

Caracterização da atividade biológica usando análise de textura em speckles

Lucena, David Jones Ferreira de
Igaci, Brasil
davidjones162@gmail.com

Silva, Jefferson Ferreira da
Grupo de Óptica Não Linear
Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
Campus Arapiraca
Arapiraca, Brasil
jefferson.physics@gmail.com

Oliveira, Marcelo Costa
Laboratório de Telemedicina e
Informática Médica (LaTIM)
Instituto de Computação
Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
Maceió, Brasil
oliveiramc@gmail.com

Lima, Emerson de
Grupo de Óptica Não Linear
Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
Campus Arapiraca
Arapiraca, Brasil
emerson.fis.ara@gmail.com

Resumo—A utilização de técnicas de processamento de imagens digitais para captura de informações sobre texturas são bem conhecidas e altamente fundamentadas pela literatura. A utilização de algumas destas técnicas no processamento de speckles tem crescido cada vez mais, embora seja ainda uma aplicação nova e nem todas as suas possibilidades de uso foram descritas. O desenvolvimento de uma ferramenta que possibilite estudos neste campo de pesquisa tem por principal objetivo auxiliar os pesquisadores a fim de oferecer-lhes suporte às pesquisas. Este trabalho teve como foco satisfazer essa necessidade. Com esta ferramenta espera-se que as pesquisas, principalmente no tocante à correlação entre atividade biológica da matéria e os descritores de textura de segunda ordem, sejam alavancadas.

Keywords—Speckle, Matriz de Co-Ocorrências, descritores de textura.

Abstract—The use of techniques of digital image processing to capture information about textures are well known and highly substantiated by the literature. The use of some of these techniques for processing speckles have grown more and more, but is still a new and not all the possibilities of use are described. The development of a tool that enables studies in this field of research is primarily intended to assist researchers in order to offer them support to research. This work focused on meeting that need. With this tool it is expected that research, especially regarding the correlation between biological activity of the substance and texture descriptors of second order, are leveraged.

Keywords—Speckle, Co-Occurrence Matrix, texture descriptors.

I. INTRODUÇÃO

A década de 60 foi marcada por uma revolução científica e tecnológica com o advento da descoberta do fenômeno laser [1]. Desde então, o laser tem tido uma importância considerável e sido amplamente utilizado pelos pesquisadores em várias áreas do conhecimento. Os estudos utilizando laser têm se intensificado rapidamente e uma das suas aplicações que mostra grande potencial está voltada para a caracterização

de materiais. Para tal, uma técnica que vem sendo utilizada é a técnica de speckle, em que, através do processamento da imagem resultante da incidência do laser no material em estudo podem ser extraídos atributos que quantificam e definem o speckle [2].

A interferência oriunda da interação de um feixe de luz laser sobre superfícies rugosas proporciona uma aparência granular na imagem formada pelo feixe refletido. De acordo com o princípio de Huygens, quando um raio de luz atinge uma superfície, cada ponto desta atua como um emissor de ondículas secundárias [3].

No caso em que tal superfície é opticamente rugosa, com os centros espalhadores distribuídos ao acaso, estas ondículas são espalhadas com fases iniciais variando aleatoriamente. Os caminhos ópticos percorridos por estas frentes de onda são distintos para cada ponto do plano de observação e a superposição coerente dessas ondas dá origem a um padrão de interferência cujas intensidades também variam ao acaso.

É nos pontos de interferência construtiva ou destrutiva que ocorre a formação de grãos claros e escuros, respectivamente [3]. Esta variação nas intensidades de brilho é uma consequência direta da interferência sofrida pela luz laser durante o processo de incidência-reflexão. A coerência espacial da luz laser em uma superfície difusa dá origem a um padrão de interferência estacionária. Esse padrão é conhecido como speckle. Esta característica é devida ao fato de, na escala microscópica, grande parte das superfícies serem extremamente rugosas [3].

Caso os centros espalhadores estejam em movimento, o speckle também se modifica, evolui no tempo, em outras palavras, as intensidades dos pixels da imagem variam, e o speckle resultante da captura deste comportamento recebe o nome de speckle dinâmico, em um caso particular, se os centros espalhadores forem de origem biológica, o speckle é

denominado biospeckle. Quanto maior a movimentação dos centros espalhadores, mais o padrão será modificado em um determinado intervalo de tempo e vice-versa.

