, alta umidade observada pela condensação no interior das embalagens, além do próprio modelo de adesivo confeccionado não ser o mais apropriado.
- As plataformas de nanoalumina, especialmente nas concentrações de 5 e 10% de KMnO_4 apresentaram melhor performance para a indicação de mudança de cor, possuindo ao menos 3 padrões de cores de adesivos cada.
- As análises sensoriais mostraram haver preferência por tomates mais avermelhados. A comparação das preferências dos atributos entre provadores de faixas etárias até 26 anos e acima de 26 anos não apresentou diferença. Entre os gêneros, verificou-se que homens tem porcentagem de compra maior para tomates mais vermelhos, apresentando intenções contraditórias quando a compra foi dividida para fins *in natura* ou processado.

7. PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

- Testar o indicador de maturação em outras cultivares de tomate, bem como outros frutos;
- Relacionar as cores dos adesivos com as variáveis físicas e químicas para cada variedade de fruto;
- Testar diferentes concentrações e quantidades da mistura de KMnO_4 com as nanopartículas de alumina e sílica;
- Testar o potencial de ação de outros agentes oxidantes, como o permanganato de sódio (NaMnO_4) e de outras plataformas nanométricas, como dióxido de titânio e prata;
- Controlar a umidade no interior das embalagens;
- Utilizar diferentes materiais para a confecção do adesivo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABELES, F. B.; MORGAN, P. W.; SALTVEIT, M. E. J. Ethylene in plant biology. San Diego: Academic Press, 1992. 414p.
- ABOU EL-NOUR, K. M. M.; EFTAIHA, A.; AL-WARTHAN, A.; AMMAR, R. A. A. Synthesis and applications of silver nanoparticles. *Arabian Journal of Chemistry*, v. 3, n. 3, p. 135-140, 2010.
- AHVENAINEN, R. *Novel Food Packaging Techniques*. 2003. 590p.
- ALEXANDER, L.; GRIERSON, D. Ethylene biosynthesis and action in tomato: a model for climacteric fruit ripening. *Journal of Experimental Botany*, v. 53, p. 2039-2055, 2002.
- ALMEIDA, A. S.; PEREIRA, M. E. C.; FILGUEIRAS, H. A. C.; ALVES, R. E.; MENEZES, J. B. Amadurecimento de manga 'Tommy Atkins' em dois estádios de maturação submetidas à aplicação pós-colheita de 1-MCP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 21, 2000, Fortaleza. Resumos... Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 2000. CD-ROM.
- ALVARENGA, M. A. R. *Tomate: produção em campo, casa-de-vegetação e em hidroponia*. Lavras: UFLA, 2004. 400p.
- ANDREUCCETTI, C; FERREIRA, M. D.; MORETTI, C. L.; HONÓRIO, S. L. Qualidade pós-colheita de frutos de tomate cv. Andréa tratados com etileno. *Horticultura Brasileira*, v. 25, n. 1, p. 122-126, 2007.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. *Official methods of analysis of the AOAC*. Gaithersburg: AOAC International, 18th ed. 2010.
- ARIAS, R.; LEE, T.; LOGENDRA, L.; JANES, H. Correlation of lycopene measured by HPLC with the L*, a*, b* color readings of a hydroponic tomato and the relationship of maturity with color and lycopene content. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, v. 48, p. 1697-1702, 2000.
- AZEREDO, H. Antimicrobial nanostructures in food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, v. 30, n. 1, p. 56-69, 2013.
- AZEREDO, H. M. C.; FARIA, J. A. F.; AZEREDO, A. M. C. Embalagens ativas para alimentos. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 20, n. 3, p. 337-341, 2000.
- AZEREDO, H. M. C.; FURTADO, R. F.; ROSA, M. F.; MATTOSO, L. H. C. Aplicação da nanotecnologia em embalagens de alimentos. *Fundamentos de Estabilidade de Alimentos*, 2012. p. 287-326.

AZEREDO, H. Nanocomposites for food packaging applications. *Food Research International*, v. 42, n. 9, p. 1240-1253, 2009.

BARRETT REINA, L. C. Conservação pós-colheita de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) da cultivar Gigante Kada submetido a choque a frio e armazenamento com filme de PVC. Dissertação de mestrado em Ciência dos Alimentos - Faculdade de Ciência dos Alimentos, Escola Superior de Agricultura de Lavras, UFLA: Lavras. 1990. 114p.

BARROS, J. C. S. M.; GOES, Á.; MINAM, K. Condições de conservação pós-colheita de frutos de pimentão (*Capsicum annum* L.). *Sci. Agric.*, v. 51, n. 2, p. 363-368, 1994.

BELL, A. A. Biochemical mechanisms of disease resistance. *Annual Review of Plant Physiology*, v. 32, p. 21-81, 1981.

BENASSI, G.; CORREA, G. A. S. F.; KLUGE, R. A.; JACOMINO, A. P. Shelf life of custard apple treated with 1-methylcyclopropene: an antagonist to the ethylene action. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 46, n. 1, p. 115-120, 2003.

BINOTI, R. M.; DAIUTO, E. R.; VIEITES, R. L.; NUVOLARI, C. M.; FURLANETO, K. A.; RAMOS, J. A.; CARVALHO, L. R. Radiação (UV-C) na conservação de tomate 'Pizzadoro' orgânico colhido em dois estádios de maturação. *Revista Iberoamericana Tecnología Postcosecha*, v. 14, n. 2, p. 204-216, 2013.

BLANKENSHIP, S. M.; DOLE, J. M. 1-Methylcyclopropene: a review. *Postharvest Biology and Technology*, v. 28, p. 1-25, 2003.

BLIDI, A. E.; RIGAL, L.; MALMARY, G.; MOLINIER, J.; TORRES, L. Ethylene removal for long term conservation of fruits and vegetables. *Food Quality and Preference*, v. 4, p. 119-126, 1993.

BORGUINI, R. G. Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) orgânico: o conteúdo nutricional e a opinião do consumidor. Dissertação de mestrado – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, Piracicaba, 2002. 110p.

BOUWMEESTER, H.; DEKKERS, S.; NOORDAM, M. Y.; HAGENS, W. I.; BULDER, A. S.; DE HEER, C.; TEN VOORDE, S. E. C. G.; WIJNHOFEN, S. W. P.; MARVIN, H. J. P.; SIPS, A. J. A. M. Review of health safety aspects of nanotechnologies in food production. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, v. 53, p. 52-62, 2009.

BRACKMANN, A.; STEFFENS, C. A.; GIEHL, R. F. H. Armazenamento de pêssgo 'Chimarrita' em atmosfera controlada e sob absorção de etileno. *Ciência Rural*, v. 33, n. 3, p. 431-435, 2003.

BRECHT, J. K. Harvest and handling techniques. In: BARTZ, J. A. (Ed). Postharvest physiology and pathology of vegetables. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 2002. p. 383-392.

BRICEÑO, S.; ZAMBRANO, J.; CASTELLANOS, E. Retardo en la maduración de frutos de mango cv. Kentt y Palmer mediante la mezcla vermúlita – KMnO₄ y silicagel-KMnO₄. *Agronomia Tropical*, v. 49, n. 1, p. 41-49, 1999.

CALEGARIO, F. F.; COSSO, R. G.; ALMEIDA, F. V.; VERCESI, A. E.; JARDIM, W. F. Determination of the respiration rate of tomato fruit using flow injection analysis. *Postharvest Biology and Technology*, v. 22, p. 249-256, 2001.

CAMARGO, G. A.; HAJ-ISA, N.; QUEIROZ, M. R. Avaliação da qualidade de tomate seco em conserva. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 11, n. 5, p. 521-526, 2007.

CANTWELL, M. Properties and recommended conditions for storage of fruits and vegetables. Disponível em: <http://postharvest.ucdavis.edu/produce/storage/prop_lm.html>. Acesso em: 30 de março de 2015.

CARVALHO, C. R. L.; MANTOVANI, D. M. B.; CARVALHO, P. R. N.; MORAES, R. M. Análises químicas de alimentos. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1990. 121p. (Manual Técnico).

CAVASSA, A. C.; FERREIRA, M. D. Conservação pós-colheita de tomates (*Lycopersicon esculentum* Mill.), cv. Kátia, utilizando coberturas comestíveis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33, 2004, São Paulo. Anais... São Paulo, 2004. p. 1-4.

CEAGESP. Programa Brasileiro para Modernização da Horticultura. Normas de Classificação do tomate. Centro de Qualidade em Horticultura CQH/CEAGESP. 2003.

CÉSAR, A. S.; MORI, C.; BATALHA, M. O. Inovações tecnológicas de embalagens nas indústrias de alimentos: estudo de caso da adoção de embalagem ativa em empresas de torrefação de café. *Revista Brasileira de Inovação*, v. 9, n. 2, p. 355-378, 2010.

CHAPELL, J.; HAHNBROCK, K.; BOLLER, T. Rapid induction of ethylene biosynthesis in cultured parsley cells by fungal elicitor and its relationship to the induction of phenylalanine ammonia-lyase (*Phytophthora megasperma*). *Planta*, v. 161, p. 475-480, 1984.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 785p.

CIARDI, J. A.; TIEMAN, D. M.; JONES, J. B.; KLEE, H. J. Reduced expression of the

tomato ethylene receptor gene LeETR4 enhances the hypersensitive response to *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*. *Molecular Plant-Microbe Interaction*, v. 14, p. 487-495, 2001.

CLIFF, M.; LOK, S.; LU, C.; TOIVONEN, P. M. A. Effect of 1-methylcyclopropene on the sensory, visual, and analytical quality of greenhouse tomatoes. *Postharvest Biology and Technology*, v. 53, p. 11-15, 2009.

COSTA, A. S.; RIBEIRO, L. R.; KOBLITZ, M. G. B. Uso de atmosfera controlada e modificada em frutos climatéricos e não-climatéricos. *Sitientibus série Ciências Biológicas*, v. 11, n. 1, p. 1-7, 2011.

COSTA, C. A.; SAMPAIO, R. A.; MARTINS, E. R.; SILVA, A. C.; PEREIRA, C. M.; ROCHA, S. L.; CASTRO, A. C. R.; RIBEIRO, F. L. A.; BONFIM, F. P. G. Produção orgânica de linhagens de tomate cereja tolerantes ao calor. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 46, 2006. Anais... Goiânia: Horticultura Brasileira, 2006. 1 CD-ROM.

COSTA, S. M. Conservação frigorificada de pêssegos ‘Tropic Beauty’ irradiados com e sem a utilização de permanganato de potássio. Dissertação de mestrado – Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp, Câmpus de Botucatu, 2008. 71p.

CRAMER, D. W.; KUPER, H.; HARLOW, B. L.; TITUS-ERNSTOFF, L. Carotenoids, antioxidants, and ovarian cancer risk in pre- and postmenopausal women. *International Journal of Cancer*, v. 94, p. 128-134, 2001.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1994. 390p.

DAINELLI, D.; GONTARD, N.; SYROPOULOS, D.; ZONDERVAN-VAN, B. E.; TOBBACK, P. Active and intelligent food packaging: legal aspects and safety concerns. *Trends in Food Science and Technology*, v. 19, p. 103-112, 2008.

DANTAS, E. A.; COSTA, S. S.; CRUZ, L. S.; BRAMONT, W. B.; COSTA, A. S.; PADILHA, F. F.; DRUZIAN, J. I.; MACHADO, B. A. S. Caracterização e avaliação das propriedades antioxidantes de filmes biodegradáveis incorporados com polpas de frutas tropicais. *Ciência Rural*, v. 45, n. 1, p. 142-148, 2015.

DIAZ, J.; HAVE, A.; KAN, J. A. L. The role of ethylene and wound signaling in resistance of tomato to *Botrytis cinerea*. *Plant Physiology*, v. 129, p. 1341-1351, 2002.

EMADPOUR, M.; REZAEI, K. Y.; OMRANI, A.; GHAREYAZIE, B.; MOHAMMADI, G. H. Effect of ethylene absorption using nano-particles on the storage

and quality characteristics of apricot. In: AGRONOMY AND HORTICULTURE, Pajouhesh-va-sazandegi Winter, 21, 2009. p. 82-89.

ESGUERRA, E. B.; MENDOZA, J. R.; PANTASTICO, E. B. Regulation of fruit ripening. II. Use of perlite-KMnO₄ insert as an ethylene absorbent. Philippine J. Sci., v. 107, p. 23-31, 1978.

ESQUERRÉ TUGAYÉ, D. T.; LAMPORT, A. Cell surface in plant-microorganism interactions. I. A structural investigation of cell wall hydroxyproline-rich glycoproteins which accumulate in fungus-infected plants. Plant Physiology, v. 64, p. 320-326, 1979.

FACHINELLO, J. C.; NACHTIGAL, J. C. Colheita e armazenamento. Fruticultura Fundamentos e Práticas. Disponível em: <<http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/livros/fundamentos-fruticultura/12.htm>>.

Acesso em: 14 de maio de 2015.

FAN, X.; MATTHEIS, J. P.; ROBERTS, R. G. Biosynthesis of phytoalexin in carrot root requires ethylene action. Physiologia Plantarum, v. 110, p. 450-454, 2000.

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/home/>>. Acesso em: 26 de fevereiro de 2015.

FENG, X.; APELBAUM, A.; SISLER, E. C.; GOREN, R. Control of ethylene responses in avocado fruit with 1-methylcyclopropene. Postharvest Biology and Technology, v. 20, n. 2, p. 143-150, 2000.

FERREIRA, M. D.; KUMAKAWA, M. K.; ANDREUC CETTI, C.; HONÓRIO, S. L.; TAVARES, M.; MATHIAS, M. L. Avaliação de linhas de beneficiamento e padrões de classificação para tomate de mesa. Horticultura Brasileira, v. 23, n. 4, p. 940-944, 2005.

FERREIRA, S. M. R.; FREITAS, R. J. S.; LAZZARI, E. N. Padrão de identidade e qualidade do tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) de mesa. Ciência Rural, v. 34, n. 1, p. 329-335, 2004.

FILGUEIRA, F. A. R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3 ed. rev. e amp. Viçosa, MG: Ed. Universidade Federal de Viçosa, 2008.

FILGUEIRA, F. A. R. Solanáceas: agrotecnologia moderna na produção de tomate, batata, pimentão, pimenta, berinjela e jiló. Lavras: UFLA, 2003. 331p.

FONTES, P. C. R.; SAMPAIO, R. A.; FINGER, F. L. Fruit size, mineral composition and quality of trickle-irrigated tomatoes as affected by potassium rates. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 35, n. 1, p. 21-25, 2000.

FORSYTH, F. R.; EAVES, C. A.; LOCKHART, C. L. Controlling ethylene levels in the atmosphere of small containers of apples. *Canadian Journal of Plant Science*, v. 47, n. 6, p. 717-718, 1967.

FRASER, P. D.; TRUESDALE, M. R.; BIRD, C. R.; SCHUCH, W.; BRAMLEY, P. M. Carotenoid biosynthesis during tomato fruit development. *Plant Physiology*, v. 105, p. 405-413, 1994.

