

Detecção e classificação de fungos em laranjas pós-colheita por meio de processamento digital de imagens

Wesley Pecoraro¹, L. A. C. Jorge^{1,2}, D. M. L. Barbato¹, Jean-Jacques De Groote¹
Faculdades COC de Ribeirão Preto¹

EMBRAPA² (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) São Carlos – SP
wesleycoc@gmail.com, lacjorge@gmail.com, danijsbs@gmail.com, jean_groote@yahoo.com.br

Resumo

Considerando que o Brasil é o maior exportador e produtor de laranjas do mundo, e a grande procura por alimentos de boa qualidade cultivados sem utilização de agrotóxicos, foi desenvolvido um sistema baseado em técnicas de processamento digital de imagens e redes neurais artificiais com o objetivo de automatizar a detecção e classificação dos padrões de crescimento dos fungos em laranjas presentes na pós-colheita. Atualmente o processo é manual, sendo realizado por inspetores de qualidade através da visualização humana o que pode acarretar em falhas. O software como principal objetivo do projeto foi desenvolvido com o intuito de analisar as imagens após aplicação da técnica LBIM (Luz Branca Intensa Modulada) desenvolvida pela EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) para retardar e/ou inibir a evolução do patógeno. Os resultados obtidos com a aplicação do software em imagens dos frutos contaminados mostraram que esse sistema poderá ser utilizado na linha de produção pós-colheita visando a esterilização dos frutos, evitando que o crescimento dos fungos afete a produção.

luminosa modulada, além de inibir certos patógenos, também tem como característica o aquecimento controlado da superfície e das subcamadas do fruto. Com a utilização desse processo, evita-se a necessidade de um banho térmico e, conseqüentemente, o desperdício de energia elétrica e recursos naturais que seriam utilizados para o aquecimento da água. Ainda assim, o processo serviria apenas para a retirada de algumas sujidades, em especial, advindas da colheita e do transporte.

A utilização de sistemas especialistas na área de Diagnósticos em geral na agricultura já vem sendo explorada em vários trabalhos como citados em [3 a 5]. Em [6] foram medidas alterações de cor devido à maturação de tomates, já em [7] foram analisadas imagens multispectrais.

Neste trabalho foi desenvolvido um software para caracterização da contaminação do fruto por meio do cálculo da dimensão fractal dos fungos, segmentados da imagem digital por meio de técnicas de inteligência artificial. Após o fruto ser submetido à técnica LBIM, o processo permitirá a caracterização e classificação do crescimento de fungos em um determinado período de tempo, o que possibilitará maior precisão para a detecção do mesmo, rapidez na separação do fruto contaminado em relação aos saudáveis e descontaminação da fruta.

1. Introdução

O Brasil é o maior exportador de laranjas do mundo, correspondendo a cerca de 80% do mercado mundial. Considerando esse fato, e o crescimento do número de consumidores que buscam frutos isentos de agrotóxicos, estão sendo analisadas alternativas para que haja uma melhora na qualidade do fruto sem que se comprometa a saúde das pessoas, o meio ambiente e o próprio fruto.

Existem várias técnicas para a eliminação de microorganismos (fungos) presentes em cítrus, podendo algumas delas trazer riscos de contaminação alimentar [1].

Geralmente, os tratamentos são baseados em princípios químicos e físicos, causando grande exposição da fruta a resíduos e radiações. Para diminuir esse risco, a EMBRAPA desenvolveu um sistema chamado LBIM (Luz Intensa Branca Modulada) [2], que inibe o crescimento do fungo através de luz pulsante. A energia

2. Metodologia

O projeto ocorreu em quatro etapas, sendo que para detectar a presença dos fungos, foram utilizadas técnicas de PDI (Processamento Digital de Imagem) [8] e RNA (Redes Neurais Artificiais). Como base para os testes foram utilizadas imagens digitais dos frutos contaminados e, posteriormente, foram implementados algoritmos para detectar e calcular a dimensão fractal dos fungos

O desenvolvimento do software foi feito em linguagem de programação Object Pascal por meio da IDE Delphi 7, da empresa Borland.

3. Desenvolvimento

As técnicas de binarização, *Box Counting* e Redes Neurais Artificiais foram utilizadas no projeto.

Esta pesquisa foi desenvolvida em quatro etapas: Aquisição das imagens, binarização, Redes Neurais Artificiais e Dimensão Fractal.

