



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

ROBERTO VERGUEIRO DA SILVA

**IDENTIFICAÇÃO DE DEFEITOS SUPERFICIAIS EM
TOMATES (*Solanum lycopersicum*) UTILIZANDO
TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS**

CAMPINAS
2015

ROBERTO VERGUEIRO DA SILVA

**IDENTIFICAÇÃO DE DEFEITOS SUPERFICIAIS EM
TOMATES (*Solanum lycopersicum*) UTILIZANDO
TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola na área de concentração de Máquinas Agrícolas.

Supervisor/Orientador: INÁCIO MARIA DAL FABBRO
Co-Supervisora/Coorientadora: JULIANA APARECIDA FRACAROLLI

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL
DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO ALUNO
ROBERTO VERGUEIRO DA SILVA E ORIENTADA
PELO PROF. DR. INÁCIO MARIA DAL FABBRO.

CAMPINAS
2015

Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s): Não se aplica.

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Elizangela Aparecida dos Santos Souza - CRB 8/8098

Si38i Silva, Roberto Vergueiro da, 1954-
Identificação de defeitos superficiais em tomates (*solanum lycopersicum*)
utilizando técnicas de processamento de imagens. / Roberto Vergueiro da
Silva. – Campinas, SP : [s.n.], 2015.

Orientador: Inácio Maria Dal Fabbro.
Coorientador: Juliana Aparecida Fracarolli.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade
de Engenharia Agrícola.

1. Processamento de imagens assistida por computador. 2. Tomates -
Conservação. 3. Produtos agrícolas. 4. Imagem. I. Dal Fabbro, Inácio
Maria, 1944-. II. Fracarolli, Juliana Aparecida, 1984-. III. Universidade Estadual
de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. IV. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Identification of surface defects in tomato (*solanum lycopersicum*)
using processing techniques images

Palavras-chave em inglês:

Assisted image processing computer

Tomatoes - Conservation

Agricultural products

Image

Área de concentração: Máquinas Agrícolas

Titulação: Mestre em Engenharia Agrícola

Banca examinadora:

Inácio Maria Dal Fabbro [Orientador]

Eduardo Guy Perpétuo Bock

Antônio Carlos Loureiro Lino

Data de defesa: 17-11-2015

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Agrícola

Este exemplar corresponde à redação final da **Dissertação de Mestrado** defendida por **Roberto Vergueiro da Silva**, aprovada pela Comissão Julgadora em 17 de novembro de 2015, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

FEAGRI

Prof. Dr. Inácio Maria Dal Fabbro – Presidente e Orientador
FEAGRI/UNICAMP

Prof. Dr. Eduardo Guy Perpétuo Bock – Membro Titular
IFSP/São Paulo

Dr. Antônio Carlos Loureiro Lino – Membro Titular
IAC/Jundiaí

Faculdade de
Engenharia Agrícola
Unicamp

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no processo de vida acadêmica do discente.

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado ao grande arquiteto do universo, por me permitir a conclusão de mais esta jornada.

À minha família, minha filha, Majoy, meu neto Ian e irmã Catarina. Aos meus pais Armando e Vanda e irmão Leonardo (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Inácio Maria Dal Fabbro, que concordou em me orientar durante este projeto e me apoiou com a sua paciência e sabedoria, sempre seguida de uma palavra motivadora. A minha Co-orientadora Professora Dra. Juliana Aparecida Fracarolli, que muito contribui para realização deste projeto. Aos Professores Edson d'Avila, e Marcos Valério Gebra pela paciência e sugestões sobre o trabalho.

A todos os professores da Feagri, em especial aos quais tive o privilégio de ter contato e como aluno adquirir novos conhecimentos acadêmicos. Entre eles os professores Mauro José Andrade Tereso, Roberto Funes Abraão, Sandra Gema, Jose Teixeira Filho, Rafael Augustus de Oliveira, Angel Pontin Garcia e Zigomar Menezes de Souza.

A todos os funcionários administrativos da Feagri, em especial os da secretaria de pós-graduação – SPG que sempre me trataram com carinho e paciência, em especial a Rita de Cassia Cuesta Ferreira, Fabio E. D. Augusto, Claudio R. Mariano. E aos colegas Gabriela Kurokawa e Silva e Jonathan Gazzola, pelo apoio.

A todos os colegas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – IFSP. Em especial a Ângela Martins Da Silva, Denílson Mauri, Eduardo Antônio Modena, Francisco Manoel Filho, Francisco Gayego Filho, Giuseppe D`Agostino, Isaac Fujita, José F. Ferreira de Oliveira, Leonardo Marques, Luciano Ribeiro Da Silva, Sergio Y. Araki e Victor Mathar.

Aos colegas de IFSP que não foram mencionados, mas que direta ou indiretamente, sempre com palavras de apoio, contribuíram para conclusão deste trabalho.

Ao Centro de Engenharia e Automação do Instituto Agrônomo de Campinas – CEA/IAC, Dra. Juliana Sanches, diretora do CEA, e seus pesquisadores (as).

**Pensamento: A semente é livre! Mas a colheita é obrigatória.
Autor desconhecido**

RESUMO

A seleção de frutas no Brasil, normalmente, é realizada com base no tamanho e cor e, na maioria das vezes, a avaliação de defeitos é feita de maneira visual. A classificação por tamanho pode ser feita por contato físico direto com a fruta e que pode ocasionar danos, diminuindo sua qualidade e, conseqüentemente, seu tempo de prateleira, para consumo *in-natura*. A seleção e classificação deve ser realizada com o mínimo de contato com a fruta e o processamento e análise de imagens digitais, nesta situação, são altamente recomendáveis. Outra vantagem dos métodos ópticos está associada à sua posterior aplicação, em processos automatizados de classificação e seleção de frutas. As pesquisas utilizando técnica de processamento e análise de imagens digitais, mostram-se adequadas, para se obter dados qualitativos e quantitativos, sem a necessidade de contato físico com a fruta, permitindo a padronização em velocidades muito superiores às obtidas por processos manuais ou mecânicos. O desenvolvimento constante de *software* e *hardware* potencializa a aplicação dessas novas técnicas de processamento digital de imagens na seleção e classificação de frutas em escala industrial. O presente trabalho de pesquisa inova nas aplicações das técnicas de processamento e análise de imagens digitais na seleção e classificação de frutas porque apresenta uma metodologia para identificar e diferenciar a região de inserção do pedúnculo e as regiões de defeitos em tomates. Os resultados obtidos apontam para a possível aplicação desta metodologia em sistemas automatizados de mesas classificadoras e selecionadoras de frutas.

Palavras-chave: Processamento de imagens assistida por computador; Tomates – conservação; Produtos agrícolas; Imagem.

ABSTRACT

In Brazil fruit selection is carried under the support of color and size characteristics meanwhile defects are visually evaluated. Size classification may be carried by direct instrument-fruit physical contact which could result in damage, generating decrement and hence shelf-life for in natura consumption. Selection and classification should involve minimal contact with the fruit, following by image processing and analysis which is highly recommended in this situation. Another advantage of optical methods is associated with its application in automated fruit classification and selection. Research topics considering digital image processing are adequate in generating qualitative as well as quantitative data, avoiding mechanical contact with the fruit and allowing the establishment of patterns at higher rates when compared to conventional process. Hardware and software development enhances the application of these new digital techniques enabling the classification and selection process design at industrial scale. This research work breaks new ground in the digital image processing techniques and analysis application of digital images in the selection and classification of fruit because it presents a methodology to identify and to differentiate the stalk insertion region and the defective regions in tomatoes. The results point to the possible application of this methodology in automated classification tables and pickers fruit systems.

Keywords: Assisted image processing computer; Tomatoes – conservation; Agricultural products; Image

LISTAS DE FIGURAS

Figura 01 - Principais consumidores de tomate do mundo em consumo per-capita.....	17
Figura 02 - Necrose tipo “olho-de-perdiz” - sintoma de cancro bacteriano.....	20
Figura 03 - Mancha-bacteriana- lesões grandes nos frutos e queima nas folhas.....	20
Figura 04 - Comparativo entre pinta-bacteriana (a esquerda); mancha-bacteriana (direita) na fruta.....	20
Figura 05 – Frutas apodrecidos	21
Figura 06 – Frutas apodrecidos na região de contato com o solo	22
Figura 07 – Frutas apodrecidos na região do pedúnculo	22
Figura 08 – Frutas com micélio branco e escleródios na superfície.....	23
Figura 09 – Frutas com doença podridão	23
Figura 10 – Classificação de Tomates – Defeitos Graves	27
Figura 11 – Defeitos Graves.....	27
Figura 12 – Classificação de Tomates – Defeitos Leves.....	28
Figura 13 - Classificação de Tomates	28
Figura 14 – Classificação de Tomates – Morfologia do tomate.....	28
Figura 15 - Elementos de um sistema de processamento de imagem	31
Figura 16 - Imagens em tons acinzentados do grão de soja	32
Figura 17 - Bordas detectadas pelo método de Prewitt	33
Figura 18 – Obtenção de imagem pela remoção de objetos menores	33
Figura 19 – Fases utilizadas no processamento de imagens.....	34
Figura 20 - Modelo Digital de Elevação - Scanner 3D	35
Figura 21 - Modelo Digital de Elevação por <i>moiré</i>	35
Figura 22- Imagens de tomates, suas respectivas silhuetas (D, E F) e os seus modelos 3D	36
Figura 23 - Esquema de captação de imagens para classificação de tomates	38
Figura 24 - Disposição dos elementos de captura de imagem.....	40
Figura 25 - Sequência de captura de imagens para cada face do tomate.....	41
Figura 26 – Escala 300 mm para calibração do programa	42
Figura 27 – Barra de Status do <i>ImageJ</i> : “ <i>length</i> ” 508.84 da escala milimetrada.....	42
Figura 28 - Tela Principal do <i>ImageJ</i>	42
Figura 29 – Imagem do tomate a ser tratada	43
Figura 30 – Decomposição no Modelo de Cores RGB. (a) <i>Red</i> ; (b) <i>Green</i> ; (c) <i>Blue</i>	43
Figura 31 – (a) Resultado da operação matemática “ <i>Difference</i> ” e (b) <i>Threshold</i>	44
Figura 32 – Caixa de diálogo do <i>ImageJ</i> para análise de partículas.....	45
Figura 33 - Apresentação da mancha distorcida em função da posição geométrica no objeto.....	46
Figura 34 – Mancha graduada na superfície de um corpo esférico modelo	46
Figura 35 – Área das manchas em função da sua posição na superfície da esfera.....	47
Figura 36 – Ferramentas do <i>ImageJ</i> : Diâmetro de Feret, Mínimo Feret e ângulos Feret.....	47
Figura 37 - Região de inserção do pedúnculo em duas faces.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Área colhida em hectares de tomate nos anos de 2011, 2012 e 2013 no Brasil....	16
Tabela 02 - Produção de tomate, em toneladas, nos principais estados brasileiros: 2011, 2012 e 2013	16
Tabela 03 - Produção Mundial de Tomate para Processamento em toneladas*	17
Tabela 04 - Classificação de Tomates – Classe.....	26
Tabela 05 - Limites de defeitos leves e graves por categoria em porcentagem (%)	27
Tabela 06 – Dados das manchas obtidas a partir da análise de partículas.....	48
Tabela 07 - Tabela comparativa entre os resultados obtidos na análise computacional e a análise visual inicial onde o “Termo Empregado de Aceita é para tomate sem defeito e o Termo Rejeita para tomate com defeito”	49

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 Justificativa	13
1.2 Objetivos	13
1.2.1 Geral.....	13
1.2.2 Específico.....	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 A origem do Tomate	14
2.2 Tipos de tomate.....	15
2.3 A Produção de Tomates no Brasil	15
2.4 A Produção de Tomates no Mundo	17
2.5 Danos Superficiais em Frutas	18
2.6 Causadores de danos superficiais no tomate.....	18
2.7 Doenças em tomates	19
2.7.1 Doenças causadas por bactérias	19
2.7.1.1 Cancro-bacteriano (<i>Clavibacter michiganensis subsp. michiganensis</i>)	19
2.7.1.2 Mancha-bacteriana (<i>Xanthomonas campestris pv. vesicatoria</i>).....	20
2.7.1.3 Pinta- bacteriana (<i>Pseudomonas syringae pv. tomato</i>).....	20
2.7.1.4 Murcha-bacteriana (<i>Ralstonia solanacearum</i>).....	21
2.7.1.5 Talo-oco e podridão mole das frutas (<i>Erwinia spp.</i>).....	21
2.7.2 Doenças causadas por fungos e oomicetos	21
2.7.2.1 Mela-de-rizoctonia (<i>Rhizoctonia solani</i>)	22
2.7.2.2 Pinta-preta (<i>Alternaria solani</i>).....	22
2.7.2.3 Podridão-de-esclerócio (<i>Sclerotium rolfsii</i>).....	23
2.7.2.4 Requeima (<i>Phytophthora infestans</i>)	23
2.8 Classificação de Tomates.....	24
2.8.1 Norma de Classificação do Tomate	25
2.9 A seleção e classificação mecanizada de tomates.....	29
2.10 O processamento digital de imagem	30
2.11 Composição de um sistema de processamento de imagem	31
2.11.1 Exemplos do uso de processamento digital de imagens	32
2.12 Processamento de imagens com ImageJ	37
2.12.1 Recursos do ImageJ para processamento de imagens	37
2.12.2 Exemplos do uso do ImageJ para classificação de frutas	37
2.13 <i>Biospeckle</i> e a Perfilometria Laser.....	39
3. MATERIAL E MÉTODOS	40
3.1 Análise Experimental.....	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
5. CONCLUSÕES	51
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores de frutas e responde por cerca de 5% da produção mundial. Apresenta-se, também, entre os países com maior participação na produção mundial de tomate, classificando-se em oitavo lugar com uma participação expressiva na produção mundial, cerca de 3,1%. Lamentavelmente o país também se destaca no desperdício dos produtos agrícolas. Ao longo da cadeia produtiva, estima-se que estas perdas possam chegar a cerca de 40% da produção. Muitos são os fatores que contribuem para esta expressiva percentagem de frutas desperdiçadas. A maioria destas perdas estão relacionadas à danos mecânicos, ocorridos durante as etapas de colheita, transporte, classificação e seleção.

O dilema que se coloca é: será possível garantir a produção de bens de consumo sem ultrapassar a capacidade de sustentação estimada da Terra? Diante do quadro em tela, todos os esforços devem ser direcionados para melhoria dos processos de cultivo das frutas e diminuição do desperdício.

A seleção e classificação de frutas no Brasil é uma necessidade legal, regida por legislação federal, mas para além da questão legal é também uma questão ética e moral, intrínseca das relações que se estabelecem na produção agrícola do país. Qualidade e redução de perdas podem ser alcançadas mediante tecnologias aplicadas à seleção e classificação.