FREIRE, M. T. A.; REYES, F. G. R. A importância de polietileno tereftalato (PET) na indústria de embalagens para alimentos. *Boletim SBCTA*, v. 31, n. 2, p. 129-136, 1997.

GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B.; FRIAS, J. R. G. *Tecnologia de alimentos*. São Paulo: Nobel, 2008. 511p.

GIL, M. I.; CONESSA, M. A.; ARTÉS, F. Quality changes in fresh cut tomato as affected by modified atmosphere packaging. *Postharvest Biology and Technology*, v. 25, n. 2, p. 199-207, 2002.

GUILHERME, D. O.; PINHO, L.; CAVALCANTI, T. F. M.; COSTA, C. A.; ALMEIDA, A. C. Análise sensorial e físico-química de frutos tomate cereja orgânicos. *Revista Caatinga*, v. 27, n. 1, p. 181-186, 2014.

GUILLÉN, F.; CASTILLO, S.; ZAPATA, P. J.; MARTÍNEZ-ROMERO, D.; SERRANO, M.; VALERO, D. Efficacy of 1-MCP treatment in tomato fruit: 1. Duration and concentration of 1-MCP treatment to gain an effective delay of postharvest ripening. *Postharvest Biology and Technology*, v. 43, n. 1, p. 23-27, 2007.

HAIR, J. R.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. *Análise multivariada de dados*. Porto Alegre: Buckman, 2005. 593p.

HAN, J. H.; HO, C. H. L.; RODRIGUES, E. T. Intelligent packaging. In: HAN, J. H. (Ed.). *Innovations in food packaging*. Baltimore, Elsevier Science & Technology Books, 2005. p. 138-155.

HAO, H. P.; HAO, L. Study on storing strawberry at a temperature near the freezing point of water. *Journal of Fruit Science*, v. 10, n. 1, p. 21-24, 1993.

HATTON, T. T.; REEDER, W. F. Quality of 'Lula' avocados stored in controlled atmospheres with or without ethylene. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v. 97, p. 339-343, 1972.

HOBSON, G. E.; GRIERSON, D. Tomato. In: SEYMOUR, G. B.; TAYLOR, J. E.; TUCKER, G. A. (Eds.). *Biochemistry of fruit ripening*. London: Chapman & Hall, 1993. p.405-442.

HOJO, E. T. D.; ABREU, C. M. P.; ASMAR, S. A.; HOJO, R. H.; CÔRREA, A. D.; BOAS, E. V. B. V. Avaliação da qualidade de manga ‘Palmer’ tratada com 1-metilciclopropeno e armazenada sob refrigeração e condição ambiente. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 31, n. 1, p. 28-38, 2009.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento sistemático da produção agrícola, 2014. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201104.pdf>. Acesso em: 10 de março de 2015.

ISHAQ, S.; RATHORE, H. A.; MASUD, T.; ALI, S. Influence of postharvest calcium chloride application, ethylene absorbent and modified atmosphere on quality characteristics and shelf life of apricot (*Prunus armeniaca* L.) fruit during storage. *Pakistan Journal of Nutrition*, v. 8, n. 6, p. 861-865, 2009.

JAVANMARDI, J.; KUBOTA, C. Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*, v. 41, n. 2, p. 151-155, 2006.

JAYAMARAN, K. S.; RAJU, P. S. Development and evaluation of a permanganate-based ethylene scrubber for extending the shelf life of fresh fruits and vegetables. *Journal of Food Science and Technology*, v. 29, p. 77-83, 1992.

JAYATHUNGE, K.; PRASAD, H.; FERNANDO, M.; PALIPANE, K. Prolonging the postharvest life of papaya using modified atmosphere packaging. *Journal of Agricultural Technology*, v. 7, n. 2, p. 507-518, 2011.

JERÔNIMO, E. M.; BRUNINI, M. A.; ARRUDA, M. C.; CRUZ, J. C. S.; GAVA, G. J. C.; SILVA, M. A. Qualidade de mangas ‘Tommy Atkins’ armazenadas sob atmosfera modificada. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 31, n. 4, p. 237-243, 2007.

JIANG, Y. M.; CHEN, F.; LIU, S. X.; LI, Y. Y. B. Effect of pre- and postharvest treatments on the keeping quality of banana. *Journal of Fruit Science*, v. 14, n. 2, p. 115-116, 1997.

JONES, J. B. *Tomato plant culture – in the field, greenhouse, and home garden*. New York: CRC Press, 1998. 199p.

JOSEPH, T.; MORRISON, M. *Nanotechnology in agriculture and food*. Institute of Nanotechnology, 2006. Disponível em: <http://www.nanoforum.org/nf06~modul~showmore~folder~99999~scid~377~.html?action=longview_publication>. Acesso em: 18 de março de 2015.

KADER, A. A. Ethylene-induced senescence and physiological disorders in harvested horticultural crops. *HortScience*, v. 20, p. 54-57, 1985.

KADER, A. A.; MORRIS L. L. Prompt handling reduces processing-tomato losses. *California Agriculture*, 1978. Disponível em: <<http://ucanr.edu/repositoryfiles/ca3205p21-62525.pdf>>. Acesso em: 25 de março de 2015.

KADER, A. A.; MORRIS, L. L.; STEVENS, M. A.; ALBRIGHT-HOLTON, M. Composition and flavor quality of fresh market tomatoes as influenced by some postharvest handling procedures. *Journal of American Society for Horticultural Science*, v. 113, n. 5, p. 742- 745, 1978.

KADER, A. A. Postharvest biology and technology: an overview. In: KADER, A. A. Postharvest of technology horticulture crops. Davis: University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, 1992. 296p.

KAVANAGH, E. E.; WADE, N. L. Role of the carrier in the removal of ethylene by permanganate from storage atmospheres. *ASEAN Food Journal*, v. 3, p. 128-134, 1987.

KAYS, S. J. Postharvest physiology of perishable plant products. New York: AVI, 1991. 532p.

KIEBER, J. Etileno: o hormônio gasoso. In: TAIZ, L.; ZEIGER, E. (Eds.). *Fisiologia vegetal*. 3 ed. Porto Alegre: Artmed Ed., 2004. p. 541-559.

KIM, G. H.; WILLS, R. B. H. Effect of ethylene on storage life of lettuce. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 69, p. 197-201, 1995.

KLUGE, R. A.; JACOMINO, A. P.; MARTINEZ OJEDA, R.; BRACKMANN, A. Inibição do amadurecimento de abacate com 1-metil-ciclopropeno. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 37, n. 7, p. 895-901, 2002.

LANA, M. M.; FINGER, F. L. Atmosfera modificada e controlada: aplicação na conservação de produtos hortícolas. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. 34p.

LEE, S. K.; SHERIDAN, M.; MILLS, A. Novel UV-activated colorimetric oxygen indicator. *Chemistry of Materials*, v. 17, n. 10, p. 2744-2751, 2005.

LIAO, F.; CHEN, C.; SUBRAMANIAN, V. Organic TFTs as gas sensors for electronic nose applications. *Sensors and Actuators B: chemical*, v. 107, n. 2, p. 849-855, 2005.

LIN, R. L.; ZHANG, Q. C. Preliminary report on study of treating banana with freshness-preserving agent K_2MnO_4 -amargosite. *Fujian Agricultural Science and Technology*, v. 3, p. 15-16, 1993.

LÓPEZ CAMELO, A. F.; GÓMEZ, P. A.; CACACE, J. E. Modelo para describir los cambios de color en tomate (cv. Tommy) durante la poscosecha. In: CONGRESO ARGENTINO DE HORTICULTURA, Termas de Río Hondo, Argentina. Resúmenes, ASAHO, 18, 1995. p. 212.

LÓPEZ CAMELO, A. F.; GÓMEZ, P. A. Comparison of color indexes for tomato ripening. Horticultura Brasileira, v. 22, n. 3, p. 534-537, 2004.

LÓPEZ CAMELO, A. F.; GÓMEZ, P. A. Modeling postharvest color changes in long shelf life tomatoes. In: INTERNATIONAL HORTICULTURAL CONGRESS, Brussels, Belgium. Abstracts, ISHS, 25, 1998. p. 9 supplement.

LUNDI, S. T.; STALL, R. E.; KLEE, H. J. Ethylene regulates the susceptible response to pathogen infection in tomato. Plant Cell, v. 10, p. 371-382, 1998.

MAGALHÃES, A. M.; FERREIRA, M. D.; MORETTI, C. L. Eficácia de limpeza durante o beneficiamento do tomate de mesa. Ciência Rural, v. 39, n. 9, p. 2431-2438, 2009.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Anexo XVII – Regulamento técnico de identificação e qualidade para a classificação do tomate, 2000. Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/agrolegis/Imagem?codArquivo=2472>>. Acesso em: 27 de janeiro de 2015.

MARCOS, S. R. Desenvolvimento de tomate de mesa, com o uso do método Q. F. P. (Quality Function Deployment) comercializado em um supermercado. Tese de doutorado – Campinas: UNICAMP, 2001. 200p.

MARQUES, P. V.; MELLO, P. C.; MARTINES, J. G. Mercados futuros e de opções agropecuárias. Departamento de Economia, Administração e Sociologia da Esalq/USP, Piracicaba, SP, Série Didática nº D-129. 2006. 334p.

McKEON, T. A.; YANG, S. F. Biosynthesis and metabolism of ethylene. In: DAVIES, P. J. (Ed.). Plant hormones and their role in plant growth and development. Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers, 1987. p. 94-112.

MICHAELI, W.; GREIF, H.; KAUFMANN, H.; VOSSEBÜRGER, F. Tecnologia dos Plásticos. São Paulo, 1995. 216p.

MILLS, A.; HAZAFY, D. Nanocrystalline SnO₂-based, UVB-activated, colourimetric oxygen indicator. Sensor and Actuators B: chemical, v. 136, n. 2, p. 344-349, 2009.

MORAES, M. A. C. Métodos para a avaliação sensorial dos alimentos. 7 ed. Campinas: Unicamp, 1988. 93p.

MORETTI, C. L.; SARGENT, S. A.; HUBER, D. J.; CALBO A. G.; PUSCHMANN, R. Chemical composition and physical properties of pericarp, locule and placental tissues of tomatoes with internal bruising. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v. 123, p. 656-660, 1998.

MOURA, M. R. D.; AOUADA, F. A.; SOUZA, J. R.; MATTOSO, L. H. C. Preparation of new active edible nanobiocomposite containing cinnamon nanoemulsion and pectin. *Polímeros*, v. 24, n. 4, p. 486-490, 2014.

NARCISO, M. G. Aplicação da tecnologia de identificação por radiofrequência (RFID) para controle de bens patrimoniais pela WEB. *Global Science and Technology*, v. 1, n. 7, p. 50-59, 2008.

NASCIMENTO, A. R.; JÚNIOR, M. S. S.; CALIARI, M.; FERNANDES, P. M.; RODRIGUES, J. P. M.; CARVALHO, W. T. Qualidade de tomates de mesa cultivados em sistema orgânico e convencional no estado de Goiás. *Horticultura Brasileira*, v. 31, n. 4, p. 628-635, 2013.

NEVES, L. C.; BENEDETTE, R. M.; SILVA, V. X.; LUCHETTA, L.; ZANUZZO, M. R.; ROMBALDI, C. V. Comportamento pós-colheita de caquis cv. Fuyu, através da atmosfera modificada passiva e da adsorção de etileno, armazenados sob refrigeração. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 28, n. 3, p. 374-379, 2006.

NGUYEN, M. L.; SCHWARTZ, S. J. Lycopene: chemical and biological properties. *Food Technology*, v. 53, p. 38-45, 1999.

OH, S. Y.; SHIN, S. S.; KIM, C.C.; LIM, Y. J. Effect of packaging films and freshness keeping agents on fruit quality of 'Yumyung' peaches during MA storage. *Korean Society for Horticultural Science*, v. 37, p. 781-786, 1996.

PARISI, M. C. M.; HENRIQUE, C. M.; PRATI, P. Perdas pós-colheita: um gargalo na produção de alimentos. *Pesquisa & Tecnologia*, v. 9, n. 2, p. 1-5, 2012.

PELEG, K. *Produce handling, packing and distribution*. Westport: AVI, 1985. 625p.

PEREIRA, W. S. P.; BELTRAN, A. Mecanismo de ação e uso do 1-MCP - bloqueador de etileno, visando prolongar a vida útil das frutas. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). *Manejo integrado: fruteiras tropicais - doenças e pragas*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2002. p. 31-44.

PICON, A.; MARTINEZ-JAVEGA, J. M.; CUQUERELLA, J.; RIO, M. A. D.; NAVAROO, P. Effects of precooling, packaging film, modified atmosphere and ethylene absorber on the quality of refrigerated Chandler and Douglas strawberries. *Food Chemistry*, v. 48, p. 189-193, 1993.

PIRES, M.; PETZHOLD, C. L.; SANTOS, R. V.; PERÃO, L.; CHIES, A. P. Efeito da migração de composto antimicrobiano nas propriedades finais de selagem de filme poliolefinico. *Polímeros*, v. 24, n. 2, p. 237-242, 2014.

QADIR, A.; HEWETT, E. W.; LONG, P. G. Ethylene production by *Botrytis cinerea*. *Postharvest Biology and Technology*, v. 11, p. 85-91, 1997.

RAO, A. V. Lycopene, tomatoes, and the prevention of coronary heart disease. *Experimental Biology and Medicine*, v. 227, p. 908-913, 2002.

REID, M. S. Biology of ethylene production and action. *Perishables Handling Newsletter*, Issue n. 80. 1994. p. 3-4.

RESENDE, J. M.; BOAS, E. V. B. V.; CHITARRA, M. I. F. Uso de atmosfera modificada na conservação pós-colheita do maracujá amarelo. *Ciência Agrotécnica*, v. 25, n. 1, p. 159-168, 2001.

RODRIGO, I.; VERA, P.; TORNERO, P.; JERNANDEZ-YAGO, J.; CONEJERO, V. cDNA cloning of viroid induced tomato pathogenesis-related protein P-23: characterization as a vacuolar antifungal factor. *Plant Physiology*, v. 102, p. 939-945, 1999.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. A guide to carotenoids analysis in food. Washington: International Life Sciences Institute Press, 2001. 64p.

RODRIGUEZ, F. Principles of Polymer Systems. Philadelphia, PA, 4. ed. 1996. 732p.

SALAMANCA, F. A.; BALAGUERA-LÓPEZ, H. E.; HERRERA, A. O. Effect of potassium permanganate on some postharvest characteristics of tomato 'Chonto' fruits (*Solanum Lycopersicum* L.). *Acta Horticulturae*, v. 1016, p. 171-176, 2014.

SALTVEIT, M. E. Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, v. 15, p. 279-292, 1999.

SALUNKE, D. K.; DESAI, B. B. Postharvest biotechnology of fruits. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, v. 1, 1986. p. 43-57.