-Aquisição das imagens: As imagens foram adquiridas com a resolução 1600 x 1200 pixels na função macro de uma câmera Canon S5IS 8.1 Megapixel colocada a distância de 40cm com relação ao fruto. A cor preta foi escolhida como fundo da imagem com o intuito de aumentar a eficiência do processo de binarização. A Fig.1 representa o treinamento da rede com o fundo preto.

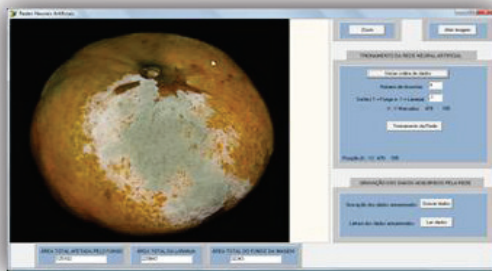


Figura 1: Imagem da laranja com o fundo preto.

- Binarização: Esta etapa consiste em tornar a imagem binária com os tons branco e preto de acordo com um determinado limiar de corte. O limiar escolhido após testes foi 128 numa escala de 0 (preto) a 255 (branco). Os pixels brancos representam os fungos e os pixels pretos a laranja. Este processo depende da participação do usuário do aplicativo, de modo que, embora preciso, não é prático. No entanto, os resultados obtidos serão utilizados como referência no estabelecimento da precisão do processo automático descrito a seguir, baseado em inteligência artificial.

-Redes Neurais Artificiais: Uma rede neural artificial pode ser treinada para executar tarefas como classificação e identificação de padrões. Durante o treinamento são apresentados à rede um conjunto de padrões que se deseja classificar. A generalização mede a capacidade de classificar um padrão que não pertence ao conjunto de treinamento [9 a 11]. Neste trabalho foi treinada uma rede neural do tipo Perceptron com o objetivo de identificar na imagem da laranja a parte que contém o fungo. Assim o conjunto de treinamento é composto por imagens da laranja e imagens do fungo. A estrutura dos padrões consiste em uma grade quadrada de 3x3 pixels. Para cada pixel foram atribuídos três valores, um para cada componente de cor RGB. Portanto os padrões de

entrada são compostos por 27 bits. A performance da rede na classificação do fungo pode ser observada na Fig.2, após treinamento obtido a partir da Fig.1.

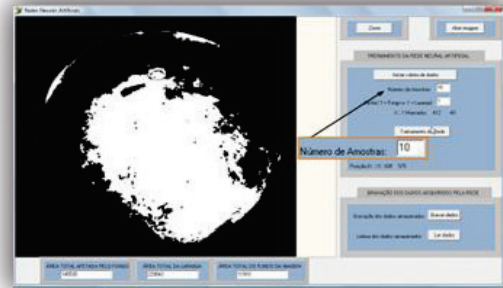


Figura 2: Reconhecimento do fungo por meio da Rede Neural Artificial após treinamento.

Verificamos que a classificação dos fungos por este método coincide com a obtida pelo processo de binarização. Isto pode ser atribuído ao fato de existir um grande contraste entre a laranja e o fungo.

- Dimensão Fractal: A dimensão fractal representa o nível de irregularidade de uma forma não definida, quando comparada à geometria euclidiana. Neste trabalho a dimensão fractal foi obtida através da aplicação do método de *Box Counting*.

O método consiste na construção de um quadrado sobre a figura. Este quadrado é dividido em (E) partes iguais formando uma grade (Fig.3).

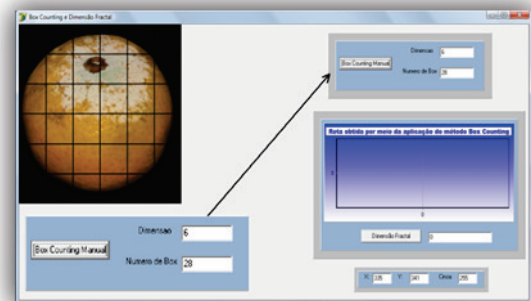


Figura 3: Implementação do método Box Counting.

Conta-se o número (N) de pixels brancos que estão no interior de cada quadrado da grade. Em seguida cada quadrado é dividido novamente em (E) partes iguais e o número de pixels brancos em cada quadrado é contado. A dimensão fractal é definida por $D = \log(N)/\log(E)$ [12 a 13]. Este processo foi repetido para $E = 4$ a 32. Assim, elaborando-se uma representação gráfica com $\log(E)$ no eixo X e $\log(N)$ no eixo Y , obtém-se uma reta cujo coeficiente angular é a dimensão fractal do fungo (Fig.4).