A seleção e classificação é um processo que separa as frutas em lotes homogêneos, segundo o tamanho, cor, forma, ponto de maturação e defeitos. Este processo encontra-se em evolução, deixando de ser visual e por contato físico direto para se tornar automático por visão de máquina com posterior processamento e análise de imagens digitais.

As pesquisas utilizando técnica de processamento e análise de imagens digitais, mostram-se adequadas, para se obter dados qualitativos e quantitativos, sem a necessidade de contato físico com a fruta, permitindo a padronização em velocidades superiores às obtidas por processos manuais ou mecânicos. Neste sentido a presente pesquisa buscou uma metodologia para identificar e diferenciar a região de inserção do pedúnculo e as regiões de defeitos (manchas) em tomates. Os resultados obtidos apontam para a possível aplicação desta metodologia em sistemas automatizados de mesas classificadoras e selecionadoras de frutas.

1.1 Justificativa

Este trabalho se justifica pelo fato de que a região de inserção do pedúnculo pode ser confundida com a região de defeitos em tomates nos sistemas automáticos de classificação e seleção de frutas, nas unidades de beneficiamento, que na maioria das vezes, não possuem metodologias próprias de classificação por defeito superficial de produtos agrícolas. Metodologia esta que possa permitir identificar e selecionar frutas, por defeitos (manchas) na sua superfície e que seja capaz de solucionar a dificuldade na identificação e análise da mancha que correspondente a região de inserção do pedúnculo.

1.2 Objetivos

1.2.1 Geral

Desenvolver uma metodologia de identificação de defeitos superficiais (manchas) em tomates, utilizando técnicas de processamento de imagens, que possa ser aplicada na automatização de mesas para classificação e seleção de frutas.

1.2.2 Específico

Realizar o levantamento fotográfico das superfícies dos tomates, para identificação de defeitos (manchas) quantitativas para classificação por defeitos visíveis na sua superfície.

Identificar e diferenciar, por técnica de processamento e análise de imagens, regiões com defeitos superficiais em tomates bem como a mancha que representa a região de inserção do pedúnculo, de forma que os sistemas ópticos automatizados, não confundam a mancha da região de inserção do pedúnculo com um defeito.

Realizar uma rotina computacional, utilizando as ferramentas do *software ImageJ*, juntamente com operações lógicas e matemáticas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A origem do Tomate

O tomate, para a maioria dos botânicos, tem a sua origem, o seu cultivo e o seu consumo na civilização Inca, do antigo Peru. Pelo fato de ainda persistir naquela região uma grande variedade de tomates selvagens e algumas espécies domesticas conhecidas apenas nesse local. Os tomates encontrados nessa localidade possuem fortes indicadores de ser o ancestral da maioria das espécies comercializadas atualmente. Posteriormente a fruta começou a ser cultivada no México, onde era considerada uma fruta originária dos países andinos, desde o norte do Chile até a Colômbia (EMBRAPA, 1993).

Apesar de constantemente associado a culinária Europeia, em especial na culinária italiana, o tomate já era primordialmente consumido nas civilizações da América Central antes de ser levado para o continente Europeu. Os primeiros registros apontam para a sua chegada em Sevilha, na Espanha, no século XVI, que era um dos principais centros comerciais de abastecimento para toda a Europa, principalmente Itália e Países Baixos. Os italianos chamaram as primeiras frutas de pomo d'oro (pomo de ouro) (FILGUEIRA, 2000).

Somente no século XIX, é que o tomate passou a ser consumido e cultivado em grande escala, inicialmente na Itália, depois na França e Espanha, ganhando popularidade depois que os povos do sul da Europa declinaram sobre aquela suspeita de venenoso, tornando-se um dos principais ingredientes da culinária daquela região (FILGUEIRA 2000). Pertencente à família das Solanáceas, o tomateiro é uma planta fanerógama angiosperma e dicotiledônea, por tratar-se de uma fruta, uma vez que é o produto do desenvolvimento do ovário e do óvulo da flor, formando o pericarpo e as sementes, respectivamente, após a fecundação. No entanto, não há consenso na classificação como fruta ou legume (PERALTA; KNAPP; SPOONER, 2005).

Os frutos do tomateiro são organismos vivos e, portanto, sofrem a ação de agentes da natureza fisiológica ou endógenos e do ambiente (abióticos e/ou bióticos) durante o transporte e armazenamento. Separados da planta-mãe, eles são forçados a utilizar suas reservas de substrato ou de compostos orgânicos ricos em energia, como açúcares e amido, a fim de respirar e assim produzir a energia necessária para se manterem vivos. Devido a isso e por causa do alto teor de água em sua composição química, são altamente perecíveis (ALVARENGA; COELHO; SOUZA, 2013).

2.2 Tipos de tomate

Os tomates podem ser classificados em diversos grupos, de acordo com seu formato e sua finalidade de uso, sendo considerados os principais produzidos no Brasil os seguintes tipos:

- Tomate Santa Cruz
- Tomate Caqui
- Tomate Saladete
- Tomate Italiano
- Tomate Cereja
- Tomate Carmem
- Tomate Débora
- Tomate Holandês
- Tomate Ligúria

Os diferentes tipos de tomates podem apresentar diferentes formatos, podendo também podem ter variações em sua coloração que variam entre amarelo, laranja, rosado e vermelho, sendo mais comum encontrá-lo na coloração vermelha (CEAGESP, 2003).

2.3 A Produção de Tomates no Brasil

O tomate é uma das mais importantes hortaliças no mundo, tanto na área cultivada como no seu valor comercial. O Brasil está entre os principais países produtores, sendo essa hortaliça a segunda em importância econômica no país. As frutas destinam-se ao processamento industrial e ao consumo *in-natura* (FILGUEIRA, 2000).

Segundo dados da FAO 2013, o Brasil ocupa a oitava posição na produção de tomates. De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, a produção total de tomates no Brasil foi de quatro milhões de toneladas em 2013 (DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL, 2013).

A produção de tomates destinados ao processamento industrial no Brasil foi em 2013 de, aproximadamente, um e meio milhões de toneladas de acordo com o IBGE. A cultura do tomate é observada em vários estados do país, entre os principais estados brasileiros responsáveis pela produção da fruta estão Goiás, São Paulo e Minas Gerais.

Os principais estados que se destacam como produtores de tomate no Brasil, referentes às áreas colhidas, em hectares para safras referentes aos anos 2011, 2012 e 2013.

Tabela 01 - Área colhida em hectares de tomate nos anos de 2011, 2012 e 2013 no Brasil

Estados Brasileiros	2011	2012	2013
Goiás	18.679	11.830	15.757
São Paulo	12.057	10.160	10.160
Minas Gerais	7.362	6.878	7.971
Paraná	5.715	5.584	5.024
Bahia	7.964	4.405	4.030
Pernambuco	2.637	2.844	2.454
Rio de Janeiro	2.580	2.617	2.384
Santa Catarina	2.863	2.305	2.439
Ceará	2.239	2.309	2.943
Rio Grande do Sul	2.353	2.311	2.304
Espírito Santo	1.908	1.983	2.023
Distrito Federal	593	412	680
Paraíba	685	460	383
Roraima	439	449	449
Sergipe	273	264	155
Mato Grosso	197	207	202
Maranhão	228	197	208
Piauí	165	167	166
Rio Grande do Norte	356	153	139
Mato Grosso do Sul	73	57	48
Total	69.201	55.592	59.919

Fonte: IBGE, 2011, 2012 e 2013

O volume de produção em toneladas de tomates dos principais estados brasileiros conforme a tabela 2 para os anos de 2011, 2012 e 2013.

Tabela 02 - Produção de tomate, em toneladas, nos principais estados brasileiros: 2011, 2012 e 2013

Estados	2011	2012	2013
Goiás	1.440.961	1.157.076	1.332.578
São Paulo	864.528	656.055	675.196
Minas Gerais	476.113	444.615	538.439
Paraná	347.528	338.448	281.818
Bahia	339.532	179.707	196.360
Rio de Janeiro	195.535	195.665	181.923
Santa Catarina	187.900	153.006	165.266
Espírito Santo	133.987	136.435	147.040
Pernambuco	115.123	100.441	93.938
Ceará	114.583	106.489	131.951
Rio Grande do Sul	105.181	107.585	112.197
Distrito Federal	47.907	29.864	43.311
Paraíba	22.302	12.771	11.143
Rio Grande do Norte	11.172	4.535	4.316
Roraima	5.268	5.388	5.388
Piauí	4.442	4.478	4.448
Maranhão	4.739	3.961	4.110
Sergipe	4.313	4.306	2.596
Mato Grosso	3.655	4.397	4.597
Mato Grosso do Sul	3.307	2.755	1.996
Total	4.423.634	3.647.977	3.938.620

Fonte: IBGE, 2011, 2012 e 2013

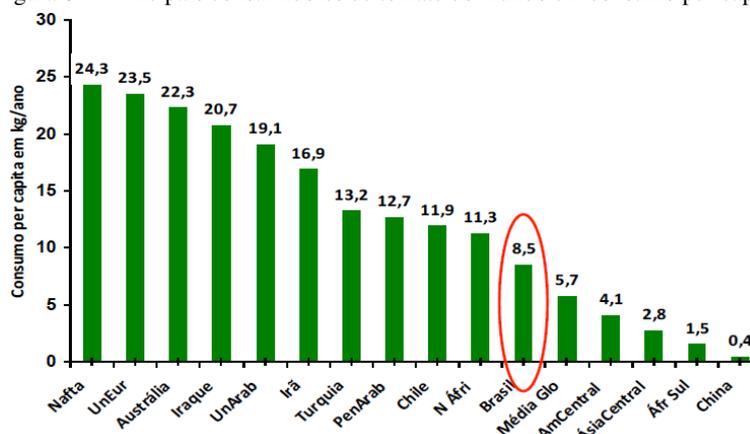
De acordo com dados e projeções do IBGE 2015, a produção de tomates no Brasil passa por momentos de instabilidade, sendo observadas variações negativas nos últimos 5 anos. As projeções são de queda de produção e apresentam como principal causa a diminuição dos índices de chuvas e a área dedicada à cultura tomateira. Segundo pesquisa anual o

Levantamento Sistemático da Produção Agrícola - LSPA, a safra de 2015 apresenta quedas no volume de produção de, aproximadamente 19%, ocasionados por queda de produtividade, em torno de 5%, e redução de áreas plantada, em torno de 15%.

O Brasil, além de grande produtor de tomates é também um grande consumidor da hortaliça. A média de consumo per capita registrada entre os anos de 2010 e 2011 foi de aproximadamente 8,5 kg por ano (MELO, 2012).

A Figura 01 apresenta graficamente os principais consumidores de tomate do mundo divididos por bloco econômico ou por país.

Figura 01 - Principais consumidores de tomate do mundo em consumo per-capita



Fonte: Melo, 2012

2.4 A Produção de Tomates no Mundo

A *World Processing Tomato Council* - WPTC é uma instituição sem fins lucrativos que representa mundialmente os produtores de tomate para utilização em processamento industrial. Essa instituição realiza pesquisas mensais para levantamento da produção mundial de tomates destinados ao processamento industrial e os principais produtores de tomate para processamento ao redor do mundo. Conforme observa-se na tabela 03, o total da produção mundial de tomate para processamento na unidade de mil toneladas referente aos anos de 2012, 2013 e 2014, os dados do ano de 2015 são calculados com base em previsões (WORLD PROCESSING TOMATO COUNCIL, 2015).

Tabela 03 - Produção Mundial de Tomate para Processamento em toneladas*

Ano	2012	2013	2014	Previsão 2015
Total Geral Produzido	33.442.000*	33.003.000*	39.896.000*	42.240.000*

Fonte: WPTC, 2015

2.5 Danos Superficiais em Frutas

Os danos mecânicos são definidos como deformações plásticas, rupturas superficiais e destruição dos tecidos vegetais das frutas provocadas por forças externas. Adicionalmente, levam a modificações físicas (danos físicos) ou alterações fisiológicas, químicas e bioquímicas que modificam a cor, o aroma, o sabor e a textura dos vegetais (Mohsenin, 1986). Dentre os danos mais comuns, destacam-se os causados por impacto, por força externas de compressão ou corte agindo diretamente sobre a fruta.

O dano mecânico por compressão pode ser causado pela aplicação de pressão variável contra a superfície externa da fruta. O dano por impacto é geralmente causado pela colisão da fruta contra superfícies sólidas durante as etapas de colheita, de manuseio e de transporte, podendo causar danos externos que são facilmente visualizados na superfície, com a ruptura ou não da epiderme, ocasionando a formação de lesões aquosas translúcidas e amolecimento. Além disso, esses danos podem provocar a retirada da primeira linha de defesa da fruta colhida, permitindo a entrada de patógenos. A ocorrência de impactos pode não causar sintomatologia externa prontamente observável, mas seu efeito acaba repercutindo mais tarde, dada a geração de danos internos (MORETTI, 1998).

O dano por corte é geralmente atribuído a uma forte colisão da fruta contra uma superfície irregular, ou pela imposição de uma superfície cortante e com pressão sobre a fruta, como as arestas de embalagem de colheita ou objetos cortantes utilizados no processamento dos mesmos. Independentemente do caso, o resultado será o rompimento e a perda da integridade celular na região do corte e em algumas frutas, não ocorre o efeito imediato de danos externos, mas somente quando a fruta está madura, a polpa se apresentará, parcial ou totalmente, escura (MOHSEININ, 1986).

2.6 Causadores de danos superficiais no tomate

A embalagem de transporte e armazenagem dos tomates é um importante fator causador de injúrias mecânicas. As caixas de madeira tipo K, por exemplo, ainda são utilizadas, mas apresentam alguns inconvenientes como a baixa qualidade da madeira, causando quebra das embalagens e perdas dos produtos, a superfícies ásperas que podem causar injúrias por atrito – e conseqüentemente a perda de umidade e sabor do fruta sua altura disponível para

armazenagem faz com que as camadas mais baixas sofram um aumento de pressão das camadas mais altas, gerando danos e proporcionando a proliferação de patógenos (BALBINO, 2010).

Castro, Cortez e Jorge (2001) realizaram um experimento sobre a influência da embalagem no desenvolvimento de injúrias mecânica em tomates comparando quatro tipos onde se observou que a caixa de papelão menor é a melhor opção por sua capacidade de carga inferior diminuindo o atrito e a pressão entre frutas. Não foram verificadas grandes diferenças nos danos causados pelas embalagens plásticas, maior e menor, e a caixa de papelão maior. As plásticas causaram principalmente abrasões e cortes, enquanto as de papelão causaram amassados nos frutos inferiores e laterais em maior quantidade.