SAMPAIO, R. A.; FONTES, P. C. R. Composição química e qualidade de frutos do tomateiro em função da adubação potássica. *Ciência Agrícola*, v. 5, n. 1, p. 65-73, 2000.

SARDABI, F.; MOHTADINIA, J.; SHAVAKHI, F.; ASHRAF JAFARI, A. Effect of 1-methylcyclopropene and potassium permanganate-coated zeolite nanoparticles on extending the shelf life and quality of Golden and Red Delicious apples. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, v. 8, n. 2, 2013.

SCOTT, K. J.; GUIGNI, J.; BAILEY, W. The use of polyethylene bags and ethylene absorbent to extend the life of kiwifruit (*Actinidia chinensis* Planch) during cool storage. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, v. 50, p. 563-566, 1984.

SCOTT, K. J.; McGLASSON, W. B.; ROBERTS, E. A. Potassium permanganate as an ethylene absorbent in polyethylene bags to delay ripening of bananas during storage. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, v. 10, p. 237-240, 1970.

SELVARAJAH, S.; BAUCHOT, A. D.; JOHN, P. Internal browning in cold-stored pineapples is suppressed by a postharvest application of 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology*, v. 23, p. 167-170, 2001.

SHORTER, A. J.; SCOTT, K. J.; WARD, G.; BEST, D. J. Effect of ethylene absorption on the storage of Granny Smith apples held in polyethylene bags. *Postharvest Biology and Technology*, v. 1, p. 189-194, 1992.

SILVA, D. F. P.; SALOMÃO, L. C. C.; CECON, P. R.; SIQUEIRA, D. L. Efeito de absorvedor de etileno na conservação de mamão “Golden”, armazenado à temperatura ambiente. *Revista Ceres*, v. 57, n. 6, p. 706-715, 2010.

SILVA, J. B. C.; GIORDANO, L. B.; FURUMOTO, O.; BOITEUX, L. S.; FRANÇA, F. H.; BÔAS, G. L. V.; BRANCO, M. C.; MEDEIROS, M. A.; MAROUELLI, W.; SILVA, W. L. C.; LOPES, C. A.; ÁVILA, A. C.; NASCIMENTO, W. M.; PEREIRA, W. Cultivo de tomate para industrialização. Embrapa Hortaliças, Sistemas de Produção, Versão eletrônica, 1 - 2ª ed. 2006.

SISLER, E. C.; BLANKENSHIP, S. M.; GUEST, M. Competition of cyclooctenes and cyclooctadienes for ethylene binding and activity in plants. *Plant Growth Regulation*, v. 9, p. 157-164, 1990.

SISLER, E. C.; SEREK, M. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptors level: recent developments. *Physiologia Plantarum*, v. 100, p. 577-582, 1997.

SOARES, E. P.; NUNES, E. C. D.; SAIKI, M.; WIEBECK, H. Caracterização de polímeros e determinação de constituintes inorgânicos em embalagens plásticas metalizadas. *Polímeros*, v. 12, n. 3, p. 206-212, 2002.

SOARES, N. D. F. F.; CRUZ, R. S.; VILLADIEGO, A. M. D.; MELO, N. R.; SILVEIRA, M. F. A.; BASTOS, M. D. S. R.; GERALDINE, R. M.; WURLITZER, N. J.; SILVA, W. A.; RODRIGUES, P. P. C. F. Embalagem ativa na conservação de alimentos. *Fundamentos de Estabilidade de Alimentos*, 2012. p. 253-286.

SOARES, N. F. F. Bitterness reduction in citrus juice through naringinase immobilized into polymer film. Ph.D. Dissertation. Cornell University, New York, 1998. 130p.

SOARES, N. F. F.; SILVA, W. A.; PIRES, A. C. S.; CAMILLOTO, G. P.; SILVA, P. S. Novos desenvolvimentos e aplicações em embalagens de alimentos. *Revista Ceres*, v. 56, n. 4, p. 370-378, 2009.

SORBENTSYSTEMS. The problem – ethylene gas. Disponível em: <<http://www.sorbentsystems.com/epaxtech.html>>. Acesso em: 10 de abril de 2015.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia Vegetal*. 3. ed. Editora Artmed, Porto Alegre. 2004.

TEIXEIRA, E.; MEINERT, E. M.; BARBETTA, P. A. *Análise sensorial de alimentos*. Florianópolis: UFSC, 1987. 180p.

THOMMA, B.; PENNINGCKX, I.; BOEKAERT, W. F.; CAMMUE, B. P. A. The complexity of disease signaling in Arabidopsis. *Current Opinion Immunology*, v. 13, p. 63-68, 2001.

TORNERO, P.; CONEJERO, V.; VERA, P. A gene encoding a novel isoform of the PR-1 protein family from tomato is induced upon viroid infection. *Molecular and General Genetics*, v. 243, p. 47-53, 1994.

TORNERO, P.; CONEJERO, V.; VERA, P. Two PR-1 genes from tomato are differentially regulated and reveal a novel of expression for pathogenesis-related gene during the hypersensitive response and development. *Molecular Plant-Microbe Interaction*, v. 10, p. 624-634, 1997.

TUCKER, G. A. Introduction. In: SEYMOUR, G. B.; TAYLOR, J. E.; TUCKER, G. A. (Eds.). *Biochemistry of fruit ripening*. London: Chapman & Hall, 1993. p. 1-51.

USDA. United States Standards for Grade of Fresh Tomatoes. In: UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. 1991. Disponível em: <<http://www.ams.usda.gov/AMSV1.0/getfile?dDocName=STELPRDC5050331>>. Acesso em: 14 de abril de 2015.

VERMEIREN, L.; DEVLIEGHERE, F.; DEVEBERE, J. Effectiveness of some recent antimicrobial packaging concepts. *Food Additives and Contaminants*, v. 19, p. 163-171, 2002.

VERMEIREN, L.; DEVLIEGHERE, F.; VAN BEEST, M.; DEVEBERE, J. Developments in the active packaging of foods. *Trends in Food Science and Technology*, v. 10, p. 77-86, 1999.

VILAS BOAS, E. V. B. 1-MCP: um inibidor da ação do etileno. In: SIMPÓSIO DE CONTROLE DE DOENÇAS DE PLANTAS, 2, 2002, Lavras. Anais... Lavras: UFLA, 2002a. p. 24-30.

VILAS BOAS, E. V. B. Frutos climatéricos e não-climatéricos: implicações na pós-colheita. In: SIMPÓSIO DE CONTROLE DE DOENÇAS DE PLANTAS, 2, 2002, Lavras, Anais... Lavras: UFLA, 2002b. p. 9-23.

VILELA, N. J.; LANA, M. M.; NASCIMENTO, E. F.; MAKISHIMA, N. O peso da perda de alimentos para a sociedade: o caso das hortaliças. *Horticultura Brasileira*, v. 21, n. 2, p. 142-144, 2003.

WIJNHOFEN, S. W. P.; PEIJNENBURG, W. J. G. M.; HERBERTS, C. A.; HAGENS, W. I.; OOMEN, A. G.; HEUGENS, E. H. W. Nano-silver-a review of available data and knowledge gaps in human and environmental risk assessment. *Nanotoxicology*, v. 3, n. 2, p. 109-138, 2009.

WILD, B. L.; McGLASSON, W. B.; LEE, T. H. Effect of reduced ethylene levels in storage atmospheres on lemon keeping quality. *HortScience*, v. 11, p. 114-115, 1976.

WILLS, R. B. H.; KIM, G. H. Effect of ethylene on postharvest life of strawberries. *Postharvest Biology and Technology*, v. 6, p. 249-255, 1995.

WILLS, R. B. H.; KU, V. V. V.; SHOKET, D.; KIM, G. H. Importance of low ethylene levels to delay senescence of non-climacteric fruit and vegetables. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, v. 39, p. 221-224, 1999.

WILLS, R. B. H.; WARTON, M. A. Efficacy of potassium permanganate impregnated into alumina beads to reduce atmospheric ethylene. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v. 129, n. 3, p. 433-438, 2004.

WILLS, R. B. H.; WARTON, M. A.; MUSSA, D. M. D. N.; CHEW, L. P. Ripening of climacteric fruits initiated at low ethylene levels. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, v. 41, n. 1, p. 89-92, 2001.

WILLS, R.; McGLASSON, B.; GRAHAM, D.; JOYCE, D. *Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruits, vegetables and ornamentals*. 4. ed. Wallingford: CAB, 1998. 262p.

WILSON, C. L. *Intelligent and active packaging for fruits and vegetables*. Boca Raton: CRC Press, 2007. 358p.

YAM, K. L.; SABA, R. G.; HO, Y. C. Packaging materials. In: FRANCIS, F. J. (Ed.). *Encyclopedia of Food Science and Technology*. New York: John Wiley & Sons, 1999. p. 1824-1829.

YAM, K. L.; TAKHISTOV, P. T.; MILTZ, J. Intelligent Packaging: Concepts and Applications. *Journal of Food Science*, v. 70, p. 1-10, 2005.

ZAGORY, D. Ethylene-removing packaging In: ROONEY, M. L. *Active food packaging*. Glasgow: Chapman & Hall, 1995. p. 38-54.

9. ANEXOS

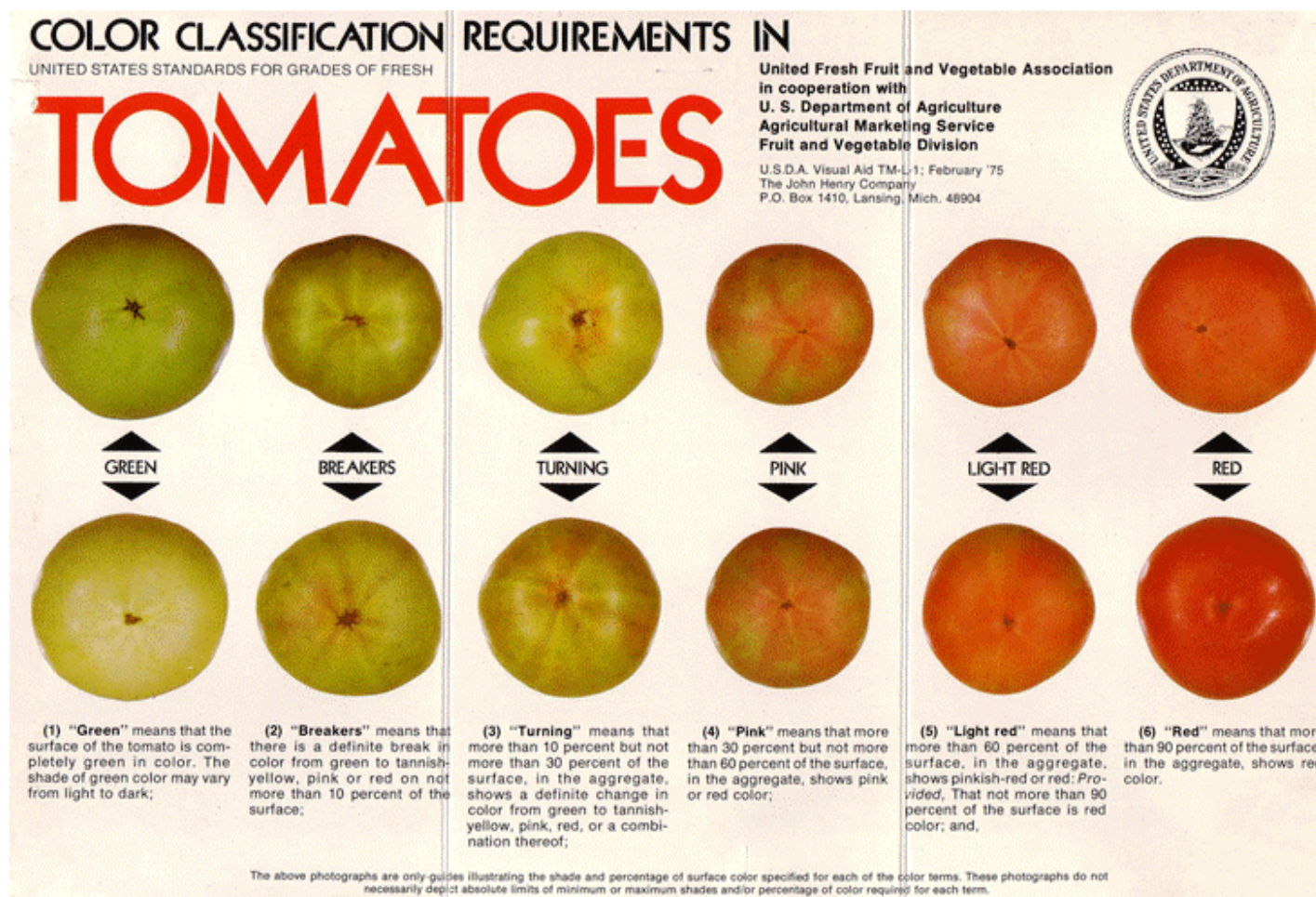


Figura 1A. Classificação de cor em tomates de acordo com a USDA (2015).

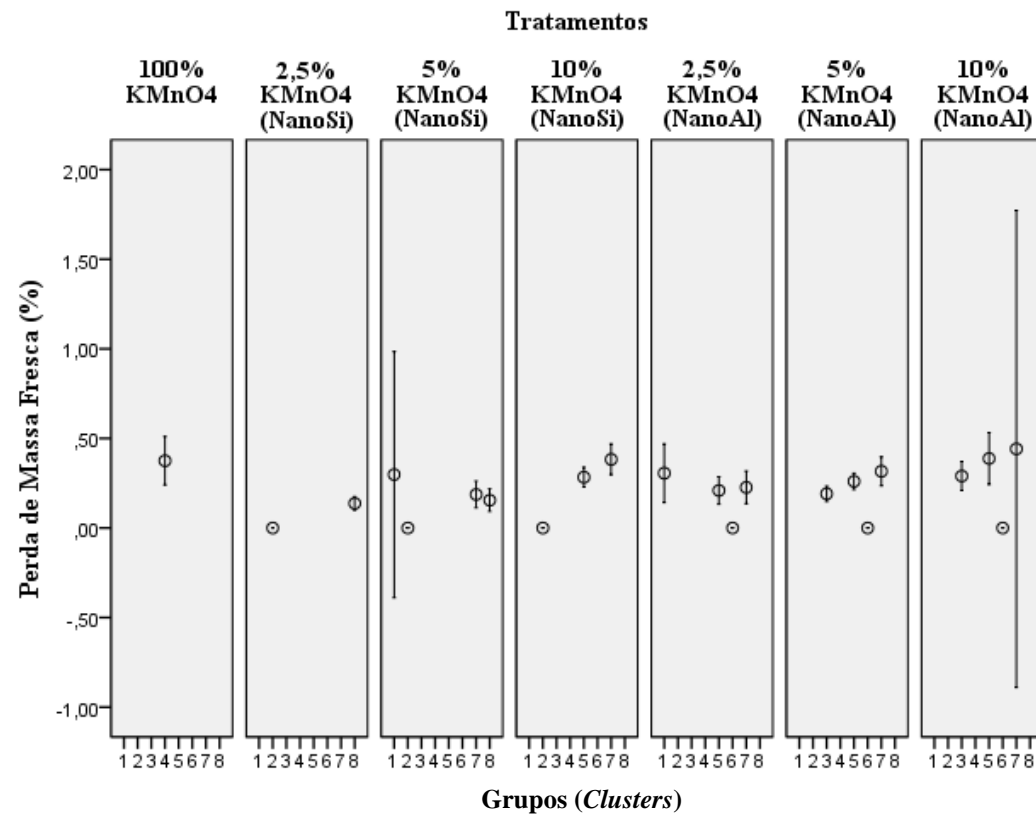


Figura 2A. Comparação dos grupos (*clusters*) por tratamento para a perda de massa fresca (%) em tomates cv. Pizzadoro do experimento 1. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).