A avaliação da variação nos pixels da imagem pode ser feita por meio de uma técnica bastante útil conhecida como THSP (Time History Speckle Pattern). Esta foi proposta por Xu et al. [4] como uma técnica para medir a variação temporal do speckle de espécimes botânicos. Como resultado desta técnica, obtém-se uma figura bidimensional que carrega informações espaciais e temporais das intensidades dos pixels.

A THSP é uma técnica que permite a análise estatística da imagem através do cálculo dos descritores de segunda ordem. Bergkvist [5] destaca que muitos métodos têm sido utilizados para medir a atividade em materiais, mas a maioria deles têm limites que tornam difícil a obtenção de uma descrição precisa do objeto. Isso faz com que o speckle variante no tempo seja uma alternativa, uma vez que já foi usado para estudar uma variedade de objetos que se movimentam de forma aleatória [6]. Como o padrão de speckle muda de forma aleatória, ou seja, as linhas mudam aleatoriamente, com isso usa-se apenas uma linha deste, de forma que estatisticamente seja possível caracterizar todo a movimentação.

Imagens de objetos reais muitas vezes não exibem regiões de intensidade uniforme. Por exemplo, a imagem de superfície de madeira não é uniforme, mas contém variações de intensidades que formam certas repetições, chamadas de textura visual, que servem de pista para identificação do tipo de material. O padrão pode ser resultado das propriedades da superfície física como rugosidade ou orientação das linhas que, muitas vezes, têm qualidades táteis, ou pode ser resultado de diferentes reflectâncias como a cor na superfície [7].

O ser humano é capaz de perceber facilmente uma textura ao vê-la, mas é muito difícil defini-la. Isso pode ser comprovado pelo fato de haver diferentes definições elaboradas por pesquisadores de diversas áreas de pesquisa. Stein [9] montou um catálogo com diferentes definições de textura em visão computacional. Este conjunto de definições demonstram que a definição de textura é formulada por diferentes pessoas dependendo da sua aplicação particular e que não há um consenso sobre uma definição genérica e única. Contudo, em pelo menos dois pontos os pesquisadores concordam [9]:

- Textura é uma propriedade homogênea em alguma escala espacial maior que a definição da imagem;
- Existe uma variação entre pixels vizinhos, ou seja, uma não homogeneidade dos níveis de cinza ou tons de cor;

Embora não seja fácil definir textura, pode-se considerar a THSP como uma pois, podem ser observados padrões na distribuição dos pixels que a compõe, isso ocorre devido à disposição dos centros espalhadores que formam o material analisado. A textura é uma característica extensamente estudada nas áreas de visão de máquina [10], reconhecimento de padrões e classificação de imagens [11]. Haralick [12] mostrou a importância da textura na caracterização da superfície de um objeto aplicada à análise de imagens médicas, satélite, aéreas e entre outras aplicações. Os atributos extraídos da textura descrevem-na.

Sobre a THSP o algoritmo aplica a técnica MCO (Matriz de Co-Ocorrências), que é uma tabulação de quantas combinações diferentes de valores de intensidade dos pixels (níveis de cinza) ocorrem em uma imagem. O principal uso da MCO é caracterizar texturas em uma imagem através de um conjunto de estatísticas para as ocorrências de cada nível de cinza em pixels diferentes ao longo de diferentes direções e distâncias. As MCOs são ferramentas para a classificação de imagens [13].

A matriz é construída com base no relacionamento entre pixels de uma vizinhança com uma determinada distância. Tem um funcionamento análogo ao de um contador de ocorrências. Ela pode ser definida como uma função do tipo $P(i, j, d, \theta)$. Onde i e j são pixels vizinhos a uma distância d com relação a um ângulo θ . Ela tem ordem $n \times n$, onde n é o número de níveis de cinza da imagem. Dessa forma, a MCO (obrigatoriamente quadrada), representa em cada elemento a_{ij} o número de vezes que ocorreu uma transição do nível de cinza Z_i para Z_j considerando a distância d entre os pixels vizinhos i e j na direção θ , veja a Equação 1.

$$MCO_{[i,j]} = N_{i,j} \quad (1)$$

Após definir a MCO é feita a normalização da mesma. A normalização é feita através da divisão do valor de cada célula da matriz pelo somatório dos valores contidos nas células da matriz.