Este valor está associado a forma de crescimento do fungos.

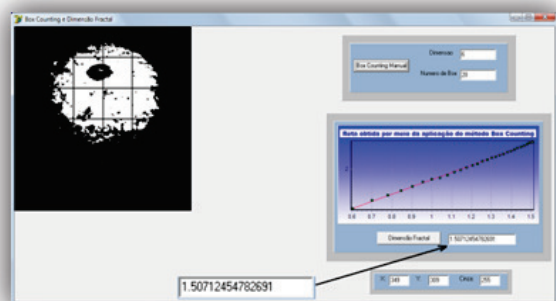


Figura 4: Determinação da dimensão fractal do *Penicillium spp.*

4. Resultados

Com a implementação do software foi possível determinar os seguintes resultados:

Área afetada pelo fungo: Foi possível determinar a área dos fungos em valores expressos em pixels.

Para o projeto a precisão dos valores é aceitável, sendo que foram considerados para imagens em 2D. Em contrapartida, para que ocorra o mínimo de imprecisão possível, seria necessário o cálculo da área dos fungos em 3D, devido a forma geométrica da laranja.

Dimensão fractal: Para analisar o crescimento do patógeno *Penicillium spp* na superfície da laranja, foi realizada uma análise da distribuição do fungo na laranja, tendo sido obtido a Dimensão Fractal 1.685 (Fig. 5).

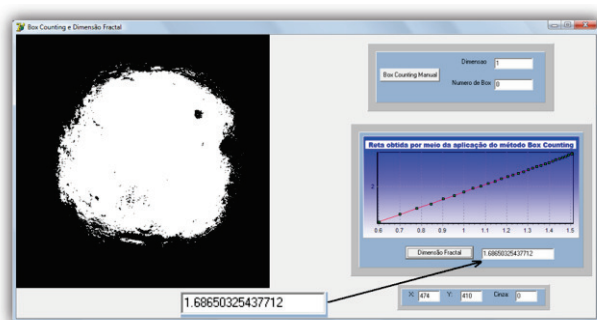


Figura 5: Detecção da Dimensão Fractal.

Características morfológicas: Com a análise da dimensão fractal é possível determinar a forma de crescimento dos fungos e classificá-los conforme sua morfologia.

A comparação dos valores obtidos através do software com os valores teóricos da curva de Koch, Ilha de Minkowski e Curva de Von Koch foi utilizada para

garantir a precisão do algoritmo implementado para o box-counting.

Com relação à precisão da rede neural artificial verificou-se que os resultados são compatíveis com aqueles obtidos por meio da escolha manual de um limiar. não é necessária uma grande quantidade de pontos de entradas para a rede neural devido a grande diferença de contraste de tons entre o fungo e a laranja.

Detecção do patógeno: Com a utilização da Rede Neural Artificial foi possível identificar o fungo em qualquer imagem desconhecida a rede, tornando o processo automático.

Após a obtenção dos resultados computados, a inspeção de qualidade pode adquirir uma melhor precisão na separação dos frutos, bem como rapidez e economia de recursos naturais quando comparadas aos processos existentes.

5. Conclusão

Neste trabalho foi desenvolvido um software com base nas técnicas de Processamento Digital de Imagens e Redes Neurais Artificiais, que auxilia a detecção e classificação dos fungos em laranjas pós-colheita.

Foram obtidos descritores de característica e cor baseados respectivamente em dimensão fractal e Redes Neurais Artificiais (segmentação) para classificação e detecção de fungos *Penicillium spp* em laranjas pós-colheita.

Para segmentar o fungo foi utilizado binarização com limiar de corte definido, e binarização por Rede Neural. Os resultados foram compatíveis permitindo que o procedimento fosse automatizado utilizando apenas Redes Neurais.

A análise dos gráficos e tabelas obtidos através dos vários testes com as imagens das amostras de laranjas contaminadas mostrou bons resultados quando aplicados à detecção e caracterização morfológica dos fungos. Nos experimentos com imagens de dimensão euclidiana e fractal pré-definidas, o software teve uma precisão de 100% e 99.02% respectivamente, indicando eficácia.