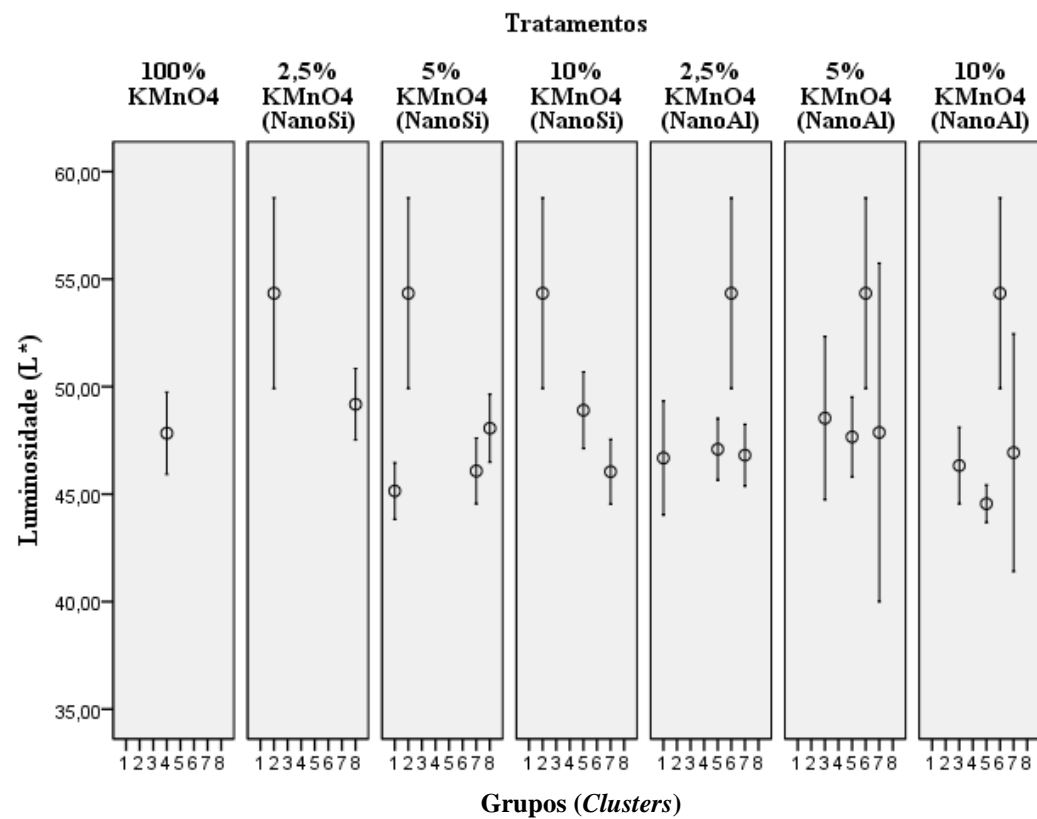


Figura 3A. Comparação dos grupos (*clusters*) por tratamento para a luminosidade (L^*) em tomates cv. Pizzadoro do experimento 1. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).

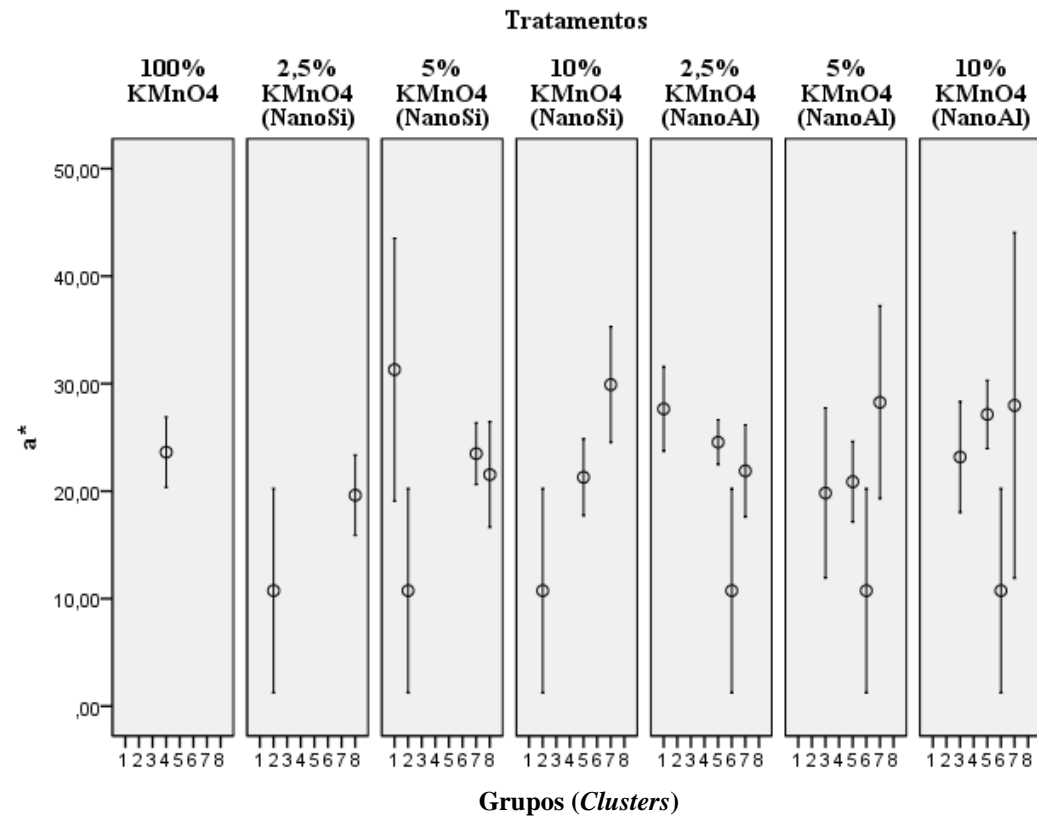


Figura 4A. Comparação dos grupos (*clusters*) por tratamento para o parâmetro de cor a^* em tomates cv. Pizzadoro do experimento 1. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).

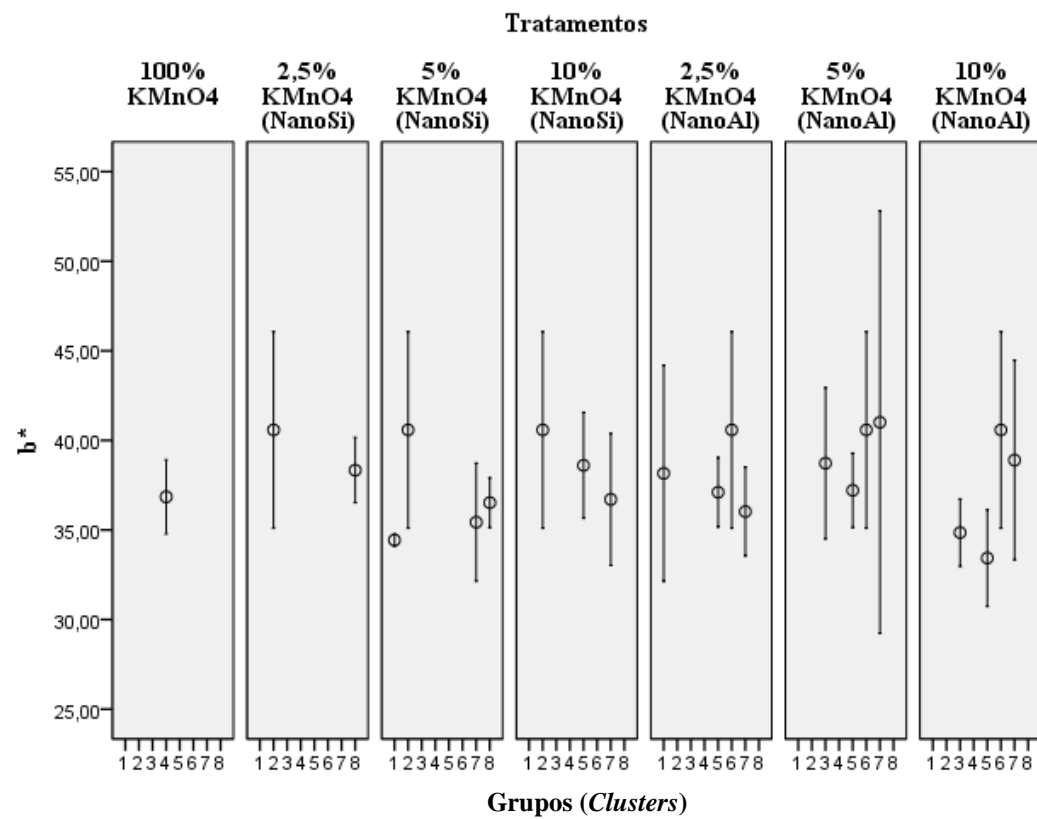


Figura 5A. Comparação dos grupos (*clusters*) por tratamento para o parâmetro de cor b^* em tomates cv. Pizzadoro do experimento 1. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).

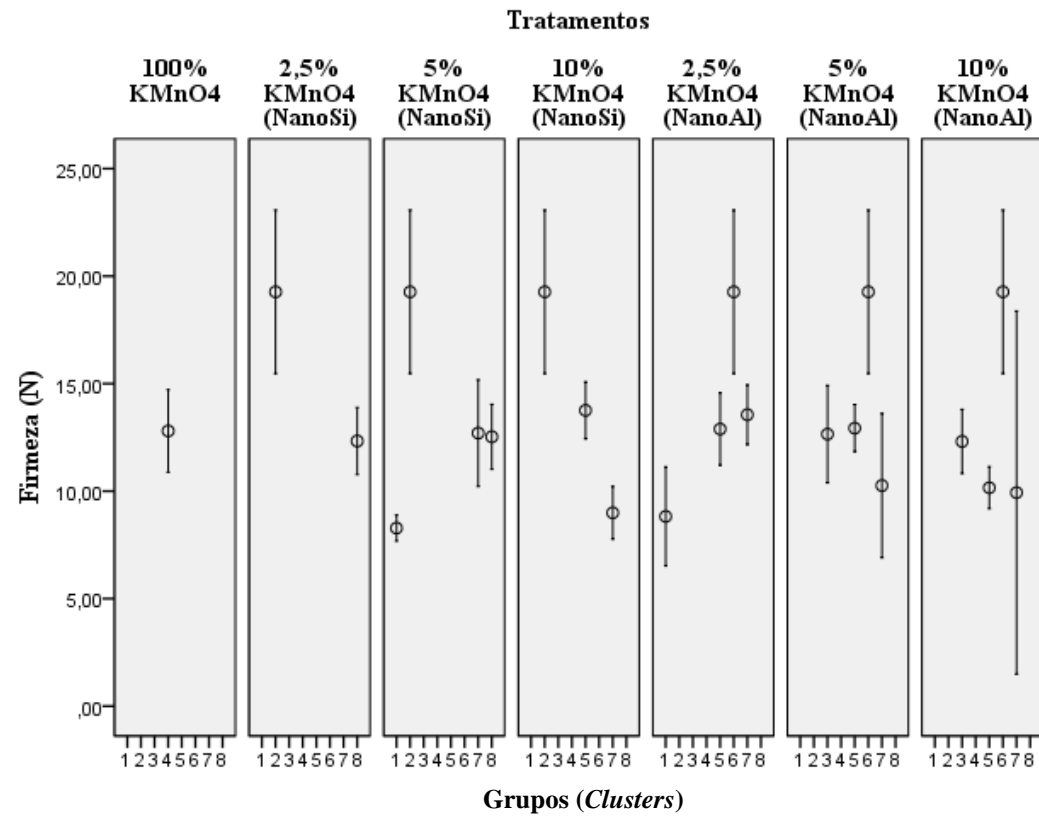


Figura 6A. Comparação dos grupos (*clusters*) por tratamento para a firmeza (N) em tomates cv. Pizzadoro do experimento 1. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).

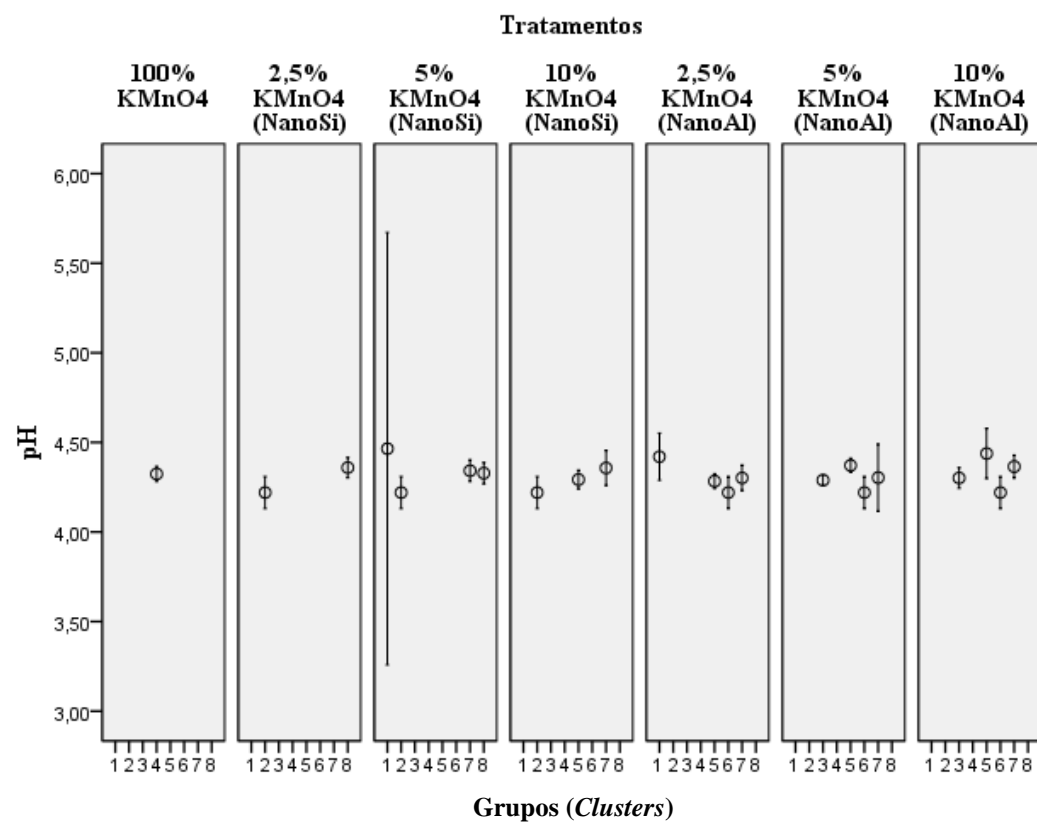


Figura 7A. Comparação dos grupos (*clusters*) por tratamento para o pH em tomates cv. Pizzadoro do experimento 1. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).