De acordo com Vasconcelos [13] para se chegar a forma normalizada da MCO é necessário dividir cada elemento pelo somatório de todos os elementos da matriz, ou seja, a MCO é dada pela matriz quadrada de probabilidade $P_{i,j}$, onde cada elemento (i, j) representa a probabilidade de um certo valor aparecer na matriz, sendo então calculado pela equação 2. Após isso, são calculados os descritores de textura.

$$MCON_{[i,j]} = \frac{MCO_{[i,j]}}{\sum_{i,j=0}^{N-1} (MCO_{[i,j]})} \quad (2)$$

Em que:

- i é o número da linha e j o número da coluna;
- MCO é o conteúdo da célula (i, j) ;
- $P_{[i,j]}$ é a probabilidade da célula (i, j) ;
- N é o número de linhas ou colunas, uma vez que a MCO é uma matriz quadrada.

A literatura mostra que o MI (Momento de Inércia), que é um descritor correlacionado com o dinamismo impresso nas imagens do speckle [14], pode ser correlacionado com a atividade biológica. No entanto, não constam menções à correlação dos outros descritores de textura com a atividade biológica, ou mesmo, com qualquer outra propriedade biológica do material em evidência nos estudos.

O biospeckle vem sendo utilizado em um grande número de trabalhos. Braga Júnior et al. [15] utilizaram a técnica de biospeckle para detecção de fungos em feijão. Rabelo et

al. [16] mostram a aplicação da técnica biospeckle na avaliação da qualidade de laranjas. Em quanto Batista[14] mostrou a utilização do descritor de textura MI para avaliar a umidade e determinar o nível limite de teor de água que as sementes devem possuir.

Nascimento et al. [17] fazem a análise da semente do feijão utilizando a técnica, enquanto Costa et al. [6] avaliaram o sêmen bovino para a identificação de grupos com baixa, média e alta atividade biológica. Moreira et al. [18], identificaram de áreas na semente com diferentes níveis de atividade metabólica.

Contribuição: Este artigo descreve uma ferramenta de software desenvolvida para calcular os descritores de textura de segunda ordem da THSP e, com base nos resultados obtidos através dos experimentos, possibilitar e dar suporte aos estudos que visem encontrar correlações entre os descritores de textura e as propriedades inerentes ao material estudado.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

Com o intuito de desenvolver esta aplicação, começamos o processo com a construção de uma aparato, veja a Fig. 1, para a captura das imagens (speckles). Para possibilitar o processamento das imagens obtidas com o aparato foi desenvolvido um algoritmo. Para tal foi escolhida a linguagem de programação JAVA 6 com o compilador na versão Java (TM) SE Runtime Environment (build 1.6.021-b06) e o ambiente de desenvolvimento Eclipse SDK Helios versão 3.6.1. Em seguida foi desenvolvido um outro algoritmo que calcula a MCON (Matriz de Co-Ocorrências Normalizada) e a partir desta obtemos os descritores de textura. Quanto aos algoritmos de construção da THSP, MCO e do cálculo dos descritores, foram utilizados os trabalhos citados anteriormente na Seção I.

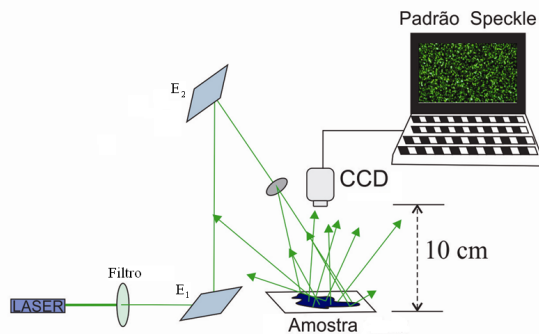


Figura 1. Figura que ilustra o aparato utilizado para captura dos speckles. A luz laser é emitida e passa por um filtro (Apenas para diminuir a intensidade di feixe) e, em seguida, é refletida pelos espelhos E_1 e E_2 para que incida sobre a amostra. Ao incidir sobre a amostra a luz se espalha e a câmera CCD (Couple Charger Display) captura os feixes refletidos. Até que os dados da CCD chega ao computador onde é feita a conversão em imagem digital.

III. IMPLEMENTAÇÃO

O fluxo de trabalho da ferramenta de software segue a seguinte estratégia: o procedimento se inicia com a captura de uma sequência de speckles com intervalos de um segundo.