2.7 Doenças em tomates

Os danos superficiais podem ser confundidos com doenças do tomate pela possibilidade dessas patologias também apresentarem indícios físicos na fruta. Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa (2006) muitas doenças atacam o tomateiro – planta cujo fruto é o tomate – que causam queda na produtividade e qualidade da sua fruta. A seguir são apresentadas as principais doenças que provocam algum tipo de alteração na superfície do tomateiro, podendo desta forma ser identificadas por análise de imagem.

2.7.1 Doenças causadas por bactérias

As bactérias são micro-organismos unicelulares abundantes na natureza e que somente causam doenças quando agem como patógenos, colonizando os tecidos do tomate. Os principais sintomas apresentados são manchas, mancha de folha e de fruto, podridão mole, clorose, cancro e necrose vascular e de medula (EMBRAPA, 2006).

As principais doenças causadas nos tomateiros são definidas como sendo:

2.7.1.1 Cancro-bacteriano (*Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*)

Ocorre mais em tomateiros envarados que em tomateiros rasteiros devido ao menor manuseio.

A infecção localizada por pequenos cancros cor de palha, podem ser facilmente observáveis nos pedúnculos e manchas do tipo “olho-de-perdiz” nas frutas, conforme pode ser observado na ilustração da figura 02.

Figura 02 - Necrose tipo “olho-de-perdiz” - sintoma de cancro bacteriano

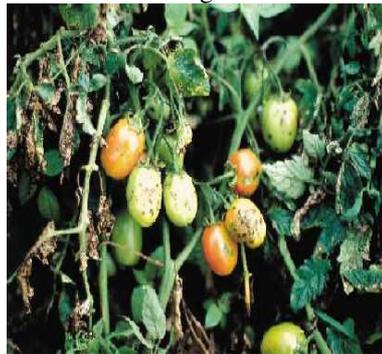


Fonte: Embrapa, 2006

2.7.1.2 Mancha-bacteriana (*Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*)

Esse tipo de doença evolui mais rapidamente em temperaturas mais altas (20 a 30°C). Nas frutas, as lesões são maiores, mais claras e mais profundas que as da pinta-bacteriana, apesar de sua similaridade (EMBRAPA, 2006). A figura 03 mostra essa patologia.

Figura 03 - Mancha-bacteriana- lesões grandes nos frutos e queima nas folhas



Fonte: Embrapa, 2006

2.7.1.3 Pinta- bacteriana (*Pseudomonas syringae* pv. *tomato*)

É muito similar a mancha-bacteriana sendo diferenciada pelo tamanho menor das pontuações negras superficiais nas frutas. Ocorre com maior frequência em temperaturas de 18 a 24°C (EMBRAPA, 2006). A figura 04 o comparativo entre pinta e mancha-bacteriana.

Figura 04 - Comparativo entre pinta-bacteriana (a esquerda); mancha-bacteriana (direita) na fruta



Fonte: Embrapa, 2006

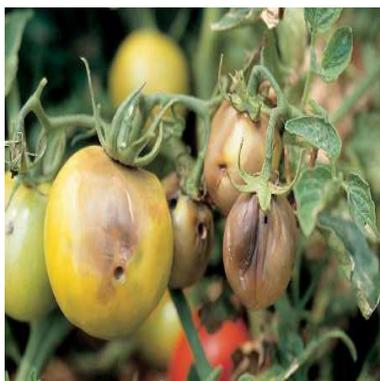
2.7.1.4 Murcha-bacteriana (*Ralstoniasolanacearum*)

Esse tipo de doença está associado a regiões de clima mais quente ou ao verão pois ocorre em solos muito encharcados e em altas temperaturas. Seus sintomas são a murcha da planta e a exsudação - migração do pus bacteriano - quando se coloca um pedaço do caule na água (EMBRAPA, 2006).

2.7.1.5 Talo-oco e podridão mole das frutas (*Erwinia spp.*)

As bactérias causadoras desta doença (*Erwinia carotovora subsp. Ecarotovorae chrysanthemi*) são responsáveis pelas podridões em tomates e penetram por ferimentos. Elas ocorrem com maior incidência em períodos em que a umidade e temperatura são mais elevadas (EMBRAPA, 2006). A figura 05 mostra as frutas em fase de apodrecimento em razão de sofrerem ataques da bactéria, *Erwinia carotovora subsp.*

Figura 05 – Frutas apodrecidos



Fonte: Embrapa, 2006

2.7.2 Doenças causadas por fungos e oomicetos

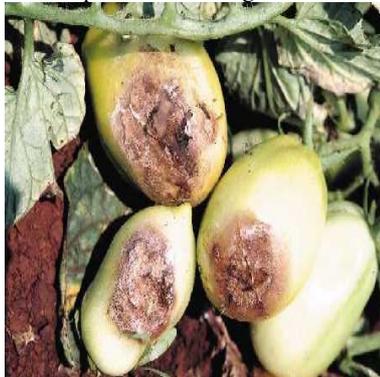
Os fungos são organismos geralmente microscópicos, eucarióticos e heterotróficos e formam o principal grupo de causadores de doenças em plantas. As hortaliças, como o tomateiro, sofrem ataques de fungos fito patogênicos causadores de doenças que acarretam em queda de produtividade e lucratividade. Eles atacam qualquer órgão da planta e podem causar, entre outros problemas, a podridão das frutas (EMBRAPA, 2006).

Segundo a Embrapa (2006) os oomicetos se diferem dos fungos principalmente por apresentarem micélio cenocítico (sem septos). Eles podem atacar todos os órgãos da planta hospedeira e causar grandes prejuízos. No tomateiro podem causar tombamento de mudas em sementeiras ou no campo, requeima e podridão de raiz, muda e frutas. As principais doenças causadas pelos fungos e oomicetos que podem prejudicar as frutas são:

2.7.2.1 Mela-de-rizoctonia (*Rhizoctoniasolani*)

De acordo com a Embrapa (2006) a doença manifesta-se durante a floração, formação e maturação das frutas, quando é maior a cobertura foliar. As folhas e hastes infectadas apresentam podridão mole e aquosa (mela), principalmente nas partes que ficam em contato com o solo. As frutas doentes apresentam podridão marrom, mole e aquosa, coberta por um mofo marrom-claro, conforme pode ser observado na figura 06 onde é mostrado exemplo do que ocorre quando o tomate é acometido pela podridão marrom.

Figura 06 – Frutas apodrecidos na região de contato com o solo



Fonte: Embrapa, 2006

2.7.2.2 Pinta-preta (*Alternaria solani*)

Segundo a Embrapa (2006) esta doença é comum o aparecimento de cancro no colo, nas hastes e nas frutas. Ela ocorre geralmente em locais de temperatura elevada e umidade alta. A figura 07 mostra os efeitos da Pinta-preta na fruta.

Figura 07 – Frutas apodrecidos na região do pedúnculo



Fonte: Embrapa, 2006

2.7.2.3 Podridão-de-esclerócio (*Sclerotiumrolfsii*)

Ocorre também principalmente nas partes que ficam em contato com o solo, assim como a Mela-de-rizoctonia (*Rhizoctoniasolani*). Apresentam uma podridão mole e aquosa, além de um crescimento micelial muito vigoroso de cor branca, semelhante a fios de algodão, como na figura 08. Ocorre também a formação de pequenos grânulos de cor marrom clara (*escleródios*) na superfície do tomate, que é a forma do fungo sobreviver no solo por vários anos (EMBRAPA, 2006).

Figura 08 – Frutas com micélio branco e escleródios na superfície



Fonte: Embrapa, 2006

2.7.2.4 Requeima (*Phytophthora infestans*)

Essa doença é caracterizada nas frutas pela podridão dura e com cor marrom-escura, como na figura 09. Dependendo do nível de ataque pode causar desfolha e podridão das frutas. O clima ameno e úmido favorece o seu desenvolvimento.

Figura 09 – Frutas com doença podridão



Fonte: Embrapa, 2006

2.8 Classificação de Tomates

A classificação de frutas leva em conta atributos como cor e forma, sendo que a classificação por tipo de atributo é padronizada por instituições especializadas (SIMÕES e COSTA, 2003).

A classificação por tamanho é feita, segundo a CEAGESP (2003), considerando-se o tamanho da fruta, medido pelo seu diâmetro equatorial, que é aquele medido transversalmente ao eixo que vai do pedúnculo ao ápice. As máquinas utilizadas para classificação por tamanho são baseadas em uma mesa com rolos cilíndricos, cujos eixos longitudinais distanciam-se entre si, até que o fruta em rolamento consiga passar entre eles. Este tipo de classificação por forma, feita por contato, pode acabar gerando sequelas na fruta, diminuindo a vida de prateleira. Ferreira *et al.* (2006) afirmam que o impacto mecânico pode provocar ferimentos na casca, tornando a fruta suscetível ao ataque de insetos e doenças. Schwarz *et al.* (2008) completam dizendo que compressões sofridas podem aumentar o índice de podridões. Portanto é necessário fomentar a aplicação das novas tecnologias para classificação mecanizada de frutas por forma, de maneira que haja o menor contato, entre a máquina, produto e operário.

Simões e Costa (2003) relatam que a automação do processo de classificação de frutas baseada em imagens digitais apresenta como uma das dificuldades a serem enfrentadas a inexistência de ferramentas computacionais e modelos consolidados para a classificação de frutas.

O tomate destinado ao consumo *in-natura* era tradicionalmente classificado manualmente em campo. Atualmente, esta situação sofre uma transformação passando-se a investir na construção de galpões de beneficiamento e classificação, para tomate de mesa em todo país, alguns destes galpões utilizam-se de mesas selecionadoras mecanizadas para classificação e seleção da fruta.

Uma das etapas mais importantes para ajudar a manter a conservação das frutas é a da colheita onde a maior parte dos danos físicos pode ocorrer e são variáveis de acordo com o colhedor, estágio de maturidade do fruta, variedade e período de colheita. A colheita é em geral realizada em cestas de bambu, sendo as frutas posteriormente transferidos para uma caixa plástica, e então levados para ser beneficiados e classificados. Em campo, alguns problemas já podem ser evitados, tais como a exposição ao sol e as altas temperaturas, e um maior cuidado

durante o manuseio, sendo esta etapa determinante na manutenção e conservação da qualidade do produto durante a cadeia de comercialização.

O recebimento da fruta é uma das etapas com maior risco de danos físicos ao tomate, principalmente quando realizada diretamente em uma esteira de recebimento. Em alguns casos pode ocorrer em tanques com água. Nesta situação, deve-se atentar para a qualidade da água. A entrada de água no interior da fruta, levando juntamente patógenos, pode ocorrer quando este é colocado em temperaturas inferiores à temperatura da polpa. Como essa é realizada manualmente, a variação da força de prensão colocada naquele momento depende do operador.

Os pontos de transferência ou etapas de transferência são em geral pontos críticos, onde pode ocorrer maior incidência de impactos, e conseqüentemente danos físicos ao produto. Recomenda-se a utilização de protetores de impacto, tais como superfícies emborrachadas, e também como roletes de espumas e “pequenas cortinas” as quais possam diminuir a ocorrência de danos físicos na transferência. A velocidade de funcionamento desse equipamento também é um importante fator a ser considerado, pois maiores velocidades podem ocasionar maior incidência de danos físicos na fruta.

A seleção antes da classificação se caracteriza pela retirada e eliminação das frutas danificados, deformados e com presença de doenças antes da classificação em tamanho, forma e cor. A retirada de frutas com doenças se faz importante, pois limita a disseminação e contaminação de frutas que estão sadios, permitindo assim, um maior tempo de exposição nas prateleiras a disposição do consumidor, que está se tornando cada vez mais atento às condições e a aparência da fruta.

2.8.1 Norma de Classificação do Tomate

A Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo – CEAGESP (2003) mantém no estado de São Paulo a maior rede pública de silos e armazenagem do Brasil, contribuindo também para elevar o valor de mercadorias, agregando a esses produtos maiores condições de comercialização, através de seleção de produtos como, o tomate.

A classificação do tomate de acordo com a Ceagesp, através do programa brasileiro para a modernização da Horticultura, é a separação do produto em lotes homogêneos e sua

classificação com limites mensuráveis, estabelecendo-se um padrão de qualidade. A classificação adotada pelo órgão em questão foi definida e aprovada em âmbito nacional em 2001 e desde então está em vigor.

A classificação do tomate de acordo com norma estabelecida pela Ceagesp, possui detalhes de critério de seleção de tomates como:

Rótulo - Com o intuito de se identificar o responsável e a origem do produto, além de descrever as características estabelecidas pela norma de classificação em questão. A rotulagem é obrigatória e o Governo Federal a regulamenta.

Grupo - Com finalidade de estabelecer a organização das características dos cultivares, a categoria dos tomates é definida de acordo com formato da fruta, coloração da fruta maduro e como opcional a sua durabilidade. A coloração da fruta madura determina o grupo de coloração podendo ser vermelho, rosado, laranja ou amarelo.

Subgrupo - Com o intuito de garantir a manutenção homogênea da fruta, a classificação por subgrupo analisa amadurecimento do tomate e determina a mudança de coloração de sua casca, possuindo três subgrupos.

Apresentação - Esta classificação define a forma de apresentação da fruta, podendo ser em penca ou em frutas isolados. O trabalho em questão tem como objetivo a seleção apenas dos tomates com frutas isolados.

Classe - Com o intuito de garantir a homogeneidade do tamanho das frutas, a separação por classes utiliza como critério o diâmetro equatorial do tomate, medido pelo seu diâmetro equatorial, conforme se pode observar, sendo estabelecidas oito classes diferentes, sendo aceito uma tolerância de 10% de mistura com as classes imediatamente acima ou abaixo, conforme pode ser verificado na tabela 04.

Tabela 04 - Classificação de Tomates – Classe

Classe	Diâmetro Equatorial (mm)
0	Menor que 40
40	Maior ou igual a 40 até 50
50	Maior ou igual a 50 até 60
60	Maior ou igual a 60 até 70
70	Maior ou igual a 70 até 80
80	Maior ou igual a 80 até 90
90	Maior ou igual a 90 até 100
100	Maior que 100

Fonte: CEAGESP, 2003

Categoria - Com o intuito de garantir padrões de qualidade a separações de tomates baseiam-se nos padrões e parâmetros de exigências adotados pelos consumidores no momento da escolha da fruta para o consumo sendo esta separação do tomate por categoria utilizando como critério o número e o tipo de defeitos os quais comprometem a aparência, conservação e qualidade do produto.

Podendo em alguns casos inviabilizar o uso do produto para comercialização ou consumo, devendo ainda estar devidamente adaptadas para as diferentes características do próprio fruta, tais como tamanho, forma, cores e aparência visual, característica relevante para o processo de escolha do consumidor cada vez mais exigente. A tabela 05 apresenta os níveis de tolerância de defeitos para cada uma das categorias. Os padrões de qualidade são determinados com o intuito de garantir a homogeneidade da aparência das frutas, sendo feita a separação por classes tipo extra, I, II e III.