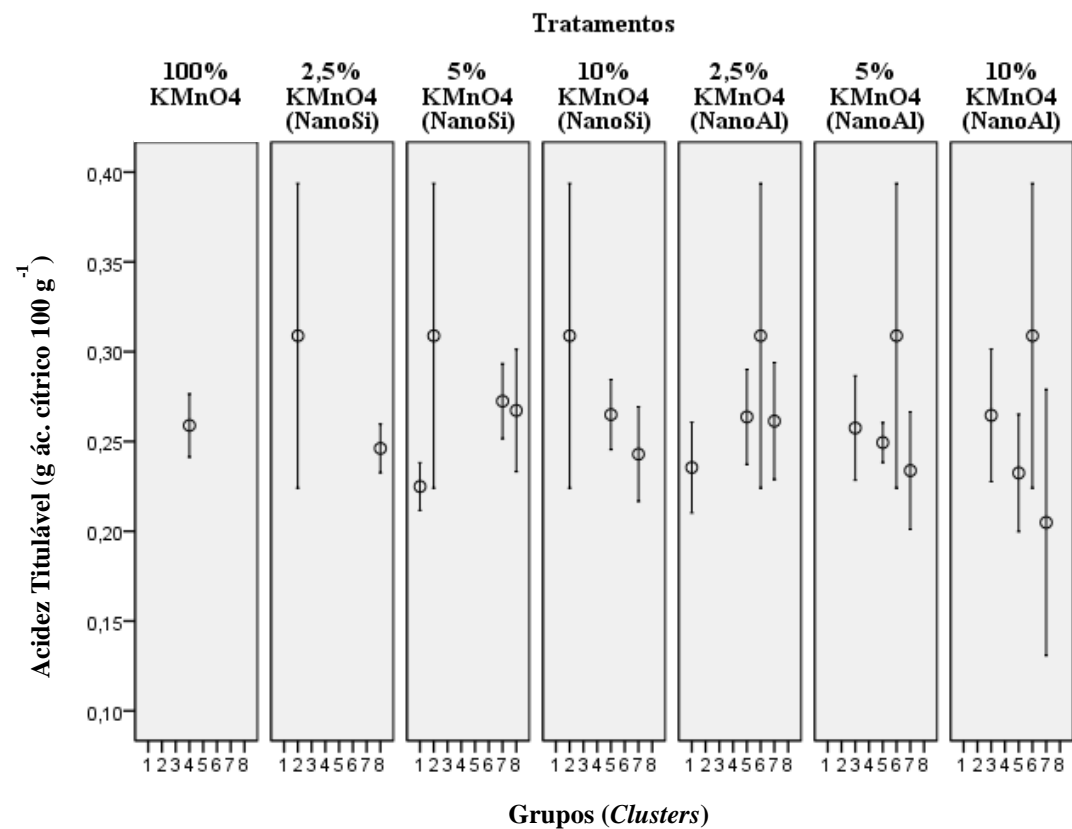


Figura 8A. Comparação dos grupos (*clusters*) por tratamento para a acidez titulável (g ác. cítrico 100 g⁻¹) em tomates cv. Pizzadoro do experimento 1. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).

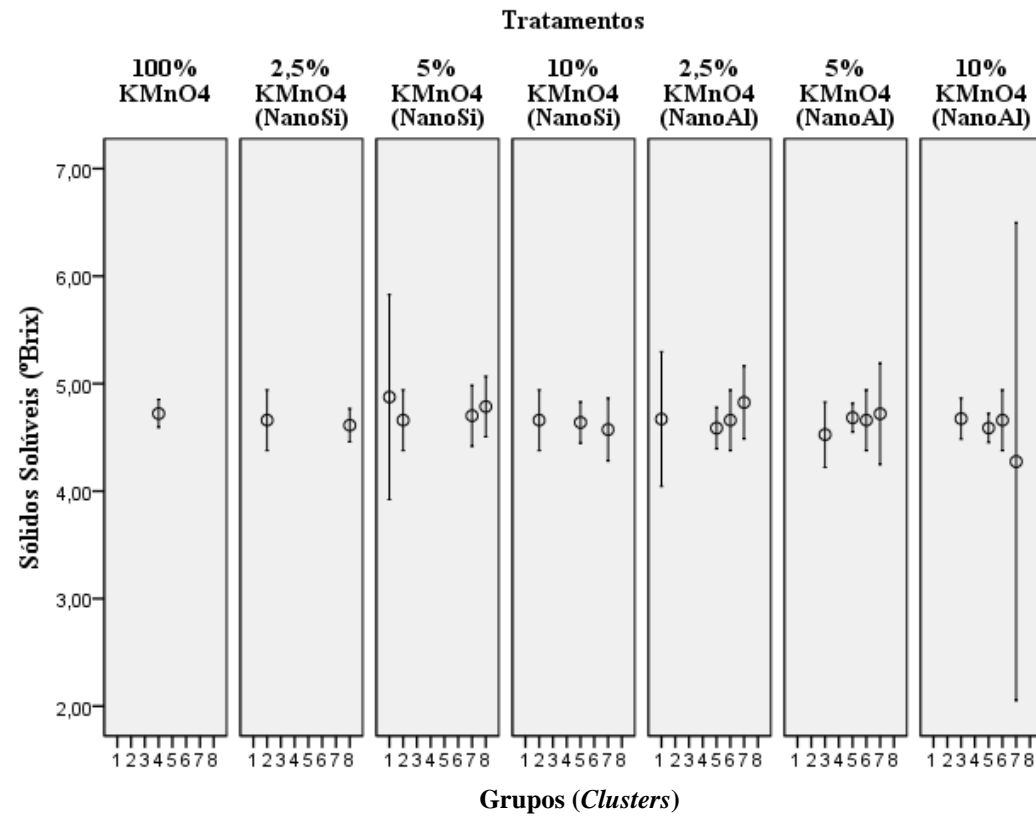


Figura 9A. Comparação dos grupos (*clusters*) por tratamento para o teor de sólidos solúveis (°Brix) em tomates cv. Pizzadoro do experimento 1. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).

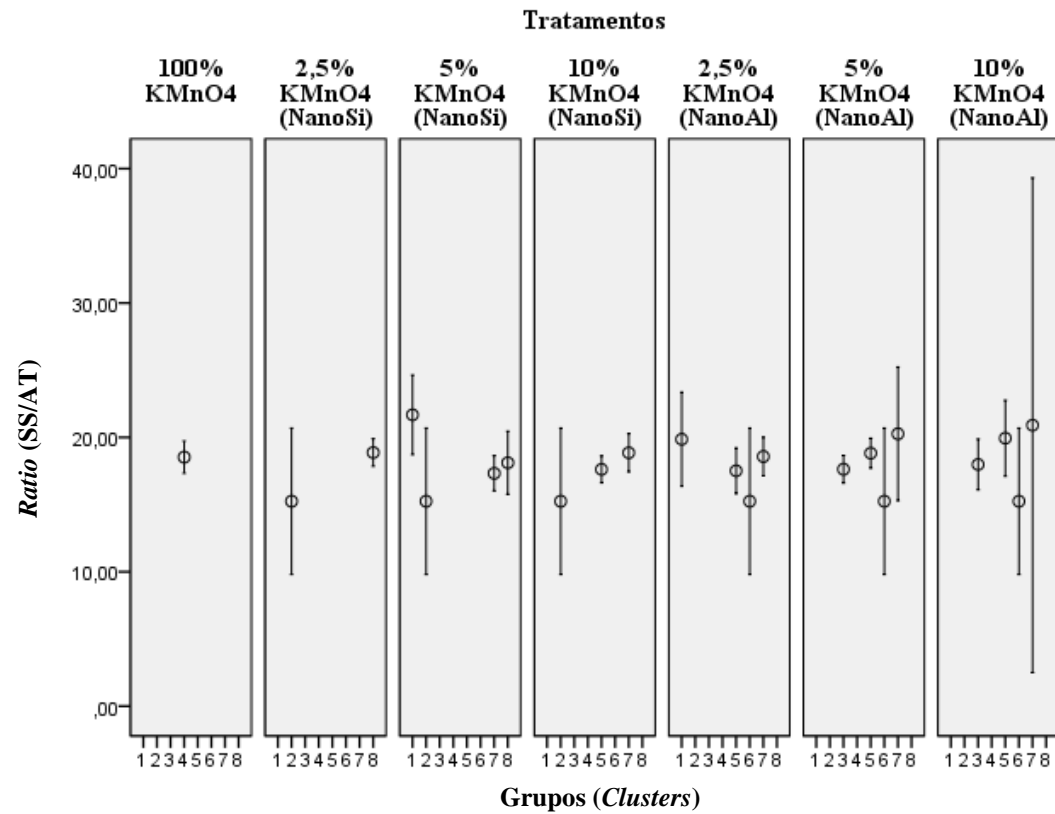


Figura 10A. Comparação dos grupos (*clusters*) por tratamento para o *ratio* (SS/AT) em tomates cv. Pizzadoro do experimento 1. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).

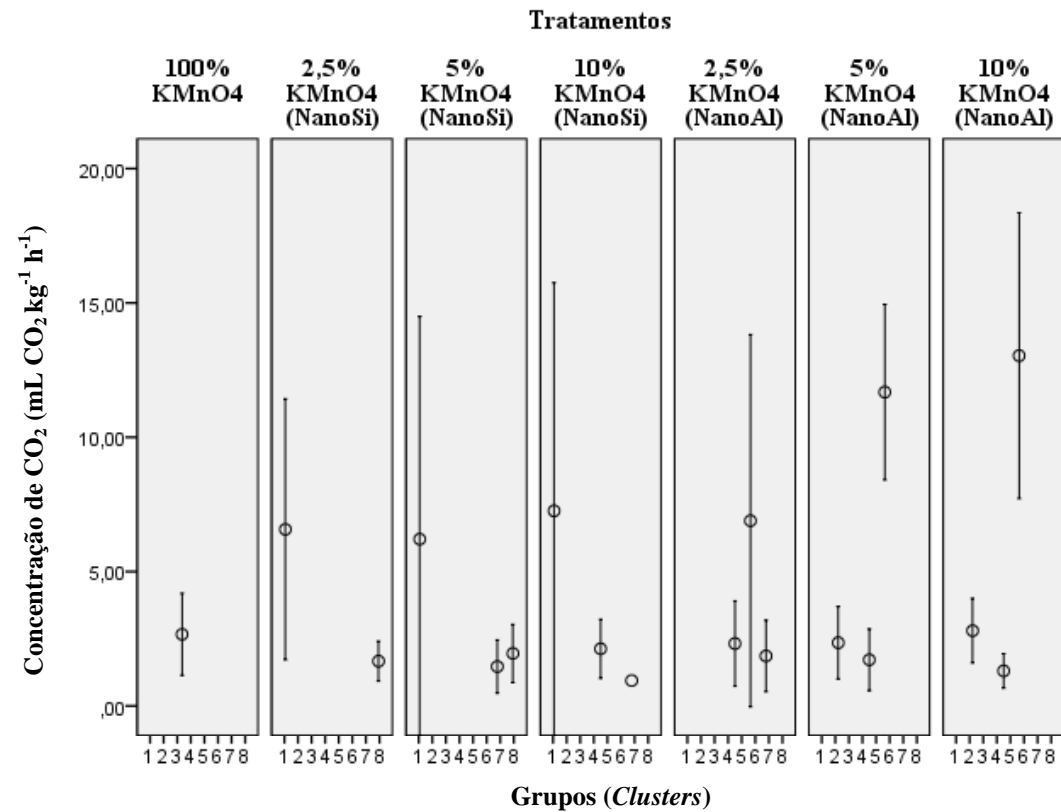


Figura 11A. Comparação dos grupos (*clusters*) por tratamento para as concentrações de CO₂ (mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹) em tomates cv. Pizzadoro do experimento 1. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).

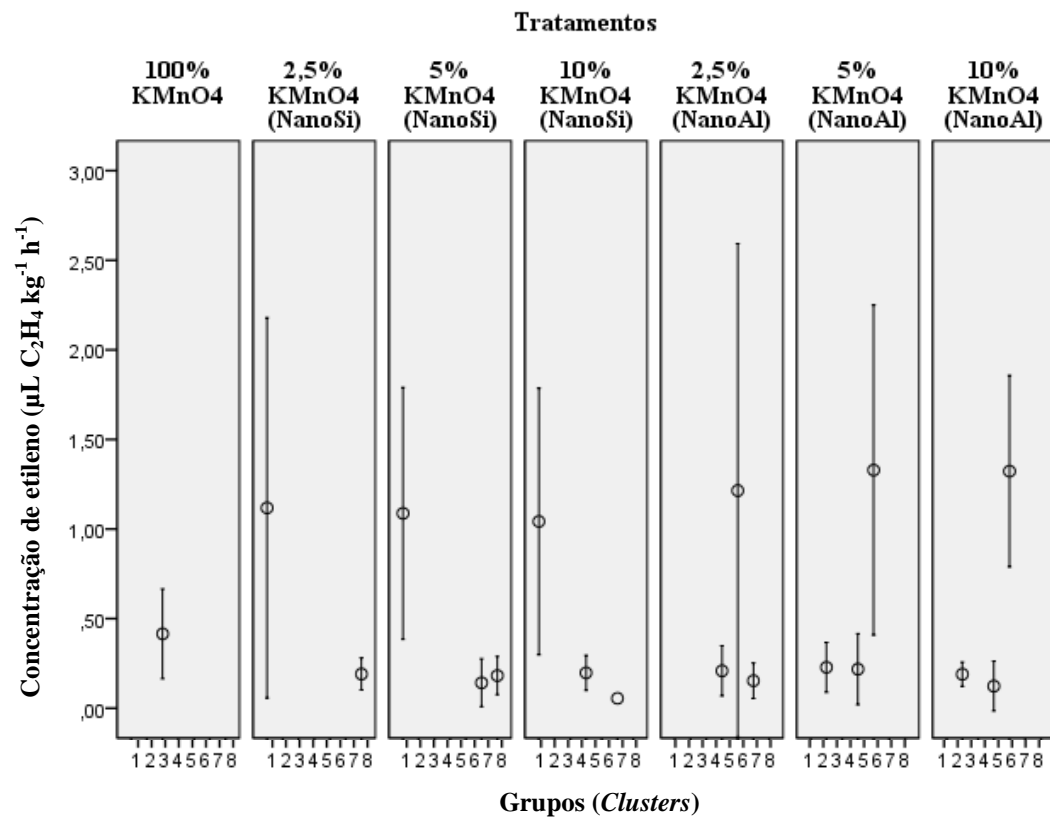


Figura 12A. Comparação dos grupos (*clusters*) por tratamento para as concentrações de etileno ($\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) em tomates cv. Pizzadoro do experimento 1. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).