Com base nos testes efetuados durante o projeto, conclui-se que o software permite a identificação dos padrões de crescimento dos fungos. Através da realização de testes com um número maior de amostras e da adaptação do programa para tal aplicação, será possível agregá-lo junto aos equipamentos de linha de produção pós-colheita. Isso faz com que se proporcione um progresso significativo na inspeção de qualidade, gerando melhorias para os citricultores e para os consumidores finais.

6. Agradecimentos

O trabalho contou com o apoio do projeto “Desenvolvimentos da instrumentação computadorizada para a metodologia de descontaminação por Luz Branca Intensa Modulada (LBIM) e da avaliação por imagem digital aplicada ao controle de *Penicillium spp* em laranja pós-colheita.” da EMBRAPA.

O projeto está em fase de testes na EMBRAPA São Carlos-SP em parceria com o Instituto Tecnológico de Alimentos (ITAL) em Campinas-SP.

7. Referências

- [1] FISCHER, I. H.; LOURENÇO S. A.; AMORIM, L. Doenças Pós-Colheita em Citros e Caracterização da População Fúngica Ambiental no Mercado Atacadista de São Paulo, Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Bauru, SP e Departamento de Entomologia, Fitopatologia e Zoologia Agrícola (USP), São Paulo, SP, 2008. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S198256762008000300007&lng=pt&nrm=iso. Acessado em: 15/04/2009.
- [2] ARIANA, D.; Daniel E. G.; Bim S. Integrating multispectral reflectance and fluorescence imaging for defect detection on apples, Michigan State University, USA, 2005. Disponível em: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6T5M-4HTBKRV-2&_user=10&_coverDate=02%2F28%2F2006&_alid=933562826&_rdoc=7&_fmt=high&_orig=search&_cdi=5006&_sort=d&_docanchor=&view=c&_ct=10&_acct=C00050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=56d61209150c78516cb8836919dd1456. Acessado em: 04/05/2009.
- [3] TURTOI, M. Nicolau, A. Intense light pulse treatment as alternative method for mould spores destruction on paper-polyethylene packaging material. Disponível em: http://www.aseanfood.info/scripts/count_article.asp?Article_code=11019785, Acessado em : 01/03/2009.
- [4] DURKIN J. 1994. Expert Systems: Design and Development. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, Inc. 800 p.
- [5] HUBER, U.G.; DOLUSCHITZ, R. 1990. An overview of expert systems in agriculture. Bonn: ILB. 16p.
- [6] YIALOURIS C. P., 2002. A diagnostic expert system for honeybee pests. Computers and Electronics in Agriculture, v. 36, pp. 17-31.
- [7] LANA M.M.; TIJSKENS L.M.M.; THEIJE A.; HOGENKAM M.; KOOTEN O. VAN. Assessment of changes in optical properties of fresh-cut tomato using video image analysis, 2006. Disponível em: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TBJ-4KJ0SMN-1&_user=10&_coverDate=09%2F30%2F2006&_alid=933563396&_rdoc=58&_fmt=high&_orig=search&_cdi=5144&_docanchor=&view=c&_ct=166&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=e91cf962131c1fcd18801acf65985c79. Acessado em: 04/05/2009.
- [8] GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. Processamento de Imagens Digitais. SP: Edgard Blucher, 2000. GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. Digital Image Processing. SP: Prentice-Hall, 2002.
- [9] Zsolt L. Kovacs. Redes Neurais Artificiais: Fundamentos e Aplicações, Livraria da Física, 2006.
- [10] S. A. ITO.; T. G. SERRA. Uma aplicação de Redes Neurais Artificiais UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, RS, 1998. Disponível em: <http://www.inf.ufgrs.br/procpar/disc/cmp135/trabs/sergio/trab2/geo.html>, Acessado em: 05/05/2009.
- [11] SELLITTO, M. A. Inteligência Artificial: Uma Aplicação em uma Indústria de Processo Contínuo, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), RS, 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/gp/v9n3/14574.pdf>. Acessado em: 01/06/2009.
- [12] José Cledes Braga. Fractais, UNIVERSIDADE ESTADUAL VALE DO ACARAÚ, Ceará, 2007.
- [13] Backes A. R.; Bruno O. M. Técnicas de Estimativa da Dimensão Fractal: Um Estudo Comparativo, Universidade de São Paulo (USP), 2006. Disponível em: www.dcc.ufpa.br/infocomp/artigos/v4.3/art07.pdf acessado em: 25/05/2009.