Após a captura, executou-se o software selecionando-se uma linha dentre as que formam o eixo Y da matriz de pixels que formam a imagem (qualquer linha pode ser selecionada, mas se deve atentar que o valor pode varia de acordo com a linha escolhida. Isso se dá porque cada linha carrega informações de uma determinada região da superfície da amostra e as regiões por mais próximas que sejam, ainda assim, podem ter modificações nos padrões de maneira e influenciadas por razões diversas pois, o que determina o ângulo de reflexão do feixe de luz são os centros espalhadores da superfície). São coletados todos os pixels, do eixo X, da linha selecionada, do eixo Y, de cada imagem para ser copiada e colada em uma nova imagem. Os speckles que servem de base para coleta estão em ordem temporal e a primeira linha coletada é da primeira imagem capturada, a segunda linha é da segunda imagem e assim sucessivamente. A Fig. 2 mostra um esquema do processo de construção da THSP.

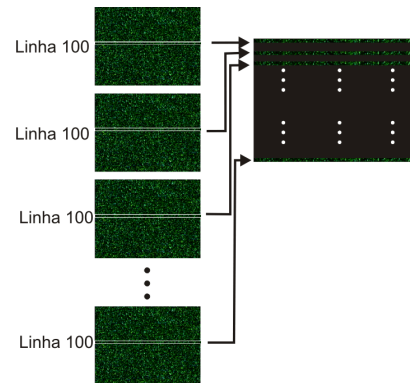
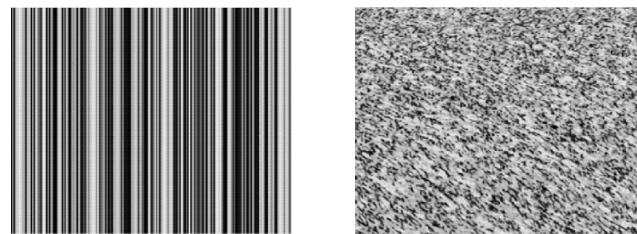


Figura 2. Representação da construção de uma THSP exemplar, tendo como linha selecionada a número 100.

A imagem resultante deste procedimento representa as linhas de pixels ao longo do tempo, veja a Fig. 3(a) que é uma THSP dita estática, onde não se tem movimentação no padrão, e na Fig. 3(b) temos uma matriz dita dinâmica, onde se tem muita movimentação no padrão.



(a) THSP oriunda de um material estático (b) THSP oriunda de um material dinâmico

Figura 3. Histórico Temporal do Padrão Speckle (Time History Speckle Pattern)

O passo seguinte é calcular a *MCO* a partir da THSP e fazer a sua normalização (o que resulta em uma MCON). Feita a normalização, a ferramenta calcula os descritores de textura. Os descritores calculados estão definidos e formal-

izados matematicamente em Oliveira [19] e são eles: energia (mede a homogeneidade ou uniformidade da textura e resulta em maiores valores quando as intensidade são uniformes), entropia (é a medida do grau de dispersão de ocorrências de níveis de cinza em uma imagem, quanto mais os pixels estiverem distantes da diagonal principal maior será o seu valor), Momento de Diferença Inverso (MDI), considera a concentração das ocorrências de níveis de cinza na diagonal da *MCO*.

Este descritor apresenta valores maiores se P tiver pequenos valores na diagonal principal), proeminência (resulta em altos valores quando a imagem não é simétrica), correlação (calcula a dependência linear da tonalidade de níveis de cinza).

O mesmo retorna uma medida de quão correlacionado está um pixel com o seu vizinho. A comparação é realizada em todos os pixels da imagem. Resultará em valores maiores quando a imagem for muito correlacionada), variância (mede a dispersão dos níveis de cinza em relação à intensidade média da imagem. Representa o contraste da imagem) e momento de inércia (é a medida do grau de dispersão de ocorrências de níveis de cinza em uma imagem, quanto mais os pixels estiverem distantes da diagonal principal maior será o seu valor).

IV. EXPERIMENTOS

A fim de exemplificar a utilização da ferramenta foram feitos 5 experimentos. A realização dos experimentos contou com materiais de origem biológica, tais como folhas de plantas (mais especificamente folhas de *Canavalia Ensiformes* conhecida popularmente como feijão de porco (Figura 4)), e outro material, que por sua vez não tem atividade de origem biológica, mas uma atividade física devido à evaporação e absorção da água, um recorte de madeira maciça (Figura 5).