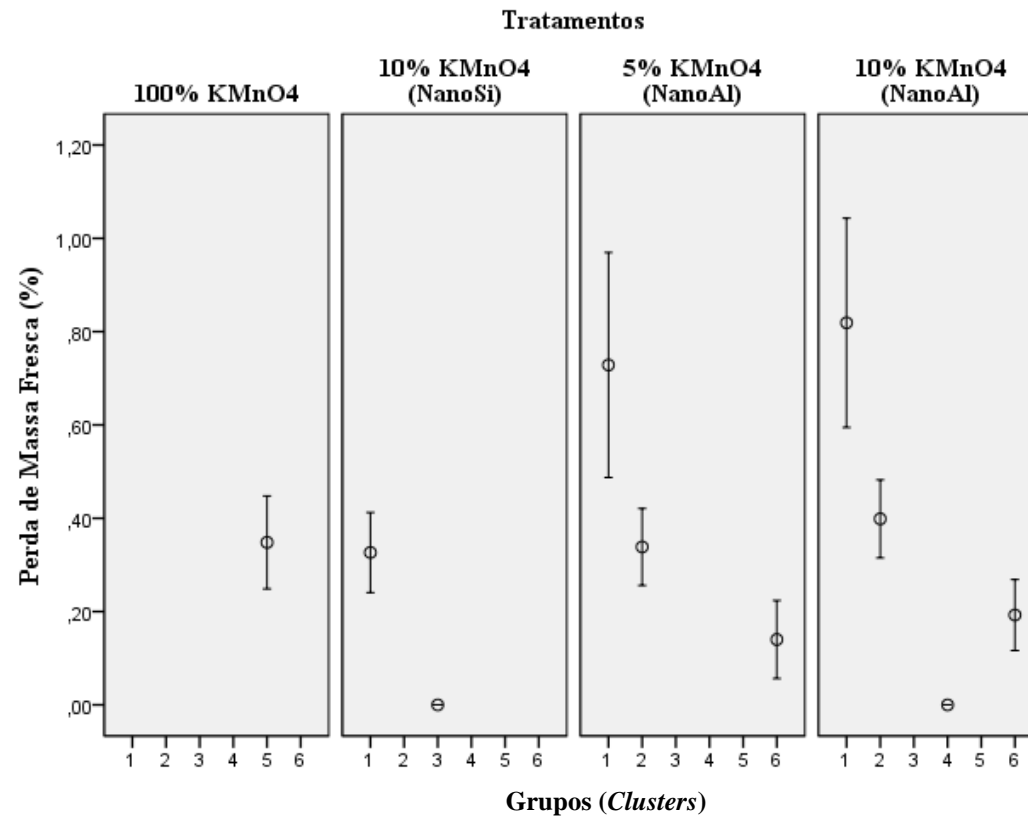


Figura 13A. Comparação dos grupos (*clusters*) por tratamento para a perda de massa fresca (%) em tomates cv. Pizzadoro do experimento 2. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).

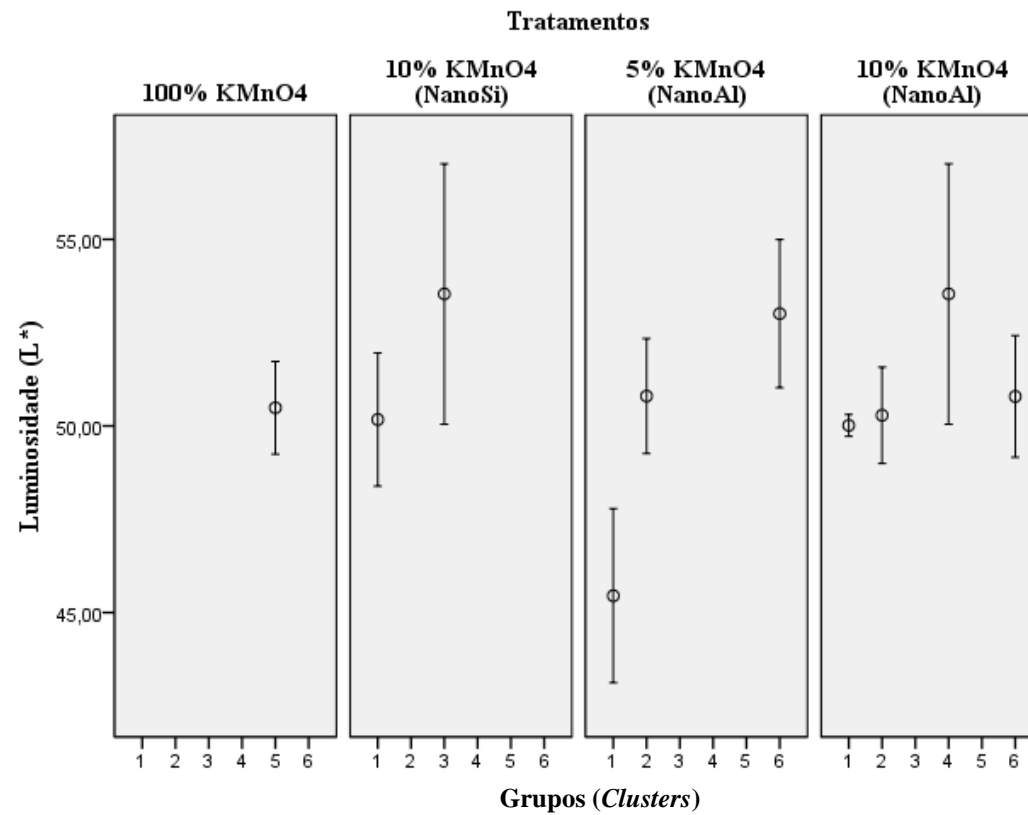


Figura 14A. Comparação dos grupos (*clusters*) por tratamento para a luminosidade (L*) em tomates cv. Pizzadoro do experimento 2. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).

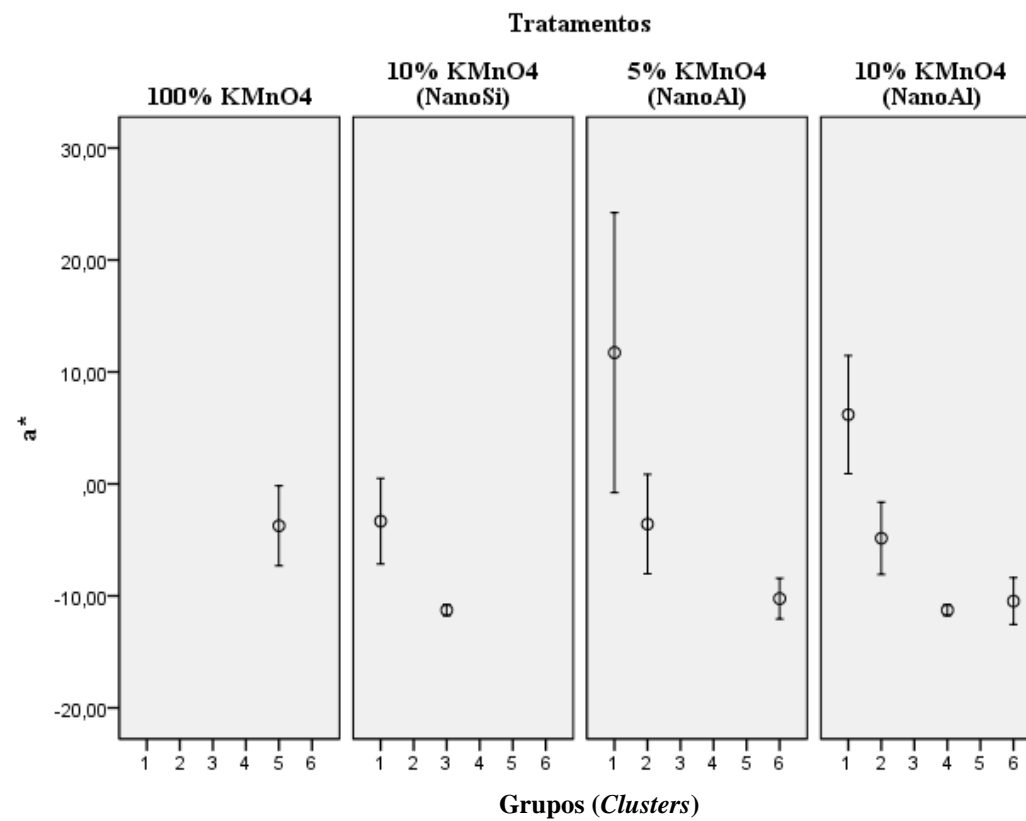


Figura 15A. Comparação dos grupos (*clusters*) por tratamento para o parâmetro de cor a* em tomates cv. Pizzadoro do experimento 2. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).

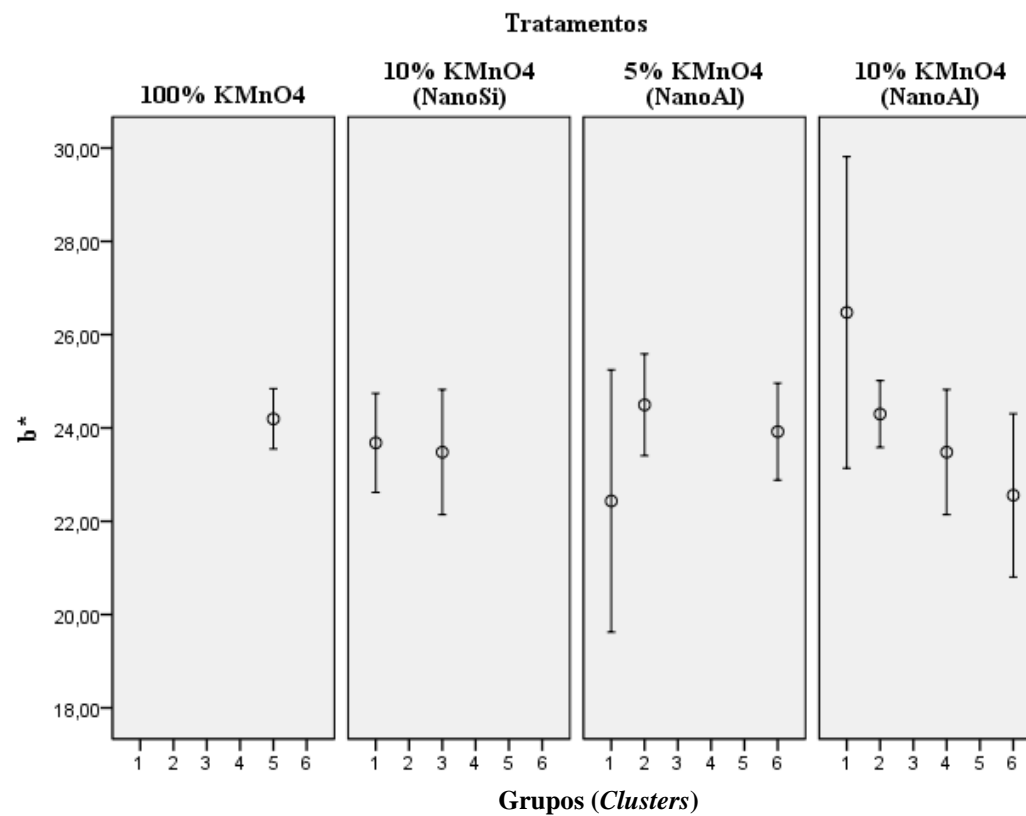


Figura 16A. Comparação dos grupos (*clusters*) por tratamento para o parâmetro de cor b^* em tomates cv. Pizzadoro do experimento 2. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).

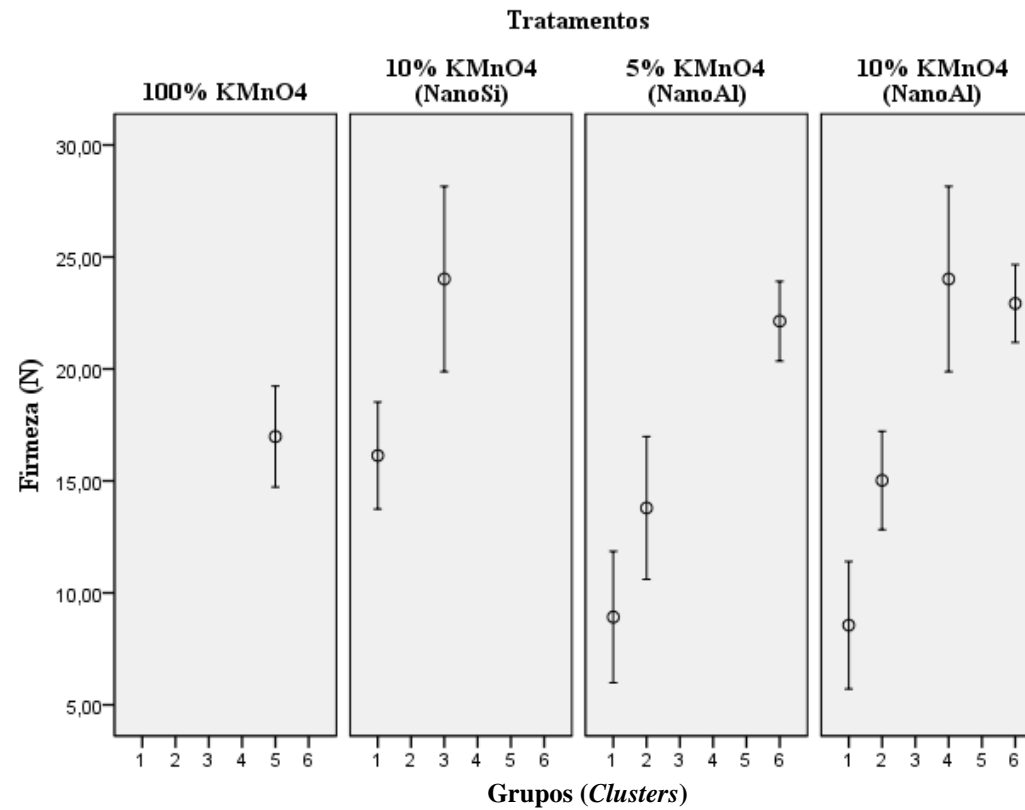


Figura 17A. Comparação dos grupos (*clusters*) por tratamento para a firmeza (N) em tomates cv. Pizzadoro do experimento 2. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).