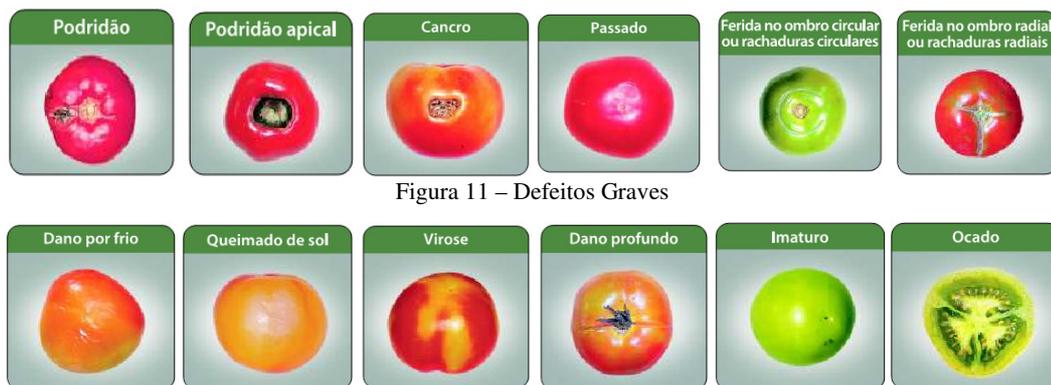
Tabela 05 - Limites de defeitos leves e graves por categoria em porcentagem (%)

Categoria	Extra	I	II	III
Podridões	0	1	2	3
Outros defeitos graves	0	2	5	10
Total de defeitos graves	0	2	5	10
Defeitos leves	5	10	20	100
Total de defeitos leves	5	10	20	100
Total de defeitos graves e leves	5	10	20	100
Mancha profunda nível I	1	5	100	100
Mancha profunda nível II	0	1	10	100
Mancha difusa nível I	1	5	100	100
Mancha difusa nível II	0	1	10	100
Total de manchas	1	5	100	100

Fonte: CEAGESP, 2003

Os defeitos graves são aqueles que comprometem a aparência, conservação e qualidade do produto, podendo em alguns casos inviabilizar o uso do produto para comercialização ou consumo. Conforme pode ser observado nas figuras 10 e 11.

Figura 10 – Classificação de Tomates – Defeitos Graves



Fonte: Ceagesp, 2003

Defeitos menos graves também desvalorizam o produto, conforme figura 12.

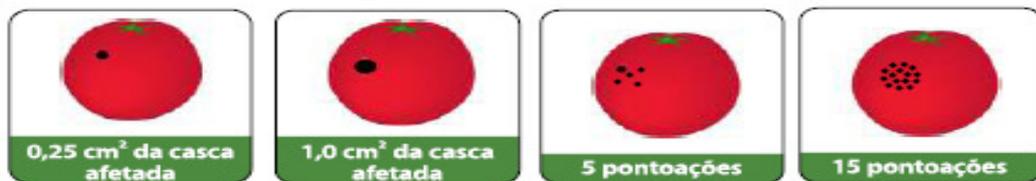
Figura 12 – Classificação de Tomates – Defeitos Leves



Fonte: Ceagesp, 2003

As manchas são alterações na coloração normal da parte externa da fruta e também podem desvalorizar o produto. De acordo com a classificação adotada pela Ceagesp existem 2 tipos de manchas, as profundas (nível 1 e 2) e as difusas (nível 1 e 2). Na figura 13 pode-se observar exemplos de manchas profundas e difusas nos níveis 1 e 2.

Figura 13 - Classificação de Tomates

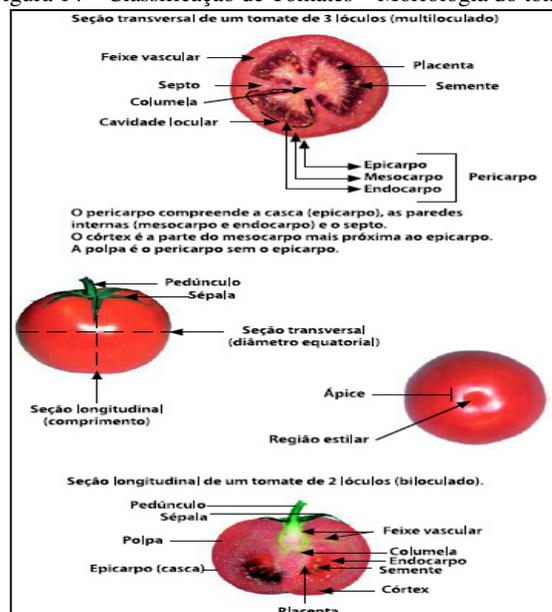


Fonte: Ceagesp, 2003

Embalagem - A embalagem é o instrumento de proteção, movimentação e exposição do tomate. As embalagens devem seguir padronização normativa conjunta do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2002), SARC/ANVISA/IMETRO.

Morfologia - Cada uma das partes do tomate é nomeada de acordo com a figura 14.

Figura 14 – Classificação de Tomates – Morfologia do tomate



Fonte: Ceagesp, 2003

2.9 A seleção e classificação mecanizada de tomates

O sistema de classificação de tomates está cada vez exigindo menos interferência dos operadores, tornando cada vez mais mecanizado, a exemplo disso na cadeia produtiva do tomate, são utilizados sistemas robotizados para aplicação de herbicidas em seu cultivo, diminuindo assim riscos à saúde e integridade física dos trabalhadores que realizavam a difícil tarefa de aplicação de herbicidas em lavouras de tomates (LEE; SLAUGHTER e GILES, 1999).

No processo de seleção e classificação de tomates o emprego de sistemas mecanizados empregados nas etapas de seleção de frutas, mostra-se totalmente viável, uma vez que envolvem critérios matemáticos pré-estabelecidos como, tamanho, cor ou forma, propiciando sempre resultados adequados. Nos processos convencionais de seleção, onde as frutas passam incessantemente pela esteira da fábrica e são selecionados pelos operadores em inspeção visual, o fator humano, influi gradativamente no processo, uma vez que suas condições físicas e emocionais, dentre outros, componentes das etapas da operação de escolha, variam durante o processo e podem afetar significativamente a forma como é feita a seleção. Outro fator importante nesse processo de seleção e escolha mecanizado é que os frutos com padrões inadequados para o consumidor devem ser descartados.

O emprego de técnicas modernas de classificação e seleção de frutas, permitir estabelecer novos parâmetros para assegurar que frutas que antes seriam descartados possam ir para as prateleiras com as características desejáveis para melhor atender à exigência do consumidor que na maioria das vezes escolhe principalmente pelas suas características físicas e aparência visual.

Frutas maduros com boa aparência, tamanho ideal e bela coloração são os preferidos, em relação a outras frutas, com bela coloração, porém de tamanho inadequado; ou frutas com tamanho ideal, mas apresentando manchas escuras.

As classificações de tomates baseiam-se na interatividade com o meio externo, onde serão estabelecidos os padrões e parâmetros de exigências adotados pelos consumidores no momento da escolha da fruta para o consumo.

O padrão de funcionamento de mesas selecionadoras e classificadoras de frutas deverá ter como principal objetivo o de reconhecer irregularidades e padrões de dados, que foram sendo adquiridos através das experiências acumuladas referentes a todas as etapas dos

processos de seleção e escolha realizados manualmente, pelos operadores nas unidades de beneficiamento, devendo ainda estar devidamente adaptadas para as diferentes características do próprio fruta, tais como tamanho, forma, cores e aparência visual característica relevante para o processo de escolha do consumidor cada vez mais exigente.

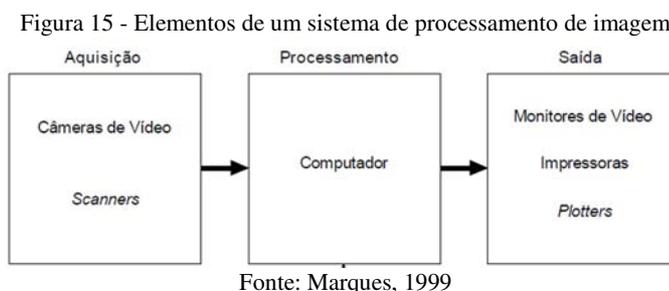
2.10 O processamento digital de imagem

Segundo Marques (1999) o processamento de imagem permite o aprimoramento de informações pictóricas para interpretação humana e a análise automática computadorizada de informações extraídas de uma cena. Uma das primeiras utilizações, para melhor interpretação humana de imagens, foi no começo do século XX com o objetivo de aprimorar a impressão de imagens digitalizadas que eram transmitidas via cabo submarino entre Londres e Nova Iorque usando o sistema *Bartlane* que, por sua vez, funcionava codificando uma imagem em cinco níveis de intensidade diferentes. O grande desenvolvimento da área de processamento de imagens ocorreu na década de 1960 com os primeiros computadores digitais de grande porte e também o começo do programa espacial americano, que utilizou esta ferramenta para aprimorar as imagens da lua processando-as por computador para correção de distorções. Dos anos 60 até os dias de hoje o processamento de imagens vem crescendo e apresentando aplicações em diversos ramos de atividade humana.

Em medicina, o uso de imagens no diagnóstico médico tornou-se rotineiro e os avanços em processamento de imagens vêm permitindo tanto o desenvolvimento de novos equipamentos quanto a maior facilidade de interpretação de imagens produzidas por equipamentos mais antigos, como por exemplo, o de raio X. Em Biologia, a capacidade de processar automaticamente imagens obtidas de microscópios, por exemplo, contando o número de células de um certo tipo presentes em uma imagem, facilita sobremaneira a execução de tarefas laboratoriais com alto grau de precisão e repetibilidade. O processamento e a interpretação automática de imagens captadas por satélites auxiliam os trabalhos nas áreas de Geografia, Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento e Meteorologia, dentre outras. Técnicas de restauração de imagens auxiliam arqueologistas a recuperar fotos borradas de artefatos raros, já destruídos. O uso de robôs dotados de visão artificial em tarefas tais como controle de qualidade em linhas de produção aumenta a cada ano, num cenário de crescente automação industrial. Inúmeras outras áreas tão distintas como Astronomia, Segurança, Publicidade e Direito - para citar apenas alguns - vêm sendo beneficiadas com os avanços nas áreas de processamento de imagens associados a sistemas de visão por computador (MARQUES, 1999, p.1).

2.11 Composição de um sistema de processamento de imagem

De acordo com Marques (1999) um sistema de processamento de imagem é composto pelas etapas de aquisição, armazenamento, processamento e exibição, como representado na figura 15 a seguir:



A etapa de aquisição corresponde na conversão de uma imagem em uma representação numérica adequada para posterior processamento digital. Para tal, é necessário um dispositivo físico sensível a uma faixa de energia no espectro eletromagnético que produza um sinal elétrico proporcional ao mesmo.

E também, um digitalizador que converte o sinal elétrico analógico em informação digital, ou seja, que possa ser representada em bits (Marques, 1999). A etapa do armazenamento pode ser dividida em três categorias:

Armazenamento de curta duração de uma imagem: nesta categoria a alternativa mais simples é o uso da memória RAM (*Random-Access Memory*), mas também se utiliza *frame buffers* que são placas especializadas que armazenam e permitem a visualização rápida das imagens, além de ferramentas como zoom e rolagem vertical e horizontal.

Arquivamento de imagens para recuperação futura: é caracterizado pelo uso de bytes na ordem dos bilhões (giga) e trilhões (tera) para o armazenamento de imagens de recuperação esporádica.

A etapa do processamento envolve o uso de algoritmos para seus procedimentos e, por isso, a maioria das suas funções podem ser implementadas via software.

A etapa da transmissão utiliza rede de computadores e protocolos de comunicação para transmitir imagens digitalizadas à distância.

E a etapa de exibição ocorre com auxílio de monitores de vídeo, diversos tipos de telas de exibição, impressoras e *plotters* que imprimem a informação em tela ou papel (MARQUES, 1999).

2.11.1 Exemplos do uso de processamento digital de imagens

Nos últimos anos foram realizados diversos experimentos relacionando o processamento de imagem com a classificação de produtos agrícolas. A seguir serão apresentados alguns exemplos envolvendo *softwares* com diferentes técnicas de processamento de imagem e, como material de estudo, diferentes produtos agrícolas.

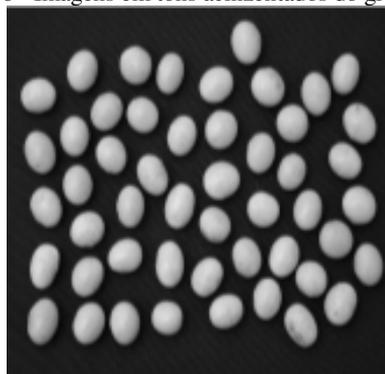
No trabalho realizado por Almeida e Dal Fabbro (2015) são utilizados a análise sensorial e instrumental para identificação da coloração de tomates durante o período de maturação. Com o estudo foi possível determinar um padrão de coloração para o tomate, utilizando-se de um espectrograma, os dados coletados foram lidos por um *software*, sendo possível, através da captação das imagens, determinar a coloração desejada para seleção da fruta de acordo com parâmetros estabelecidos previamente.

No trabalho realizado por Khatchatourian e Padilha (2008) foi aplicado o processamento de imagens digitais, auxiliado por redes neurais, para seleção de oito variedades de soja por meio do tamanho e formato das sementes.

Neste trabalho o processamento das imagens foi dividido em cinco etapas conforme abaixo.

- Aquisição da imagem, fotografando-se as amostras de cada variedade.
- Pré-processamento, com filtro para obter tons acinzentados da imagem conforme a figura 16.

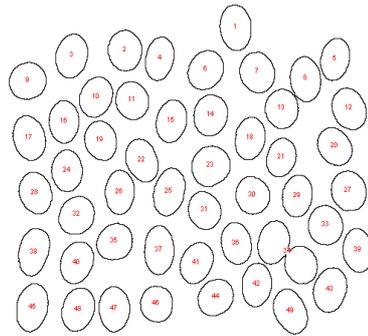
Figura 16 - Imagens em tons acinzentados do grão de soja



Fonte: Khatchatourian e Padilha, 2008

- Na segmentação foi realizada a detecção das bordas das sementes e remoção de segmentos não-necessários para uma melhor avaliação durante toda as etapas do processamento e análise da imagem, conforme figura 17.

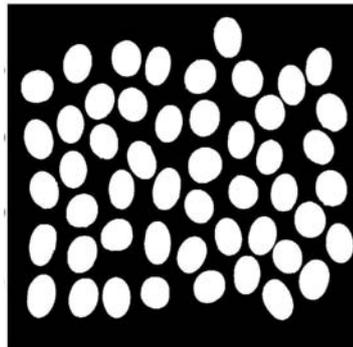
Figura 17 - Bordas detectadas pelo método de Prewitt



Fonte: Khatchatourian e Padilha, 2008

- Representação de cada semente na forma de matriz binária 130x130 conforme figura 18.