Figura 4. Figura que ilustra a planta da qual as folhas foram utilizadas nos experimentos (*Canavalia Ensiformes* conhecida popularmente como feijão de porco).

Neste trabalho, buscou-se materiais que permitissem encontrar diferentes níveis de atividade biológica, desde de material totalmente estático (como o pedaço de madeira) até material com alta atividade biológica (como as folhas do feijão de porco). O procedimento experimental se deu da seguinte maneira: pegou-se o pedaço de madeira maciça seca e feita a iluminação e aquisição das imagens, em seguida, ao mesmo material, foi adicionada água em sua superfície em

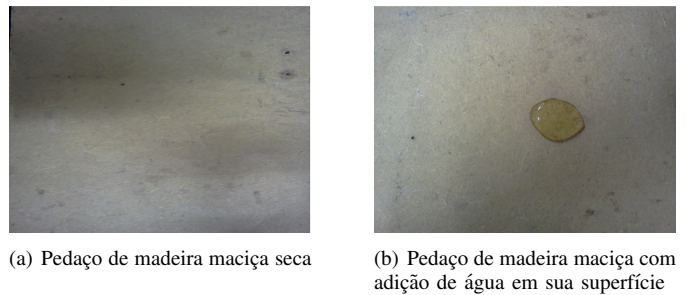


Figura 5. Pedaço de madeira utilizado nos experimentos.

um dado momento, fizemos a sua exposição ao laser e feita a aquisição das imagens (Figura 5). Para o material biológico, uma folha verde de feijão de porco (Figura 6(a)) foi coletada poucos instantes antes da execução do experimento; uma outra folha, já adulta (Figura 6(b)) e em estado de falência, embora coletada ainda na planta; e, por fim, uma folha velha (Figura 6(c)) coletada no chão, totalmente desprendida da planta.

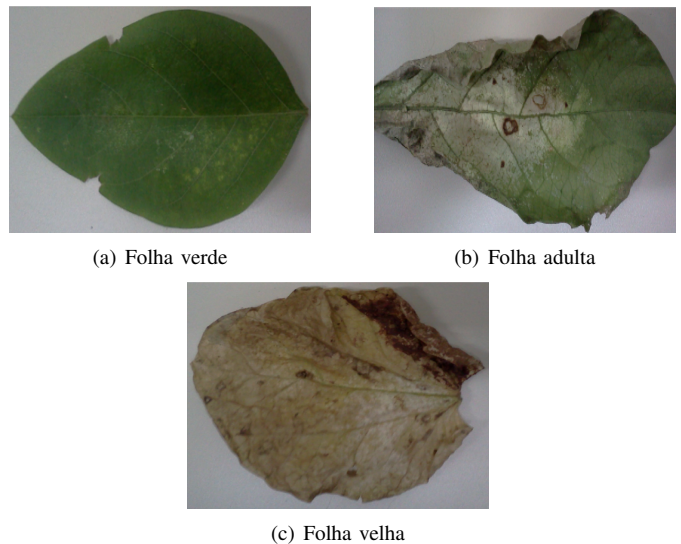


Figura 6. Folhas utilizadas nos experimentos.

O procedimento de captura das imagens foi feito conforme citado na Seção II. Sobre cada material do experimento, foram capturadas imagens durante 5 minutos, tendo uma frequência de captura de imagens de 1 por segundo resultando em um volume de 300 imagens. Para a construção da THSP sempre foi selecionada a linha número 100. As THSP's e MCON's resultantes podem ser vistas nas Fig.: 7, 8, 9, 10 e 11.

V. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a execução dos experimentos mencionados anteriormente os resultados obtidos pela ferramenta se encontram na Tab. I.

Com base nos resultados dos descritores de textura calculados a partir das imagens da madeira maciça seca, que

mesmo sendo um material tido como estático, possui um valor (embora pequeno) do descritor momento de inércia (atributo que possui correlação com a atividade física da matéria), isso é resultado da interferência do ruído do próprio equipamento do aparato de captura dos speckles.