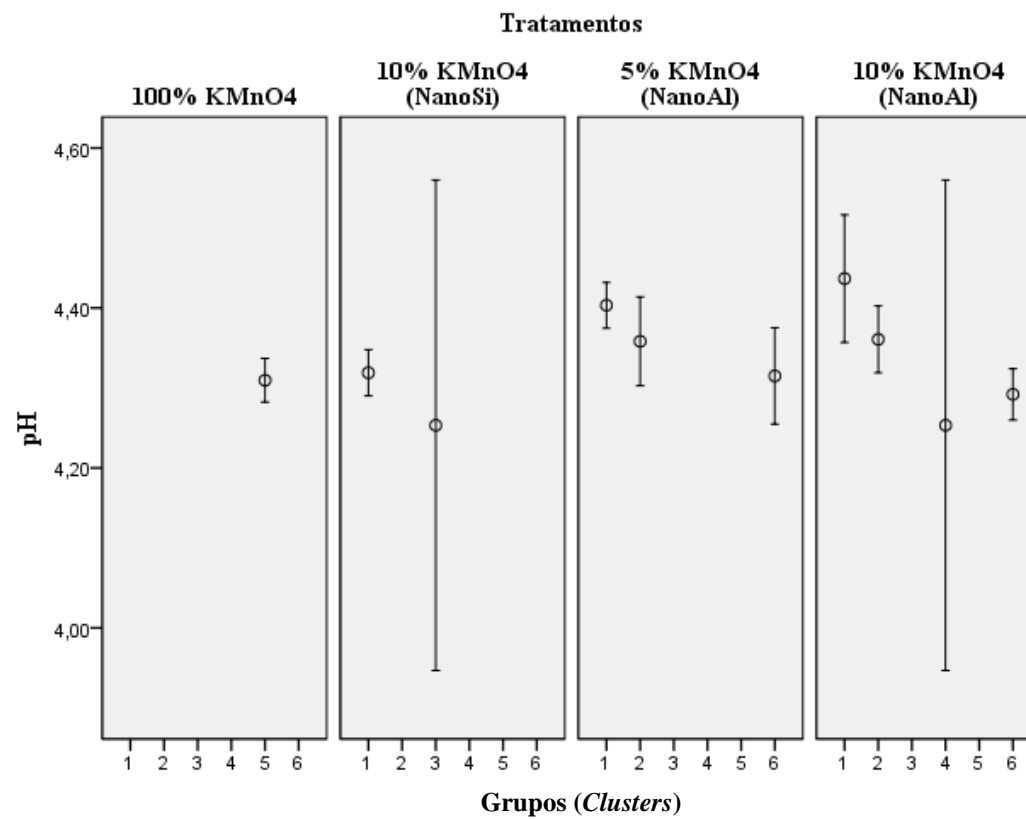


Figura 18A. Comparação dos grupos (*clusters*) por tratamento para o pH em tomates cv. Pizzadoro do experimento 2. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).

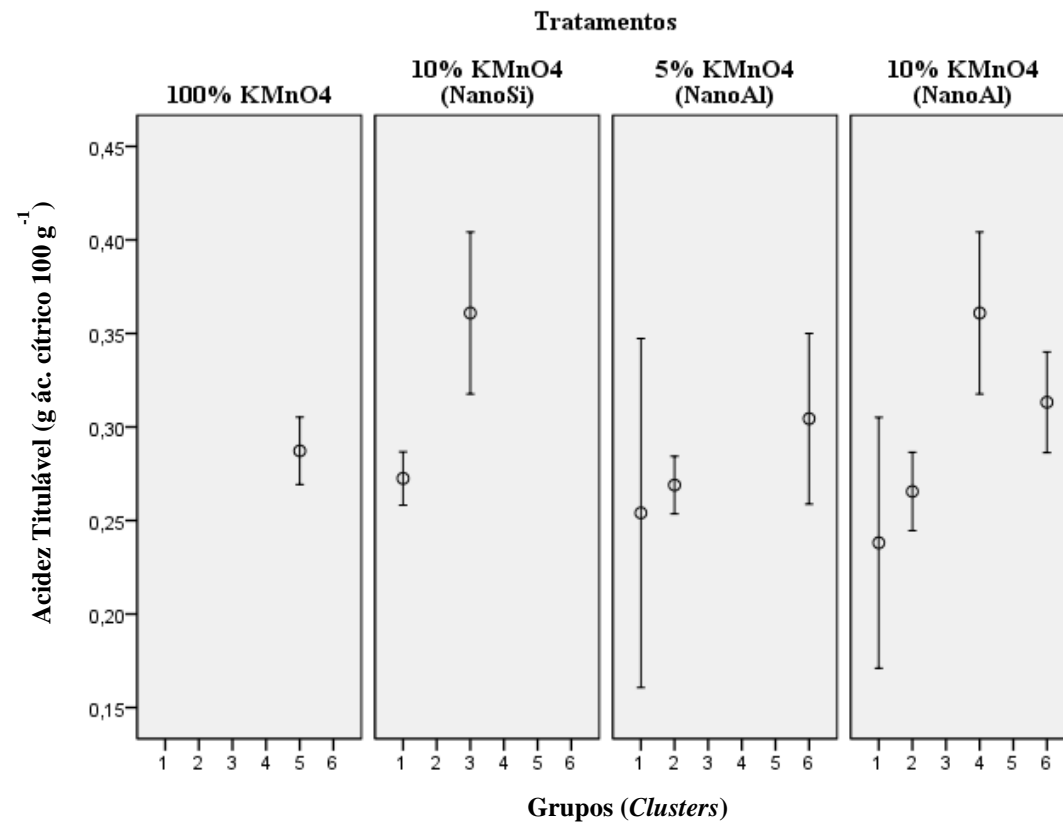


Figura 19A. Comparação dos grupos (*clusters*) por tratamento para a acidez titulável (g ácido cítrico 100 g⁻¹) em tomates cv. Pizzadoro do experimento 2. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).

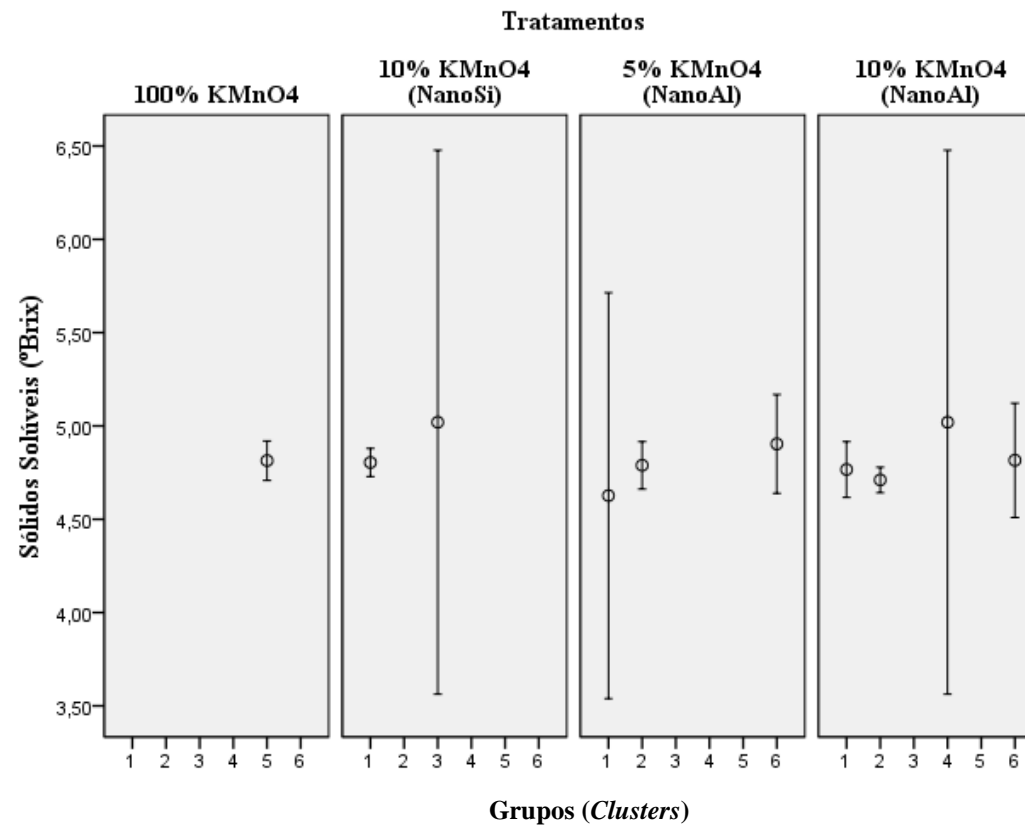


Figura 20A. Comparação dos grupos (*clusters*) por tratamento para o teor de sólidos solúveis (°Brix) em tomates cv. Pizzadoro do experimento 2. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).

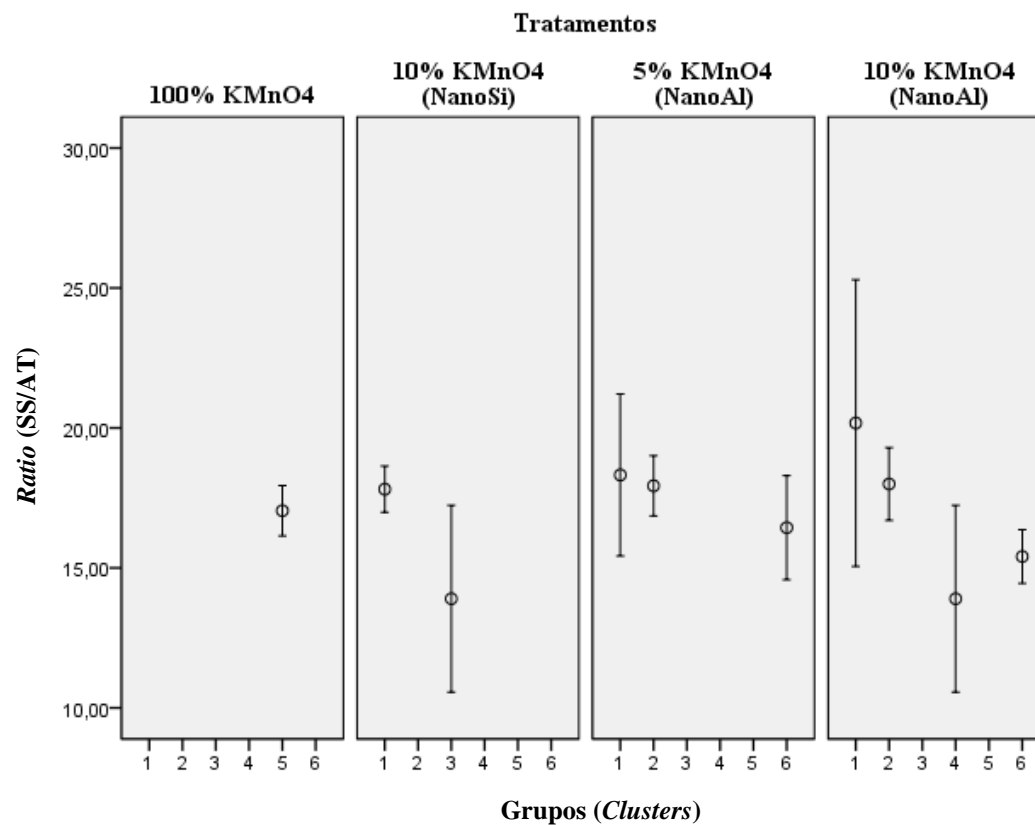


Figura 21A. Comparação dos grupos (*clusters*) por tratamento para o *ratio* (SS/AT) em tomates cv. Pizzadoro do experimento 2. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).

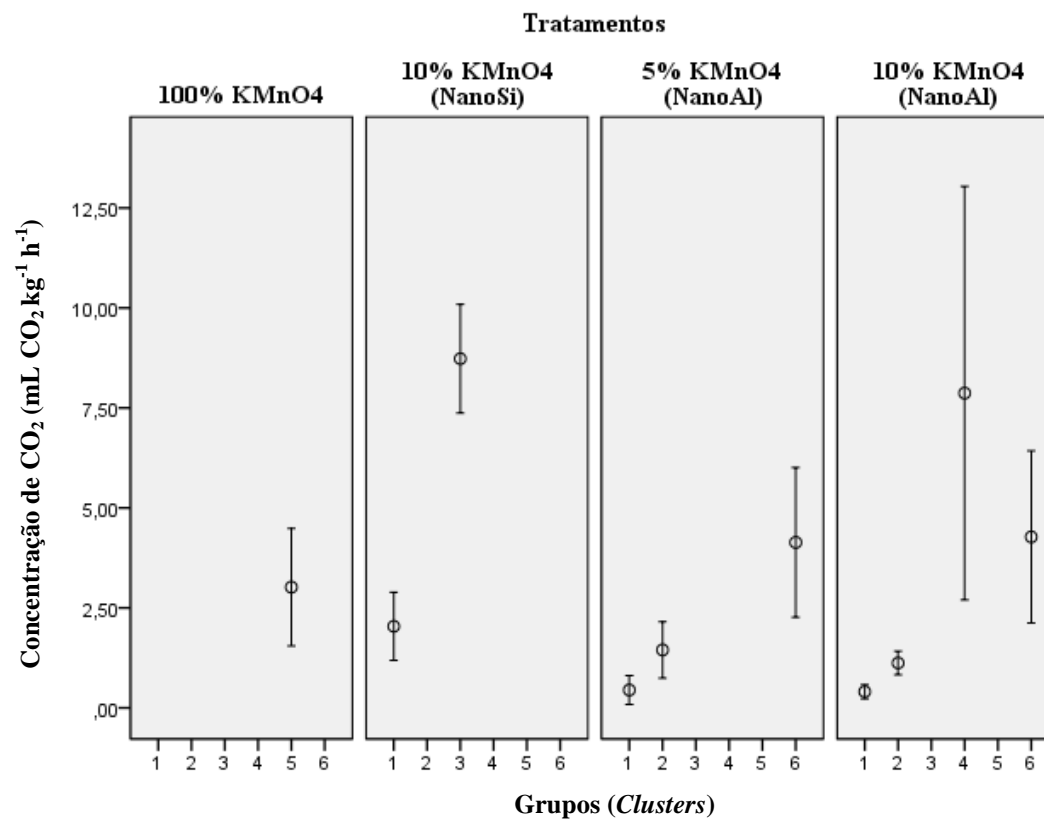


Figura 22A. Comparação dos grupos (*clusters*) por tratamento para as concentrações de CO₂ (mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹) em tomates cv. Pizzadoro do experimento 2. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).