Figura 18 – Obtenção de imagem pela remoção de objetos menores



Fonte: Khatchatourian e Padilha, 2008

- Reconhecimento e interpretação, utilizando-se uma rede neural para reconhecimento das sementes. Devido à semelhança entre as sementes foram necessários alta qualidade da resolução das imagens além de uma estrutura de rede neural artificial bastante complexa.

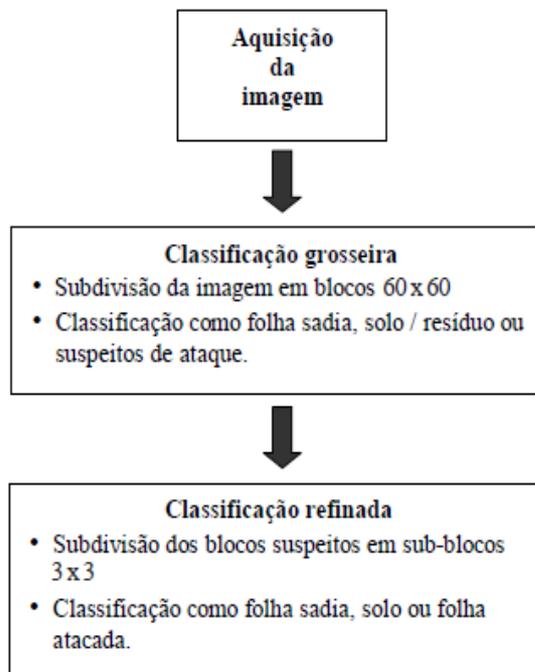
Outro exemplo relevante de uso de processamento de imagem é o trabalho de Khojastehnazhand, Omid e Tabatabaeefar (2009) que desenvolve um algoritmo para se calcular a área da superfície de laranjas. Para a obtenção das imagens é utilizado duas câmeras e quatro lâmpadas fluorescentes, além de duas placas de captura e um computador. Neste caso se utilizou um programa em VBA (*Visual Basic for Applications*) para se separar a imagem de interesse do fundo de origem, além de armazenar as imagens no computador. As fotos são feitas pelo topo e lateral da câmera obtendo-se desta forma duas medidas de diâmetros de faces diferentes da

laranja, os diâmetros por sua vez são utilizados para se calcular o volume das frutas. Os valores calculados pelo método descrito apresentaram assertividade de 95% em relação ao volume real das laranjas.

Outro exemplo pertinente para o desenvolvimento do trabalho é o realizado por Sena Júnior *et al.* (2001) que desenvolve um algoritmo para o processamento e análise de imagens digitais, tendo como ambiente de estudo uma lavoura de milho. O intuito deste experimento é a identificação de plantas de milho atacadas pela lagarta do cartucho (praga que ataca a planta do milho, provocando morte de plantas) e conseqüentemente perdas na produção.

O método desenvolvido por Sena Júnior *et al.* constitui-se de duas etapas de classificação dos objetos presentes nas cenas de uma lavoura de milho, na primeira etapa, denominada classificação grosseira, utilizou-se a técnica de limiarização em blocos de imagens com 60x60 pixels de dimensão, descartando-se imagens referentes ao solo, resíduos e folhas saudas. A segunda etapa, denominada classificação refinada, foram utilizadas redes neurais artificiais em blocos de 3x3 pixels de dimensão, para identificação e separação pela rede neural dos blocos suspeitos em solo, folha sadia e folha atacada, conforme figura 19. No trabalho de Sena Júnior *et al.* a exatidão global alcançada foi de 80,74%.

Figura 19 – Fases utilizadas no processamento de imagens



Fonte: Sena Júnior *et al.*, 2001

Muitos são os trabalhos realizados sobre processamento de imagens, com aplicações diversas como determinação de volume de um corpo, determinação da coloração, formato ou padrões de imperfeição pré-determinados.

Outro exemplo de utilização de processamento de imagem é o caso de Lupetti *et al.* (2005) que utilizou o processamento de imagens para determinação da quantificação do escurecimento de tecidos vegetais.

Lino e Dal Fabbro (2004) realizaram um experimento para a determinação da topografia de uma fruta pela técnica de *moiré* de sombra com multiplicação de franjas. A técnica de *moiré* é comumente usada em perfilometria pela sua simplicidade e rapidez de medição e é baseada no fenômeno de *moiré* que consiste na interferência causada pela sobreposição de duas estruturas periódicas ou retículos como linhas paralelas, radiais, círculos ou elipses concêntricas, ou seja, pontos que geram padrões característicos definidos de franjas e conhecidos como franjas de *moiré*. O objetivo do trabalho foi gerar um modelo digital de elevação (MDE) de uma pera utilizando esta técnica e compará-lo com outro modelo gerado a partir de um scanner 3D. Este MDE consiste na digitalização das curvas de nível como em mapas topográficos. O processamento de imagem a partir de programas computacionais foi essencial para chegar aos MDE almejados para a comparação entre as duas técnicas, como ilustrados nas figuras 20 e 21 a seguir, mostrando que ambas reproduzem de maneira satisfatória a superfície da pera.

Figura 20 - Modelo Digital de Elevação - Scanner 3D

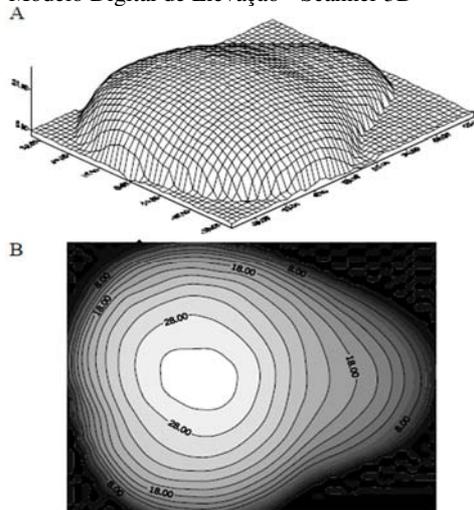
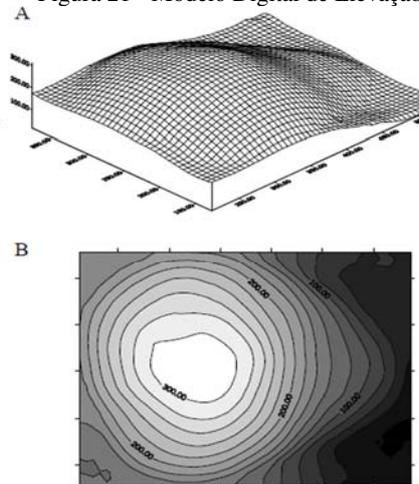


Figura 21 - Modelo Digital de Elevação por *moiré*

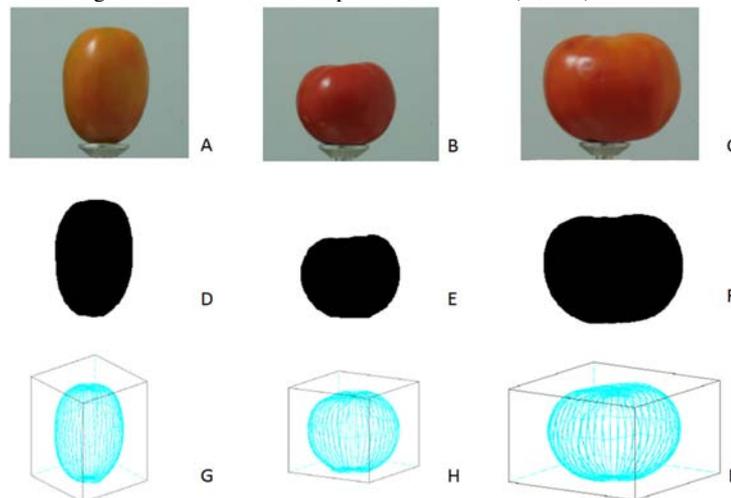


Fonte: Lino e Dal Fabbro, 2004

Lino *et al.* (2012) realizaram um experimento com o objetivo de determinar o volume de tomates realizando reconstruções 3D a partir de imagens de suas silhuetas. Para tal, foram criadas rotinas para o *software* SCILAB que consistiam em abrir o arquivo da imagem, transformá-la em binária, reconhecer o contorno do objeto, criar uma matriz com as coordenadas deste mesmo contorno e então, realizar a reconstrução 3D.

Observou-se que a metodologia proposta é capaz de construir modelos 3D dos tomates estudados e também outros objetos, mostrando dessa forma, que é possível aplicar esta técnica para sistemas de inspeção tridimensional para obtenção de volume, altura e contornos topográficos de frutas e hortaliças. A figura 22 resume as etapas do experimento realizado em três etapas.

Figura 22- Imagens de tomates, suas respectivas silhuetas (D, E F) e os seus modelos 3D



Fonte: Lino *et al.* (2012)

Dias *et al.* (2010) usaram imagens digitais para a classificação de flores de corte (de comercialização) com o objetivo de verificar se é possível definir a qualidade de uma flor a partir de suas imagens digitalizadas e se a análise computadorizada para tal foi satisfatória no experimento. Assim, a partir das imagens digitalizadas foram analisados três parâmetros de qualidade: uniformidade da abertura floral, retilinearidade das hastes e o grau de inclinação do pedúnculo. Utilizando rotinas de análise automatizadas foi possível classificar as flores em três classes de qualidade: Extra, Classe I e Classe II.

Neste experimento foram utilizados dois softwares. O primeiro é um programa de reconhecimento visual interativo chamado CAVIAR (*Computer Assisted Visual Interactive Recognition*) que trabalha por meio de parâmetros geométricos para reconhecimento de padrões

florais e possui uma boa acurácia. O segundo é o *ImageJ* que é um processador de imagens e será o tema de estudo a seguir.

2.12 Processamento de imagens com ImageJ

ImageJ é um programa de domínio público para processamento de imagens baseado na linguagem Java, daí a letra “J” ao final do seu nome. Foi idealizado por Wayne Rasband do *Research Services Branch - RSB*, uma divisão do *National Institute of Health - NIH*. Sua primeira versão foi disponibilizada em 23 de setembro de 1997 após seu idealizador ter se inspirado no software “*NIH Image*” para *Macintosh*, o qual já havia trabalhado durante 10 anos e viu a oportunidade de aprimoramento e desenvolvimento para *PC/Windows* (ABRÀMOFF, MAGALHÃES e RAM, 2004).

O *software* apresenta vantagens para o processamento de imagens, inclusive frutas como o tomate, que é objeto de estudo deste trabalho. O *ImageJ* se destaca pelo fato de ter seu código-fonte aberto e licença gratuita, mas também, por funcionar em qualquer sistema operacional (versão para *download* em *Windows, Mac OS, Mac OS X e Linux*). É um sistema de fácil utilização, completo para a manipulação de imagens e com diversas aplicações.

2.12.1 Recursos do ImageJ para processamento de imagens

O *ImageJ* é capaz de ler os principais formatos de imagens recebidos a partir de digitalização, entradas de vídeo e câmeras compatíveis com diversos padrões de captura. É possível trabalhar desde um pixel até toda a imagem, regiões e sólidos. Possui diversas funções, desde básicas como edição e manipulação de cores, histogramas de densidade, medição de distâncias e ângulos até mais avançadas, como operações matemáticas, calibragem de densidade e escala de cinza. Permite também a conversão espacial de cores de RGB (*Red, Green, Blue*) para *Hue Saturation Intensity* (matiz, saturação e intensidade). O programa também é habilitado ao uso de macros e *plug-ins* escritos pelo usuário (ABRÀMOFF, MAGALHÃES e RAM, 2004).

2.12.2 Exemplos do uso do ImageJ para classificação de frutas

Gomes Filho *et al.* (2006) realizaram um experimento onde o *software ImageJ* foi utilizado para a quantificação da Mancha Fisiológica do Mamão (MFM) com o objetivo de comprovar a eficácia do método das notas, que consiste em atribuir notas de 0 a 5 de acordo

com a severidade de incidência da MFM na casca da fruta. Foram analisados três cultivares, Golden, Diva e Tainung, e seis notas, de 0 a 5 (sendo 0 para total ausência de MFM e 5 para ocorrência máxima de incidência de MFM).

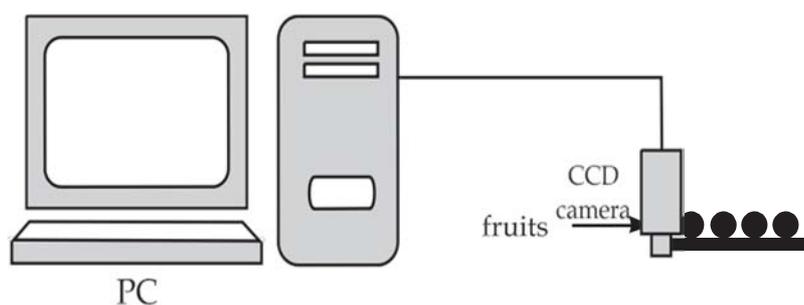
A amostra constituiu em 10 frutas para cada cultivar e para cada nota chegando num total de 180 frutas. Concluiu-se que o *software* auxiliou de forma eficaz a efetuação do experimento que, por sua vez, mostrou que o método das notas apresenta alta relação com a casca da fruta coberta com a mancha. Além disso, a atribuição das notas se mostrou como um método seguro e preciso.

Segundo Lino, Sanches e Dal Fabbro (2008) a qualidade vegetal pode ser classificada a partir do seu tamanho, massa, firmeza, cor e danos. Contudo, a implantação de sistemas classificação com *software* requer investimentos financeiros muitas vezes inviáveis para pequenos e médios produtores. Levando em conta estes fatores, o segundo experimento, exemplificado a seguir, estudou a adaptação do *ImageJ* para reconhecer forma, volume, cor e possivelmente danos.

Foi conectada uma câmera CCD (*charge-coupled device*) a um PC (*Personal Computer*) e a mesma foi fixada verticalmente para registro de imagens das frutas que eram transportados sob a câmera, com as imagens capturadas, foram avaliados cinco níveis de amadurecimento dos tomates.

Com auxílio do *ImageJ*, foi possível processar histogramas de cores RGB e luminosidade, e também transformar as imagens coloridas em escala de cinza. Ao final concluiu-se que a classificação de tomates por cores que seu deu a partir de sua coloração é suportada pelo software de código-fonte aberto como ilustrado na figura 23.

Figura 23 - Esquema de captação de imagens para classificação de tomates



Fonte: Lino, Sanches e Dal Fabbro, 2008

Com as imagens capturadas, foram avaliados cinco níveis de amadurecimento dos tomates e, com auxílio do *ImageJ*, foi possível processar histogramas de cores RGB e luminosidade, e também transformar as imagens coloridas em escala de cinza.

2.13 *Biospeckle* e a Perfilometria Laser

O trabalho de Fracarolli (2014) contribui para o estudo da classificação de tomates porque propõem a avaliação de frutas através da combinação de duas técnicas ópticas, o *biospeckle* e a perfilometria laser. A classificação de frutas através de um levantamento topográfico combinado ao posicionamento geométrico dos pontos da imagem com informações referentes à atividade biológica poderá elevar a classificação de frutas a novos patamares de qualidade. O trabalho também realizou a diferenciação entre frutas de formato variado, a classificação de frutas por formato, classe, coloração e defeitos por meio de processamento de imagens. Foram observadas frutas com irregularidades superficiais, maturidade e danos mecânicos. Existem diversos estudos sobre processamento de imagens digitais aplicadas a tomates, que relacionam a cor de tomates com a temperatura de armazenamento (Tijskens e Evelo, 1994). Também existem estudos onde é feita a análise dos valores RGB para tomates ao longo de períodos de seu armazenamento (LANA; TIJSKENS; VAN KOOTEN, 2006a e 2006b).

O uso de imagens na agricultura tem se tornado uma ferramenta promissora no desenvolvimento de padrões e mecanismos de reconhecimento de formas e medidas em diversos campos. A análise individual de produtos durante as fases de classificação, distribuição ou até reconhecimento inicial da espécie permite maior precisão e agilidade no processo de seleção e classificação.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Este capítulo apresenta a metodologia utilizada para a realização dos ensaios experimentais, incluídos neste trabalho de pesquisa, composto por um sistema de processamento de imagem, dividido em aquisição, armazenamento, processamento e análise de imagens.

O processamento englobou ensaios fotográficos para obtenção das imagens para os levantamentos fotográficos dos tomates a serem analisados.

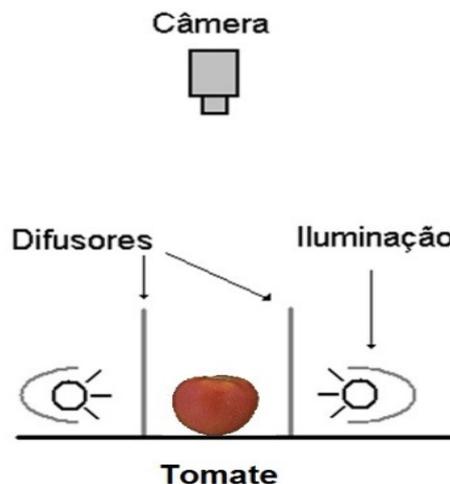
Os tratamentos das imagens geradas pelos ensaios das amostras foram realizados com o auxílio do *software ImageJ* e permitiu gerar uma rotina computacional de análise de todas as imagens dos tomates adquiridas da amostra experimental.

3.1 Análise Experimental

Os ensaios de aquisição de imagens foram realizados nos Laboratórios de Máquinas Agrícolas e de Óptica da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (FEAGRI/UNICAMP).

O arranjo experimental esquematizado na figura 24 apresenta a sequência, de fotos capturadas por uma câmera Samsung modelo SC-HMX20C. Com o auxílio de um plano de fundo preto fosco e iluminação difusa de LED 4000K.

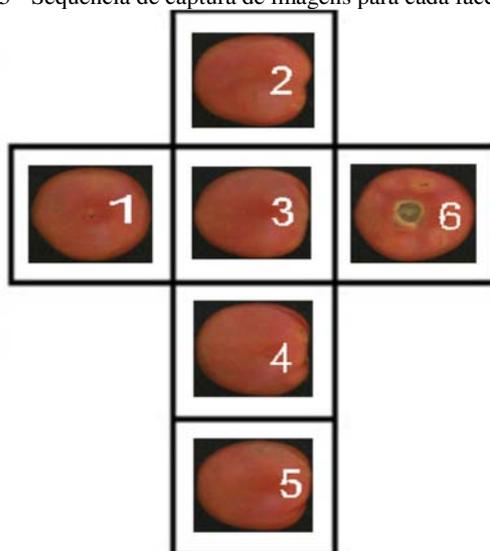
Figura 24 - Disposição dos elementos de captura de imagem



Fonte: Próprio autor

Os tomates da variedade Débora, *in-natura*, foram adquiridos na Ceasa - Central de Abastecimento de Campinas S.A. De uma caixa com 140 tomates, foram selecionados aleatoriamente 50 tomates para realização de primeira análise inspeção visual, com o objetivo de preparação e ordenamento dos corpos de prova para a aquisição das imagens. Sendo que estes tomates foram enfileirados na bancada do experimento pela sequência de ordem a serem fotografados. Onde os primeiros tomates de 1 a 9 e de 11 a 22 foram considerados sem defeitos (manchas) e os de ordem numérica 10, 23, 24, 25 a 50 considerados com defeitos (manchas) aparentes. Para efeitos deste trabalho a primeira análise realizada por inspeção visual considerou como defeito, qualquer mancha (diferença de cor, marca ou sinal) com dimensão superior a $0,25 \text{ cm}^2$, em consonância com a classificação do Ceagesp (2003). Após determinado o valor do diâmetro das manchas que deveriam ser identificadas como sendo defeitos em tomates, durante a fase do processamento, realizado pelo *software ImageJ*. Foi estabelecido como procedimento padrão adotado para aquisição das imagens, um conjunto sequencial de fotos para cada uma das faces do tomate, totalizando 6 imagens para cada tomate, e 300 imagens adquiridas de 50 tomates do experimento inicial. Para obtenção das imagens, os tomates foram posicionados sobre um plano preto fosco e com auxílio de uma câmera posicionada a uma distância fixa de 0,5 m do tomate) a ser fotografado. Finalizando aquisição das imagens, uma régua graduada foi fotografada na posição do experimento, preservando-se a sua configuração original, como objetivo ser utilizada como parâmetro de calibração do experimento. Pode se observar na figura 25 a representação da sequência adotada durante a aquisição das imagens. Pela ordem definida a sexta foto corresponde sempre com imagem da face 6 de cada tomate e visualiza a região correspondente a área de inserção do pedúnculo, de cada tomate.

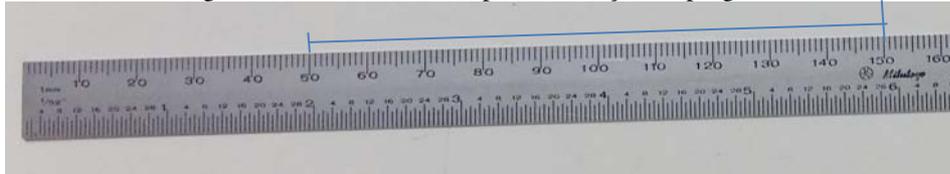
Figura 25 - Sequência de captura de imagens para cada face do tomate



Fonte: Próprio autor

Após o final da aquisição das imagens dos tomates do ensaio experimental, uma escala graduada em milímetros foi fotografada com objetivo de ser utilizada como gabarito para calibração mantendo-se todas as configurações do arranjo experimental utilizado para a obtenção das imagens analisadas. A figura 26 apresenta a escala milimétrica e a linha gerada pelo *ImageJ* entre o intervalo escolhido aleatoriamente entre 50 e 150 mm da escala.

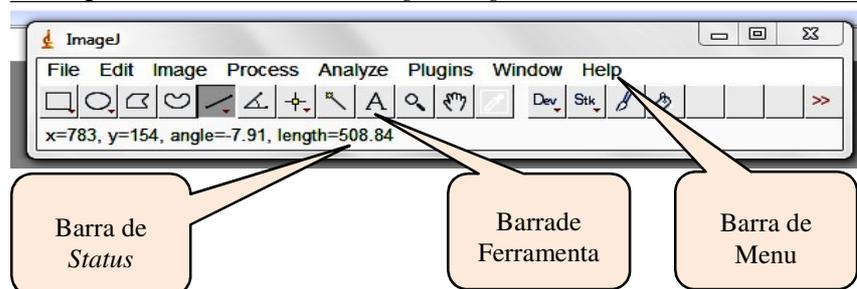
Figura 26 – Escala 300 mm para calibração do programa



Fonte: Próprio autor

Com a função “*straight*” do *ImageJ* foi traçada uma linha reta sobre a escala fotografada, entre os valores de 50 e 150 mm, ou seja, uma distância de 100 mm ou 10 cm, conforme pode ser observado na figura 27 que foi demonstrada pela Barra de Status do *ImageJ* de onde se obteve o comprimento em pixel da linha traçada, na barra de status pode-se ler o “*length*” de 508,84 pixels (px). A relação $508,84 \text{ px} = 10 \text{ cm}$ foi constatada.

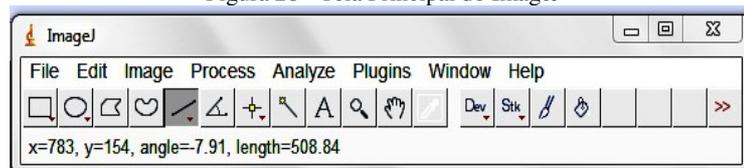
Figura 27 – Barra de Status do *ImageJ*: “*length*” 508.84 da escala milimetrada



Fonte: Próprio autor

A imagem da figura 28 mostra a imagem da tela principal Barra de *Status* Menu do programa *ImageJ* onde juntamente com a macro do software, foram processadas e analisadas as imagens, da calibração e as imagens do experimento inicial.

Figura 28 - Tela Principal do *ImageJ*



Fonte: Próprio autor

Para melhor entendimento do parâmetro utilizado para definir o valor do diâmetro das manchas a serem identificadas e analisadas pelo *software* macro rotina. O Centro de

Qualidade em Horticultura (2003) apresenta as manchas como sendo alterações na coloração normal da parte externa da fruta e que também podem desvalorizar o tomate. De acordo com a classificação do adotada pela Ceagesp existem 2 tipos de manchas. As manchas profundas (nível 1) aquelas identificadas com área entre $0,25 \text{ cm}^2$ e 1.0 cm^2 e as profundas (nível 2) aquelas com área superior 1 cm^2 . Podemos afirmar que a área de um círculo pode ser calculada pela fórmula: $A = \pi * \frac{D^2}{4}$ Equação 01 \Rightarrow Equação 02 $\Rightarrow D = \sqrt{A * 4 / \pi}$

Onde para mancha profunda nível 1 com área de $0,25 \text{ cm}^2$ obteve-se um diâmetro de $0,56 \text{ cm}$ e para mancha profunda nível 1 dimensão estas que foi estabelecida como parâmetros para a rotina de processamento, que considerou como sendo tomates sem defeitos (manchas) aquelas com área de manchas inferior a 25 cm^2 . Na sequência a imagem original colorida obtida no ensaio experimental figura 29, é selecionada e aberta no *ImageJ* onde é decomposta no sistema de cores RGB - *Red, Green e Blue*.

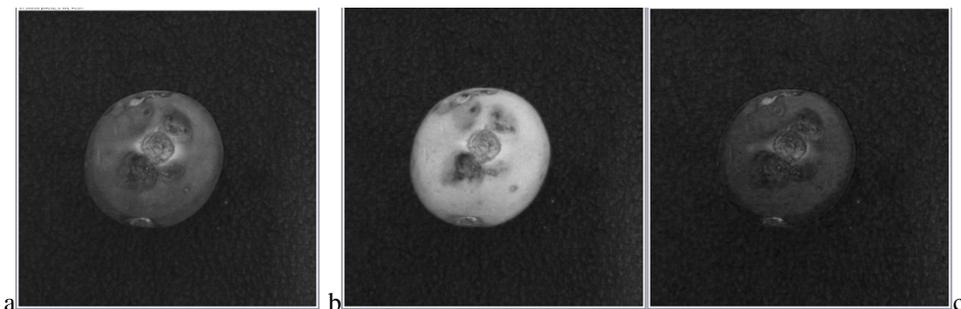
Figura 29 – Imagem do tomate a ser tratada



Fonte: Próprio autor

Sendo a figura 30(a) a componente vermelha (*red*), 30(b) a componente verde (*green*) e a 30(c) componente azul (*blue*).

Figura 30 – Decomposição no Modelo de Cores RGB. (a) *Red*; (b) *Green*; (c) *Blue*



Fonte: Próprio autor

Com o objetivo de evidenciar os defeitos manchas superficiais, mostrados nas imagens foram realizadas operações lógicas e matemáticas com os componentes RGB, onde os

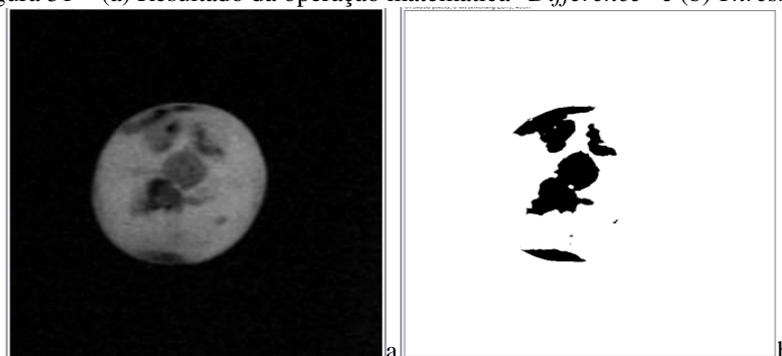
melhores resultados foram obtidos na diferença entre os componentes “R” e “B”, de acordo com a linha de programação *Image Calculator* (“*Difference*”, “*img (blue)*”, “*img (red)*”).

A partir do resultado da operação matemática “*Difference*” realiza-se o processo de *Threshold*, (imagem binária) ou seja, a limiarização que é a conversão de uma imagem para preto e branco.

Com o auxílio da ferramenta “*Analyze Particles*” determinou-se a área de cada mancha conforme a norma de classificação do Ceagesp (2003), onde preconiza que manchas com tamanhos superiores a $0,25 \text{ cm}^2$ classificam o tomate como defeituoso, e manchas inferiores a $0,25 \text{ cm}^2$ classificam os tomates como sendo sem defeitos (manchas) aparentes.

A imagem resultante da operação diferença entre a imagem azul e a imagem vermelha que foi evidenciada com a operação de *Threshold* (imagem binária) destaca as manchas para que possam ser analisadas pelas ferramentas do *ImageJ*. Imagem esta que pode ser observada na figura 31a, e 31b o resultado da imagem binária com valores preto e branco.