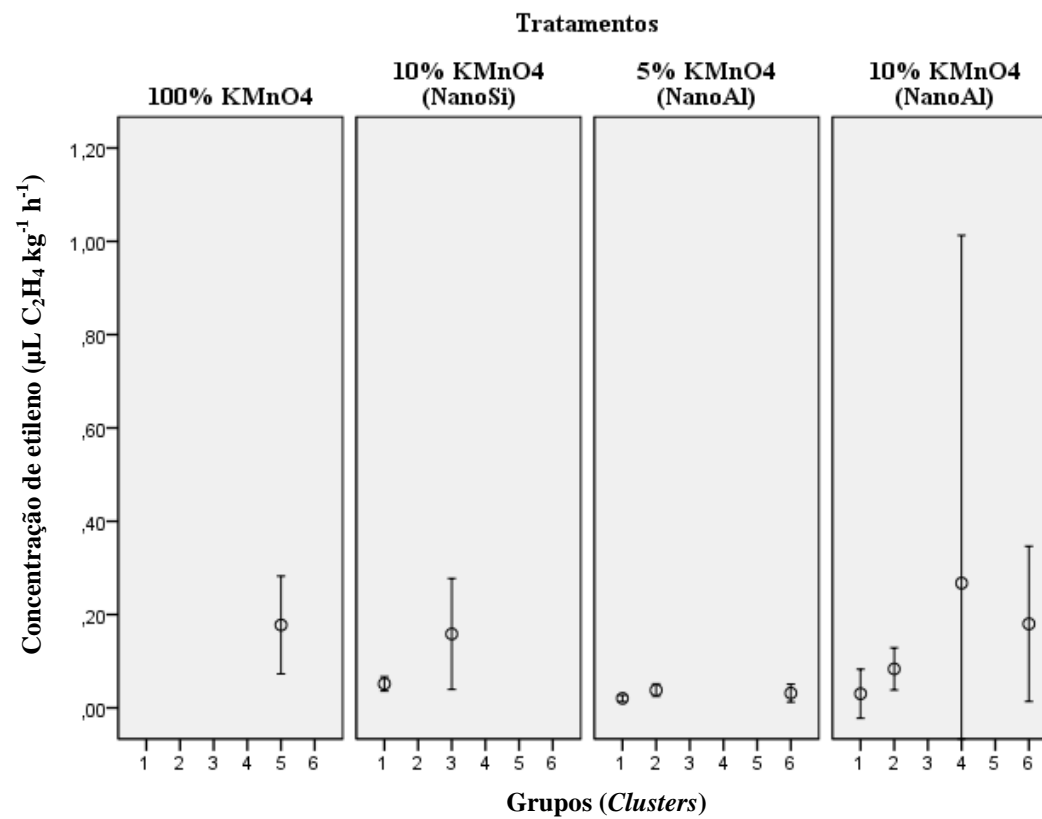


Figura 23A. Comparação dos grupos (*clusters*) por tratamento para as concentrações de etileno ($\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) em tomates cv. Pizzadoro do experimento 2. As barras representam o intervalo de confiança de 95% das médias ($p < 0,05$).

Questionário 1A. Ficha utilizada no teste afetivo e de intenção de compra de tomates cv. Pizzadoro do Experimento 1.

Nome: _____

Sexo: _____ Idade: _____

1) OBSERVE as amostras e indique, utilizando a escala abaixo, o quanto você gostou ou desgostou.

5. gostei muito

4. gostei moderadamente

3. nem gostei/nem desgostei

2. desgostei moderadamente

1. desgostei muito

Amostra 513: Cor () Textura () Aparência Geral ()

Amostra 724: Cor () Textura () Aparência Geral ()

Amostra 635: Cor () Textura () Aparência Geral ()

Amostra 846: Cor () Textura () Aparência Geral ()

Amostra 357: Cor () Textura () Aparência Geral ()

Amostra 968: Cor () Textura () Aparência Geral ()

Amostra 279: Cor () Textura () Aparência Geral ()

2) Indique, utilizando a escala abaixo, qual sua atitude se você encontrasse estas amostras à venda.

5. Decididamente eu compraria

4. Provavelmente eu compraria

3. Talvez sim/Talvez não

2. Provavelmente eu não compraria

1. Decididamente eu não compraria

Amostra 513 ()

Amostra 724 ()

Amostra 635 ()

Amostra 846 ()

Amostra 357 ()

Amostra 968 ()

Amostra 279 ()

Comentários: _____

Questionário 2A. Ficha utilizada no teste afetivo e de intenção de compra de tomates cv. Pizzadoro do Experimento 2.

Nome: _____

Sexo: _____ Idade: _____

1) OBSERVE as amostras e indique, utilizando a escala abaixo, o quanto você gostou ou desgostou.

5. gostei muito

4. gostei moderadamente

3. nem gostei/nem desgostei

2. desgostei moderadamente

1. desgostei muito

Amostra 513: Cor () Textura () Aparência Geral ()

Amostra 724: Cor () Textura () Aparência Geral ()

Amostra 635: Cor () Textura () Aparência Geral ()

Amostra 846: Cor () Textura () Aparência Geral ()

Amostra 357: Cor () Textura () Aparência Geral ()

2) Indique, utilizando a escala abaixo, qual sua atitude se você encontrasse estas amostras à venda.

Finalidade: *in natura*

Finalidade: processado

5. Decididamente eu compraria
4. Provavelmente eu compraria
3. Talvez sim/Talvez não
2. Provavelmente eu não compraria
1. Decididamente eu não compraria

5. Decididamente eu compraria
4. Provavelmente eu compraria
3. Talvez sim/Talvez não
2. Provavelmente eu não compraria
1. Decididamente eu não compraria

Amostra 513 ()

Amostra 513 ()

Amostra 724 ()

Amostra 724 ()

Amostra 635 ()

Amostra 635 ()

Amostra 846 ()

Amostra 846 ()

Amostra 357 ()

Amostra 357 ()

Comentários: _____

Tabela 1A. Coeficientes de correlação das variáveis físicas e químicas para tomates cv. Pizzadoro submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 22 ± 1 °C e 90% UR durante 10 dias.

Variáveis	CP1	CP2
Perda de massa fresca	0,718112	-0,214909
L*	-0,907922	0,174426
a*	0,900979	-0,032549
b*	-0,552244	0,372201
Firmeza	-0,902276	-0,064030
pH	0,718953	0,229511
Acidez titulável	-0,814160	-0,341396
Sólidos solúveis	-0,058632	-0,848517
<i>Ratio</i>	0,784677	0,056341
CO ₂	-0,830373	-0,005103
C ₂ H ₄	-0,874540	0,058732
Variância (%)	59,31%	10,15%

Tabela 2A. Preferência (%) dos tomates tratados, em ordem decrescente, de acordo com os atributos sensoriais de aparência e de intenção de compra.

Atributos	Tratamentos						
	2,5% KMnO ₄ (NanoAl)	5% KMnO ₄ (NanoSi)	5% KMnO ₄ (NanoAl)	100% KMnO ₄	2,5% KMnO ₄ (NanoSi)	10% KMnO ₄ (NanoSi)	10% KMnO ₄ (NanoAl)
Cor	91,8%	80,8%	72,6%	72,6%	56,2%	38,4%	27,4%
Textura	76,7%	80,8%	82,2%	72,6%	58,9%	61,6%	43,8%
Aparência Geral	72,6%	76,7%	76,4%	59,7%	41,1%	38,4%	16,4%
Compra	67,1%	82,2%	69,9%	50,7%	37,0%	32,9%	13,7%

Tabela 3A. Preferência (%) dos tratamentos entre as faixas etárias, em ordem decrescente, de acordo com os atributos sensoriais de aparência e de intenção de compra.

Faixa etária (até 26 anos)	Tratamentos						
	2,5% KMnO ₄ (NanoAl)	5% KMnO ₄ (NanoSi)	5% KMnO ₄ (NanoAl)	100% KMnO ₄	2,5% KMnO ₄ (NanoSi)	10% KMnO ₄ (NanoSi)	10% KMnO ₄ (NanoAl)
Cor	87,9%	87,9%	63,6%	78,8%	60,6%	30,3%	24,2%
Textura	75,8%	84,8%	84,8%	66,7%	66,7%	69,7%	36,4%
Aparência Geral	72,7%	78,8%	71,9%	60,6%	48,5%	33,3%	9,1%
Compra	60,6%	87,9%	63,6%	54,5%	39,4%	33,3%	9,1%

Faixa etária (acima de 26 anos)	Tratamentos						
	2,5% KMnO ₄ (NanoAl)	5% KMnO ₄ (NanoSi)	5% KMnO ₄ (NanoAl)	100% KMnO ₄	2,5% KMnO ₄ (NanoSi)	10% KMnO ₄ (NanoSi)	10% KMnO ₄ (NanoAl)
Cor	95,0%	75,0%	80,0%	67,5%	52,5%	45,0%	30,0%
Textura	77,5%	77,5%	80,0%	77,5%	52,5%	55,0%	50,0%
Aparência Geral	72,5%	75,0%	80,0%	59,0%	35,0%	42,5%	22,5%
Compra	72,5%	77,5%	75,0%	47,5%	35,0%	32,5%	17,5%

Tabela 4A. Preferência (%) dos tratamentos entre os gêneros, em ordem decrescente, de acordo com os atributos sensoriais de aparência e de intenção de compra.

Gênero (feminino)	Tratamentos						
	2,5% KMnO ₄ (NanoAl)	5% KMnO ₄ (NanoSi)	5% KMnO ₄ (NanoAl)	100% KMnO ₄	2,5% KMnO ₄ (NanoSi)	10% KMnO ₄ (NanoSi)	10% KMnO ₄ (NanoAl)
Cor	91,1%	77,8%	71,1%	62,2%	48,9%	37,8%	22,2%
Textura	84,4%	84,4%	84,4%	73,3%	66,7%	66,7%	42,2%
Aparência Geral	71,1%	73,3%	70,5%	50,0%	35,6%	42,2%	8,9%
Compra	62,2%	77,8%	60,0%	40,0%	33,3%	33,3%	8,9%

Gênero (masculino)	Tratamentos						
	2,5% KMnO ₄ (NanoAl)	5% KMnO ₄ (NanoSi)	5% KMnO ₄ (NanoAl)	100% KMnO ₄	2,5% KMnO ₄ (NanoSi)	10% KMnO ₄ (NanoSi)	10% KMnO ₄ (NanoAl)
Cor	92,9%	85,7%	75,0%	89,3%	67,9%	39,3%	35,7%
Textura	64,3%	75,0%	78,6%	71,4%	46,4%	53,6%	46,4%
Aparência Geral	75,0%	82,1%	85,7%	75,0%	50,0%	32,1%	28,6%
Compra	75,0%	89,3%	85,7%	67,9%	42,9%	32,1%	21,4%

Tabela 5A. Coeficientes de correlação das variáveis físicas e químicas para tomates cv. Pizzadoro submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 22 ± 1 °C e 90% UR durante 21 dias.

Variáveis	CP1	CP2	CP3
Perda de massa fresca	0,890397	0,037471	0,139735
L*	-0,718809	-0,635322	0,094731
a*	0,835684	0,302448	0,081997
b*	0,058661	-0,839781	0,394407
Firmeza	-0,891638	0,021774	-0,114656
pH	0,695452	0,181034	0,232615
Acidez titulável	-0,830371	0,315046	0,304237
Sólidos solúveis	-0,351539	0,317216	0,814429
Ratio	0,820333	-0,218584	-0,083667
CO ₂	-0,860360	0,155013	-0,112888
C ₂ H ₄	-0,581653	0,196363	-0,169266
Variância (%)	53,22%	14,05%	9,66%

Tabela 6A. Preferência (%) dos tomates tratados, em ordem decrescente, de acordo com os atributos sensoriais de aparência e de intenção de compra (*in natura* e processado).

Atributos	Tratamentos				
	100% KMnO ₄	10% KMnO ₄ (NanoAl)	Controle	10% KMnO ₄ (NanoSi)	5% KMnO ₄ (NanoAl)
Cor	96,2%	83,0%	75,5%	50,9%	45,3%
Textura	94,3%	81,1%	75,5%	69,8%	67,9%
Aparência Geral	84,9%	83,0%	71,7%	62,3%	52,8%
Compra (<i>in natura</i>)	81,1%	75,5%	71,7%	66,0%	47,2%
Compra (processado)	79,2%	66,0%	71,7%	58,5%	50,9%

Tabela 7A. Preferência (%) dos tratamentos entre as faixas etárias, em ordem decrescente, de acordo com os atributos sensoriais de aparência e de intenção de compra (*in natura* e processado).

Faixa etária (até 26 anos)	Tratamentos				
	100% KMnO ₄	10% KMnO ₄ (NanoAl)	Controle	10% KMnO ₄ (NanoSi)	5% KMnO ₄ (NanoAl)
Cor	92,6%	81,5%	74,1%	40,7%	37,0%
Textura	92,6%	81,5%	66,7%	66,7%	55,6%
Aparência Geral	85,2%	85,2%	70,4%	51,9%	44,4%
Compra (<i>in natura</i>)	77,8%	74,1%	70,4%	63,0%	40,7%
Compra (processado)	81,5%	70,4%	81,5%	59,3%	55,6%

Faixa etária (acima de 26 anos)	Tratamentos				
	100% KMnO ₄	10% KMnO ₄ (NanoAl)	Controle	10% KMnO ₄ (NanoSi)	5% KMnO ₄ (NanoAl)
Cor	100,0%	88,0%	76,0%	60,0%	52,0%
Textura	96,0%	84,0%	84,0%	72,0%	80,0%
Aparência Geral	84,0%	84,0%	72,0%	72,0%	60,0%
Compra (<i>in natura</i>)	84,0%	76,0%	72,0%	68,0%	52,0%
Compra (processado)	76,0%	60,0%	60,0%	56,0%	44,0%

Tabela 8A. Preferência (%) dos tratamentos entre os gêneros, em ordem decrescente, de acordo com os atributos sensoriais de aparência e de intenção de compra (*in natura* e processado).

Gênero (feminino)	Tratamentos				
	100% KMnO ₄	10% KMnO ₄ (NanoAl)	Controle	10% KMnO ₄ (NanoSi)	5% KMnO ₄ (NanoAl)
Cor	93,9%	78,8%	75,8%	42,4%	42,4%
Textura	90,9%	78,8%	81,8%	63,6%	69,7%
Aparência Geral	81,8%	78,8%	72,7%	57,6%	51,5%
Compra (<i>in natura</i>)	75,8%	75,8%	69,7%	57,6%	42,4%
Compra (processado)	75,8%	60,6%	69,7%	45,5%	42,4%

Gênero (masculino)	Tratamentos				
	100% KMnO ₄	10% KMnO ₄ (NanoAl)	Controle	10% KMnO ₄ (NanoSi)	5% KMnO ₄ (NanoAl)
Cor	100,0%	90,0%	75,0%	65,0%	50,0%
Textura	100,0%	85,0%	65,0%	80,0%	65,0%
Aparência Geral	90,0%	90,0%	70,0%	70,0%	55,0%
Compra (<i>in natura</i>)	90,0%	75,0%	75,0%	80,0%	55,0%
Compra (processado)	85,0%	75,0%	75,0%	80,0%	65,0%