Figura 31 – (a) Resultado da operação matemática “*Difference*” e (b) *Threshold*



Fonte: Próprio autor

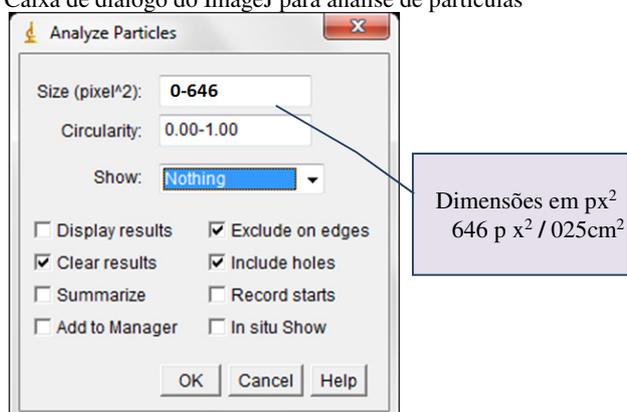
As imagens das faces de 1, 2, 3, 4 e 5 não deverão apresentar nenhuma mancha de área superior a $0,25 \text{ cm}^2$ e a imagem da face 6 deverá apresentar somente uma mancha na região central da face e com valor de área inferior a 6% do valor total da área desta face do tomate, que corresponde a área de visualização da mancha que representa a área de inserção do pedúnculo para todos os tomates ensaiados.

Para se determinar percentualmente a área da mancha correspondente à região de inserção do pedúnculo em relação à área da face 6 do tomate, com valor máximo de 6%, foi desenvolvida uma rotina computacional própria, para ser executada pelo *software* do *ImageJ*, rotina esta que processou e analisou todas as imagens da face 6 (áreas de inserção do pedúnculo) dos tomates ensaiados. Estas operações foram executadas com o auxílio da ferramenta

denominada *Analyze Particles*, que determinou e comparou os valores das áreas da inserção do pedúnculo e área da face 6. Este processamento permitiu concluir com segurança, que a região de inserção do pedúnculo foi identificada na face 6 (base do tomate) e sempre aparece na região central da imagem, possuindo característica de circularidade, e cujas áreas não ultrapassaram, em nenhuma das imagens analisadas, o valor de 6%, da área total da face 6. Onde uma segunda ou mais manchas, distintas desta se visualizadas pelo *software* só poderão ser admitidas na face 6 (base do tomate) desde que possuam área da mancha inferior à $0,25 \text{ cm}^2$, conforme preconiza a norma do Ceagesp (2003).

Convertendo a escala de pixels para pixels^2 (quadrado), obtemos a relação de $2583,68 \text{ pixels}^2$ por 1 cm^2 . Onde aplicando-se a equação matemática para identificar manchas na superfície do tomate com a áreas entre $0,25 \text{ cm}^2$ $1,0 \text{ cm}^2$. Conforme preconiza a norma foi realizada a equivalência de área em pixels^2 . Determinando- se a relação de que 646 pixel^2 em $0,25 \text{ cm}^2$. Esta informação foi inserida no *ImageJ* na ferramenta de *Analyze Particles* no campo *Size* (pixel^2) para que partículas, menores que $646 \text{ pixels}^2/25 \text{ cm}^2$ ao serem analisadas não sejam consideradas como defeito, conforme observado na figura 32.

Figura 32 – Caixa de diálogo do ImageJ para análise de partículas

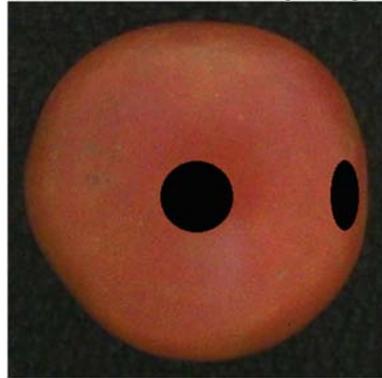


Fonte: Próprio autor

Para se proceder a análise das partículas de interesse na superfície do tomate, para classificação dos defeitos superficiais, de acordo com a norma da Ceagesp, fez-se a correlação da área de parâmetro de defeitos (manchas) visíveis na superficiais do tomate para pixels. Com a escala encontrada pelo *software* de $508,84 \text{ pixels}$ em 10 cm .

Ao analisar as imagens das manchas processadas pelo *software* do *ImageJ*, observou-se que as mesmas sofrem distorções, em razão do fato, de que, quando se captura uma imagem bidimensional, de uma superfície tridimensional, ocorrem variação e distorções de sua área devido a geometria do objeto (Figura 33).

Figura 33 - Apresentação da mancha distorcida em função da posição geométrica no objeto.



Fonte: Próprio autor

Com o objetivo de visualizar e estudar estas distorções provocadas em manchas circulares na superfície de corpos esféricos, como os dos tomates. Foi simulado modelos de manchas calibradas, que foram recortadas em círculos, de um papel preto fosco, utilizando-se para esta modelagem um punção de aço graduado com diâmetro de furo que possibilitou recortar manchas com diâmetro de 6 mm. Posteriormente estas manchas artificiais foram coladas nas superfícies de um tomate e de uma esfera branca fosca, esfera, esta que foi utilizada para a realização do ensaio fotográfico de aquisição de imagens, para simulação e análise do comportamento desta mancha nas diferentes posições conforme observado na (figura 34).

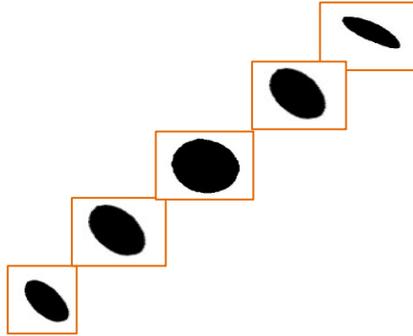
Figura 34 – Mancha graduada na superfície de um corpo esférico modelo



Fonte: Próprio autor

Na sequência fotografou-se a esfera com as manchas em diferentes 16 diferentes posições em relação ao centro do objeto, ao longo de um percurso de aproximadamente 180° . Onde com o auxílio do *ImageJ* realizou-se o *Threshold* (imagem binária) ou seja, a limiarização que consiste na conversão de uma imagem com valores em preto e branco, com o propósito de destacar a mancha do resto da imagem possibilitando a análise das suas características geométricas (área) de acordo com a sua posição. Conforme pode ser observado na figura 35, à medida que a mancha se afasta do centro da esfera, a sua área aparente (ap) distorce e diminui.

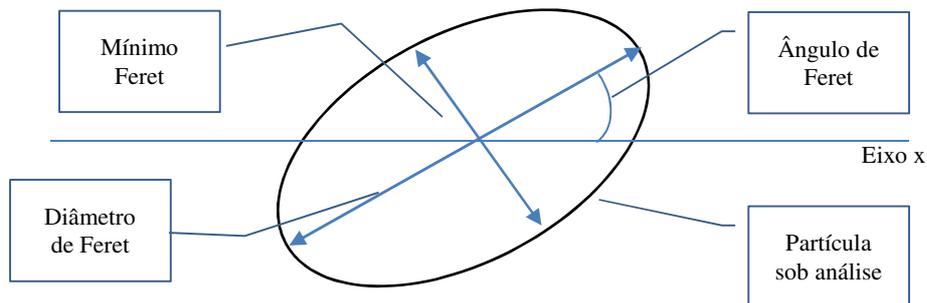
Figura 35 – Área das manchas em função da sua posição na superfície da esfera.



Fonte: Próprio autor

Com a ferramenta análise de partículas do *ImageJ* obteve-se o Diâmetro de *Feret* que permite obter a maior distância entre quaisquer dos pontos ao longo do objeto em estudo. O ângulo de *Feret* é formado entre a linha de cota do Diâmetro de *Feret* e o eixo x (horizontal) e varia de 0 a 180°. O mínimo *Feret* é o diâmetro mínimo da mancha sob análise.

Figura 36 – Ferramentas do ImageJ: Diâmetro de Feret, Mínimo Feret e ângulos Feret.



Fonte: Próprio autor

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tabela 6 apresenta os resultados das áreas e diâmetros de Feret da mancha padrão com diâmetro de 6 mm fotografadas em 16 posições diferentes da superfície da esfera, ao longo de um percurso de aproximadamente 180° analisados pelo *ImageJ*. Observa-se que a área da mancha varia de acordo com a sua posição na superfície da esfera, obtendo os maiores valores, muito próximos ao valor real, quando a mancha se encontra na região central da esfera, que é a região de menor deformação. A medida que a mancha se afasta desta região, a sua imagem é deformada, ficando mais estreita, e por tanto com menor área, que pode ser comprovado pelo baixo valor da média 19,52 mm² e alto desvio padrão 6,04 mm².

Por outro lado, o diâmetro de Feret variou pouco, obtendo um média de 6,03 mm, muito próxima ao diâmetro real que é de 6,00 mm, e o desvio padrão de apenas 0,08 mm. Enquanto a área chegou a ser 67% menor que a área real da mancha, o diâmetro de Feret variou no máximo 2%, mostrando que ele é uma medida de alto grau de confiabilidade para medir o tamanho das manchas (defeitos) em frutas.

Tabela 06 – Dados das manchas obtidas a partir da análise de partículas

Imagem	Área (mm ²)	Desvio da área (%)	Diâmetro de Feret (mm)	Desvio Diâmetro de Feret (%)
1	18,38	-35%	5,97	-1%
2	24,32	-14%	5,92	-1%
3	26,32	-7%	5,97	-1%
4	26,83	-5%	6,04	1%
5	26,53	-6%	5,95	-1%
6	25,71	-9%	5,96	-1%
7	24,2	-14%	5,95	-1%
8	23,36	-17%	6	0%
9	20,83	-26%	6	0%
10	16,79	-41%	6	0%
11	15,28	-46%	6,1	2%
12	11,64	-59%	6,14	2%
13	9,22	-67%	6,12	2%
14	10,91	-61%	6,07	1%
15	14,31	-49%	6,14	2%
16	17,75	-37%	6,12	2%
Média	19,52		6,03	
Desvio padrão	6,04		0,08	

Fonte: Próprio autor

A tabela 7 apresenta os resultados de defeitos (manchas) obtidos através da rotina executada pelo *software ImageJ*, e o resultado da primeira inspeção visual, realizada nos corpos de prova no início do ensaio experimental, e a comparação entre os dois métodos. Este comparativo permitiu constatar que a macro identificou e confirmou defeitos (manchas) para

todos os tomates selecionados na primeira análise visual, quais sejam os de números 10, 23, 24 e de 25 a 50. E também identificou e confirmou como tomates sem defeito (manchas) os numerados em 01, 03, 06, 08, 13, 14, 15, 16, 17, 18 e 22. Porém apresentou divergências em relação a primeira inspeção visual para os tomates 02, 04, 05, 07, 09, 11, 12, 19, 20 e 21, que a macro identificou como sendo tomates com defeitos. Porém estes tomates foram considerados sem defeitos (manchas) na inspeção visual dos corpos de prova no ensaio experimental.

Tabela 07 - Tabela comparativa entre os resultados obtidos na análise computacional e a análise visual inicial onde o “Termo Empregado de Aceita é para tomate sem defeito e o Termo Rejeita para tomate com defeito”

Número do Tomate	ImageJ	Análise Visual	Acerto		Número do Tomate	ImageJ	Análise Visual	ImageJ x Visual
Tomate01	Aceita	Aceita	Sim		Tomate26	Rejeita	Rejeita	Sim
Tomate02	Rejeita	Aceita	Não		Tomate27	Rejeita	Rejeita	Sim
Tomate03	Aceita	Aceita	Sim		Tomate28	Rejeita	Rejeita	Sim
Tomate04	Rejeita	Aceita	Não		Tomate29	Rejeita	Rejeita	Sim
Tomate05	Rejeita	Aceita	Não		Tomate30	Rejeita	Rejeita	Sim
Tomate06	Aceita	Aceita	Sim		Tomate31	Rejeita	Rejeita	Sim
Tomate07	Rejeita	Aceita	Não		Tomate32	Rejeita	Rejeita	Sim
Tomate08	Aceita	Aceita	Sim		Tomate33	Rejeita	Rejeita	Sim
Tomate09	Rejeita	Aceita	Não		Tomate34	Rejeita	Rejeita	Sim
Tomate10	Rejeita	Rejeita	Sim		Tomate35	Rejeita	Rejeita	Sim
Tomate11	Rejeita	Aceita	Não		Tomate36	Rejeita	Rejeita	Sim
Tomate12	Rejeita	Aceita	Não		Tomate37	Rejeita	Rejeita	Sim
Tomate13	Aceita	Aceita	Sim		Tomate38	Rejeita	Rejeita	Sim
Tomate14	Aceita	Aceita	Sim		Tomate39	Rejeita	Rejeita	Sim
Tomate15	Aceita	Aceita	Sim		Tomate40	Rejeita	Rejeita	Sim
Tomate16	Aceita	Aceita	Sim		Tomate41	Rejeita	Rejeita	Sim
Tomate17	Aceita	Aceita	Sim		Tomate42	Rejeita	Rejeita	Sim
Tomate18	Aceita	Aceita	Sim		Tomate43	Rejeita	Rejeita	Sim
Tomate19	Rejeita	Aceita	Não		Tomate44	Rejeita	Rejeita	Sim
Tomate20	Rejeita	Aceita	Não		Tomate45	Rejeita	Rejeita	Sim
Tomate21	Rejeita	Aceita	Não		Tomate46	Rejeita	Rejeita	Sim
Tomate22	Aceita	Aceita	Sim		Tomate47	Rejeita	Rejeita	Sim
Tomate23	Rejeita	Rejeita	Sim		Tomate48	Rejeita	Rejeita	Sim
Tomate24	Rejeita	Rejeita	Sim		Tomate49	Rejeita	Rejeita	Sim
Tomate25	Rejeita	Rejeita	Sim		Tomate50	Rejeita	Rejeita	Sim

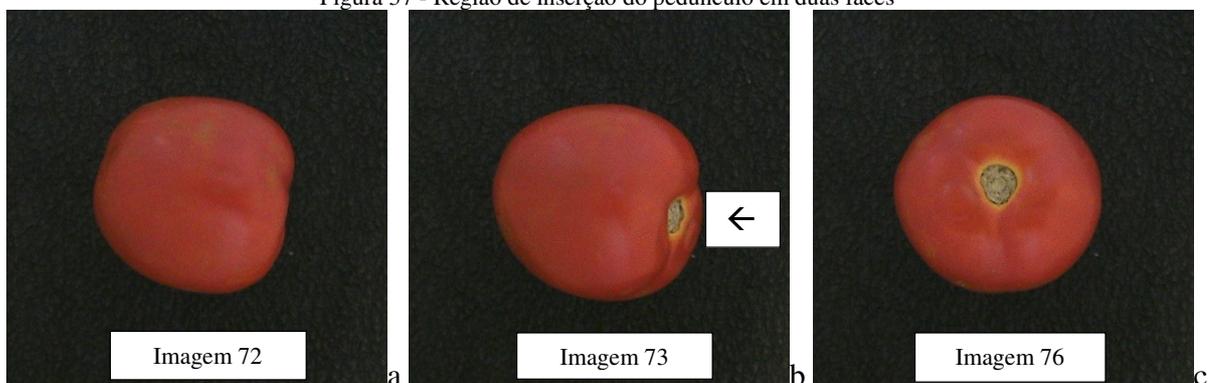
Fonte: Próprio autor

Em razão desta divergência apontada pelo *software ImageJ*, foi realizada uma nova inspeção visual somente das imagens discordantes entre os dois métodos, que haviam sido

adquiridas e armazenadas no programa do *software*. Este procedimento foi necessário uma vez que não se dispunha mais dos corpos de prova do ensaio inicial. Pois os mesmos, foram descartados por se tratarem de produto agrícola perecível e de estarem deteriorados. O resultado da análise, das imagens discordantes, nos tomates, com os números 02, 04, 05, 07, 09, 11, 12, 19, 20 e 21, mostrou que o defeito que fora identificado pela macro, ocorreu devido a uma falha, durante a aquisição da imagem, em razão, da mancha correspondente à região de inserção do pedúnculo, aparecer parcialmente em outras faces além da face 6, foto da base dos tomates.

Esta avaliação pode ser comprovada pela da figura 37, que corresponde três das seis imagens adquiridas do tomate de número 7. Onde na figura 37a, imagem 72, ou seja, a foto 2 do tomate 7 pode se observar como era de se esperar, não aparece a mancha correspondente a região de inserção do pedúnculo. A figura 37c, apresenta uma mancha que corresponde à região de inserção do pedúnculo como previsto, em razão da rotina estabelecida pelo *software*, onde a mancha que representa a região de inserção deveria aparecer somente nas imagens que correspondem a face 6 imagem da base do tomate conforme mostra a foto 76. Portanto não deveria ser caracterizada como um defeito. Porém ocorreu um erro, que permitiu visualizar parcialmente, uma mancha, referente à região de inserção do pedúnculo, que pode ser observado na imagem 73, figura 37b. Este erro foi provocado por um pequeno deslocamento do tomate durante o procedimento de captura da imagem. Esta mancha foi então reconhecida pelo *ImageJ*, como sendo um defeito, uma vez que *software* estava programado para reconhecer em sua rotina de processamento, manchas, referentes a região de inserção do pedúnculo, somente nas imagens, de base dos tomates, correspondente a face 6, para todos os tomates ensaiados. Felizmente este fato permitiu aumentar a confiabilidade na rotina desenvolvida para realizar o processamento de todas a imagens pela macro no *ImageJ*.

Figura 37 - Região de inserção do pedúnculo em duas faces



Fonte: Próprio auto

5. CONCLUSÕES

A metodologia baseada na técnica de processamento de imagens desenvolvida neste trabalho de pesquisa, permitiu a identificação de defeitos superficiais em tomates.

A rotina computacional desenvolvida conseguiu identificar, para a face 6 (base) do tomate a mancha correspondente a região de inserção do pedúnculo.

O levantamento fotográfico dos tomates, a serem identificados em com ou sem defeitos, deve ser feito de forma criteriosa para evitar erros no processamento das imagens.

As áreas manchas, deformadas pela topografia da fruta, podem ser identificadas a partir do seu diâmetro de Feret.

Os resultados deste trabalho demonstraram a viabilidade técnica para que metodologia desenvolvida possa ser aplicada em projetos de máquinas automatizadas, para seleção e classificação de frutas.

Conclui-se que existem divergência em relação às procedimentos e nomenclaturas empregadas no tratamento de imagens, para classificação e seleção de frutas, como o que foi utilizado para esta metodologia que usou o tratamento de diferença de imagens entre as cores azul e vermelha. Alguns autores utilizam a somatória das imagens enquanto que outros utilizam a subtração, sendo que neste estudo os melhores resultados foram obtidos com a diferença de cores imagens.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Aprofundamento da comparação entre as diversas ferramentas do ImageJ para análise de imagens para a obtenção de dados, entre elas: somatória, subtração e diferença de imagens e modelos de cores.

Desenvolver metodologias para melhorar a identificação da região de inserção do pedúnculo, principalmente em imagens dinâmicas geradas a partir de uma esteira em movimento de máquinas classificadoras e selecionadoras de frutas.

O aprimoramento dos algoritmos utilizados no presente trabalho para classificação e caracterização completa de tomates de acordo com a Ceagesp e a integração de todos os atributos de classificação como, cor, forma, tamanho e defeitos em um único algoritmo.

Estudar diversos espectros de iluminação durante a aquisição das imagens, como infra e ultravioleta para perceber danos ainda não visíveis como os da fase inicial dos fungos.

Discutir a atual norma de classificação de tomate da Ceagesp (2003) em função das novas metodologias em desenvolvimento, como por exemplo, análise de imagens digitais por computadores.

A continuidade deste trabalho poderá acrescentar inovações nas análises aplicadas com a técnica de processamento de imagens a serem aplicadas em máquinas para seleção e classificação de frutas, contribuindo assim, para que outras áreas se apropriem desta metodologia e utilizem estes métodos para o desenvolvimento do conhecimento e da ciência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRÀMOFF, Michel D.; MAGALHÃES, Paulo J.; RAM, Sunanda J. **Image processing with ImageJ**. Biophotonics International, 2004. Disponível em: <<http://www.imagescience.org/meijering/publications/download/bio2004.pdf>>. Acesso em: 10/11/2014.

ALMEIDA, Celina, Dal FABBRO, Inácio Maria. **Tomato fruit (*lycopersicon sculentum* Mill) maturity study based on sensorial analysis and instrumented color determination**. 7th International Conference on Information and Communication Technologies in Agriculture, Food and Environment (HAICTA 2015). Disponível em: <http://ceur-s.org/Vol-498/HAICTA_2015_paper68.pdf>. Acesso em: 20/10/2015.

ALVARENGA, Marco Antônio Rezende; COELHO, Fabrício Silva; SOUZA, Rubens Antônio Mandetta. Colheita e pós-colheita. In: ALVARENGA, Marco Antônio Rezende (coord.). **Tomate: produção em campo, casa de vegetação e hidroponia**. 2ª ed. Resista e ampliada. MG, Lavras: Editora Universitária de Lavras, 2013. p. 414-446 (capítulo14).

COMPANHIA DE ENTREPÓSITOS E ARMAZÉNS GERAIS DE SÃO PAULO. **Normas de classificação de tomates: programa brasileiro para modernização da horticultura**. São Paulo, 2003. (CEAGESP – Centro de Qualidade em Horticultura - CQH).

BALBINO, José Mauro de Sousa *et al.* Manejo na colheita e pós-colheita. In: FERRÃO, Liliâm Maria Ventorim (coord. ed.). **Tomate**. Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural do Governo do Estado do Espírito Santo. Vitória, ES: Incaper, 2010. p. 382 – 414. Disponível em: <<http://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/793/1/Livro-Tomate-Incaper.pdf>>. Acesso em: 02 maio 2014.

CASTRO, Larissa Rodrigues de; CORTEZ, Luís Augusto Barbosa; JORGE, José Tadeu. **Influência da embalagem no desenvolvimento de injúrias mecânicas em tomates**. Ciências e Tecnologia de Alimentos, Campinas, 21(1): 26-33, jan.-abr. 2001 Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cta/v21n1/5359.pdf>> Acesso em: 25 abr. 2014.

DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL. **Olericultura: Análise da conjuntura agropecuária**. Paraná: DERAL, 2013. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/olericultura_2013_14.pdf>. Acesso em: 10/12/2014.

DIAS, Gláucia Moraes *et al.* **Uso de imagens digitais na classificação de flores de corte**. Revista Brasileira de Horticultura Ornamental, V. 16, N°2, 2010, p. 123-126. Disponível em: <<http://132.248.9.34/hevila/Revistabrasileiradehorticulturaornamental/2010/vol16/no2/1.pdf>> Acesso em 10/12/2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultivo de tomate para industrialização**. Brasília: DF, Embrapa Hortaliças, 2006. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial_2ed/doenças.htm>. Acesso em 10/01/2015. Sistemas de Produção, 2ª Edição.

_____. **A cultura do tomateiro (para mesa)**. Centro Nacional de Pesquisas Hortaliças. Brasília: SPI, 1993.

FERREIRA, Marcos David *et al.* **Pontos críticos de impacto em linhas de beneficiamento utilizadas para citros no Estado de São Paulo**. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal - SP, v. 28, n. 3, p. 523-525, dezembro 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbf/v28n3/41.pdf>>. Acesso em 10/01/2015.

FILGUEIRA, Fernando Antônio Reis. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000.

FRACAROLLI, Juliana Aparecida. **Levantamento das coordenadas espaciais de corpos vegetais associado ao mapeamento de bioatividade e cor**. Originalmente apresentada como tese de doutorado, Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, 2014.

GOMES FILHO, Aroldo *et al.* **Validação do método das notas para quantificação da incidência da mancha fisiológica do mamão através do uso de imagens digitais**. Revista Brasileira de Fruticultura. Jaboticabal - SP, v. 28, n. 3, p. 365-368, dezembro 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbf/v28n3/07.pdf>>. Acesso em: 05/01/2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/>>. Acesso em: 2 jun. 2015.

KHATCHATOURIAN, Oleg; PADILHA, Fábio R. R. **Reconhecimento de variedades de soja por meio do processamento de imagens digitais usando redes neurais artificiais**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.28, n.4, p.759-769, out./dez. 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v28n4/16.pdf>> Acesso em: 10 jan. 2015.

KHOJASTEHNZHAND, Mostafa; OMID, Mahmoud; TABATABAEFFAR, Ahmad. **Determination of orange volume and surface area using image processing technique**. Journal International Agrophysics, 2009, 23, 237-242. Disponível em: <http://www.researchgate.net/profile/Mahmoud_Omid2/publication/236484168_Determination_of_orange_volume_and_surface_area_using_image_processing_technique/links/0deec51c14fb4b6521000000.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2015.

LANA, Milza Moreira; TIJSKENS, L. M. M.; VAN KOOTEN, O. **Modelling RGB colour aspects and translucency of fresh-cut tomatoes**. Postharvest Biology and Technology, v. 40, n. 1, p. 15–25, abr. 2006a.

_____. **Effects of storage temperature and stage of ripening on RGB colour aspects of fresh-cut tomato pericarp using video image analysis.** *Journal of Food Engineering*, v. 77, n. 4, p. 871–879, dez. 2006b. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877405005662>>. Acesso em: 12 dez. 2014.

LEE, W. S.; SLAUGHTER, D. C.; GILES, D. K. **Robotic weed control system for tomatoes.** *Precision Agriculture*, v. 1, n. 1, p. 95–113, 1999.

LINO, Antônio Carlos Loureiro *et al.* **Determinação do volume de tomate através de silhueta.** *Horticultura Brasileira* 30: S7536-S7543, 2012. Disponível em: <http://www.abhorticultura.com.br/eventos/trabalhos/ev_6/A5306_T7797_Comp.pdf> *Horticultura brasileira*, v. 30, n. 2, (Suplemento - CD Rom), julho 2012. Acesso em: 12 jan. 2015.

_____; SANCHES, Juliana; DAL FABBRO, Inácio Maria. **Image processing techniques for lemons and tomatoes classification.** *Bragantia*, Campinas, v. 67, n. 3, p.785-789, 29 fev. 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/brag/v67n3/a29v67n3.pdf>> Acesso em: 17 maio 2014.

_____; DAL FABBRO, Inácio Maria. **Determinação da topografia de uma fruta pelas técnicas de *moiré* de sombra com multiplicação de franjas.** *Revista Ciência Agrotécnica*. Lavras, v. 28, p. 119-125, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cagro/v28n1/a16.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2015.

LUPETTI, Karina Omuro *et al.* **Análise de imagem em química analítica: empregando metodologias simples e didáticas para entender e prevenir o escurecimento de tecidos vegetais.** *Química Nova*, Vol. 28, No. 3, 548-554, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v28n3/24150.pdf>>. Acesso em: 27 jan. 2015.

MELO, Paulo César Tavares de. **Panorama da agroindústria do tomate no Brasil e no mundo.** In: Congresso Brasileiro de Tomate Industrial, 6, 2012, Goiania. Anais..., 2012. Disponível em: <<http://www.congressotomate.com.br/2012/palestras/28-11-12/Palestra-de-Abertura/Paulo-Cesar-Tavares-de-Melo.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2015.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Portaria SARC n° 009 de 12 de setembro de 2002. **Regulamento técnico de identidade e qualidade para classificação do tomate.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, BRASIL. set., 2002.

MOHSENIN, N.N. **Physical properties of plants and animal materials: structure, physical characteristics and mechanical properties.** 2^a ed. New York: Gordon and Breach, 1986.

MORETTI, C. L. **Injúria interna de impacto em fruta de tomate: fisiologia e conservação pós colheita.** 1998. Originalmente apresentada como tese de doutorado, Universidade Federal de Viçosa, 1998.

PERALTA, I. E.; KNAPP, S.; SPOONER, D. M. **New species of wild tomatoes (*Solanum* section *Lycopersicon*: *Solanaceae*) from northern Peru.** Systematic Botany, v.30, n.2, p.424-434, 2005. Disponível em: <<http://www.vcru.wisc.edu/spoonerlab/pdf/Tomato%20new%20species%20Peru.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2014.

SCHWARZ, Ligia Loss *et al.* **Identificação de pontos críticos através da mensuração de impactos e compressão no beneficiamento de laranjas em casas de embalagem.** XX Salão de Iniciação Científica UFRGS. Livro de Resumos. Porto Alegre, pg. 106, 2008. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/34209>. Acesso em: 10/10/2014.

SENA JÚNIOR, Darly G. de; PINTO, Francisco de A. de C.; QUEIROZ, Daniel M. de; MANTOVANI, Evandro C. **Algoritmo para classificação de plantas de milho atacadas pela lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*, Smith) em imagens digitais.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.5, n.3, p.502-509, 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v5n3/v5n3a23.pdf>>. Acesso 20 out. 2014.

SIMÕES, Alexandre da Silva; COSTA, Anna Helena Reali. **Classificação de laranjas baseada em padrões visuais. In: 6º Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (SBAI).** Sociedade Brasileira de Automática. Bauru, setembro 4-17, pp. 77-81, 2003. Disponível em: <<http://www2.sorocaba.unesp.br/professor/assimoes/publicacoes/sbai2003.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2014.

TIJSKENS, L. M. M.; EVELO, R. G. **Modelling colour of tomatoes during postharvest storage.** Postharvest Biology and Technology, p. 85-98, 1994.

WORLD PROCESSING TOMATO COUNCIL. **World production estimate of tomatoes for processing.** 15 Oct. 2015. Disponível em: <http://www.wptc.to/pdf/releases/WPTC%20World%20Production%20estimate%20as%20of%202015%20October%202015.pdf> Acesso em: 10 nov. 2015. WPTC, France.