Por outro lado, podemos assumir também, que mesmo a madeira estando bem seca, poderá haver algum tipo de material depositado em sua superfície como, por exemplo, um composto gorduroso, que por sua vez contribuiu para o dinamismo do speckle, mesmo que de maneira ínfima (Figura 7). Enquanto que na madeira maciça com água na superfície, esse descritor possui um valor muito elevado devido ao processo de absorção e evaporação da água pela madeira (Figura 8).

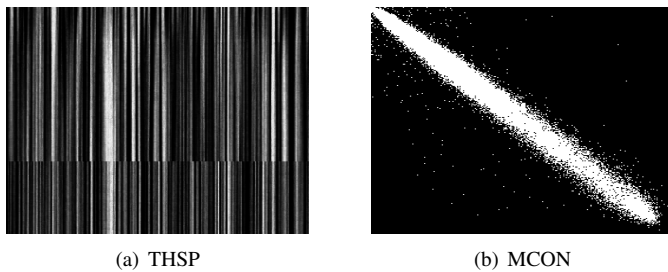


Figura 7. Figura ilustrando a THSP e a MCON da madeira maciça seca

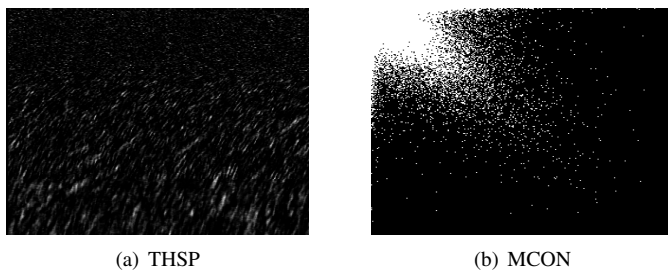


Figura 8. Figura ilustrando a THSP e a MCON da madeira maciça com adição de água na superfície

Nos resultados dos descritores obtidos a partir dos speckles das folhas mostram que o pico de MI acontece na folha adulta (Figura 10), veja a Tab. I. Sendo assim, o processo vai desde um MI relativamente baixo (quando a folha acabara de ser colhida da planta, pois neste instante a folha ainda perde pouco líquido para o meio) (Figura 9) a um MI muito alto enquanto a folha é adulta (isso se deve ao processo de perda de líquidos para o meio que é intenso neste período) (Figura 10).

Mediu-se também um MI baixo, que caracterizou a folha dita morta (o processo de perda de líquidos, embora ainda exista, é bem menos intenso) (Figura 11). Vale ainda ressaltar que além das razões acima citadas ainda existe a interferência do ruído durante a captura dos speckles, interferindo no resultado obtido.

Tais observações sobre os resultados foram apenas iniciais e o cálculo dos outros descritores proporciona uma gama de

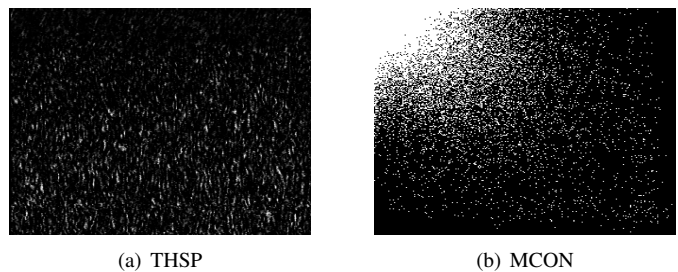


Figura 9. Figura ilustrando a THSP e a MCON da folha verde

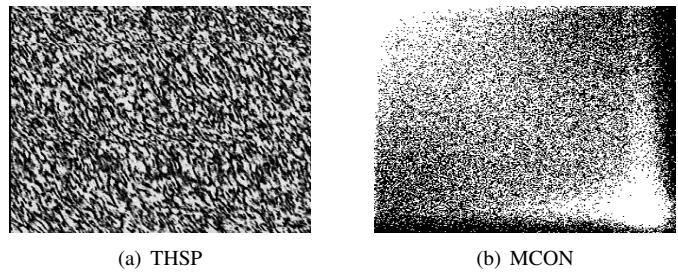


Figura 10. Figura ilustrando a THSP e a MCON da folha adulta

estudos capazes de buscar correlações entre os descritores de textura e as propriedades da matéria. Entende-se que, dispondo da ferramenta, pesquisadores podem desenvolver estudos visando estas correlações. Neste trabalho, foi citada apenas a correlação do descritor MI, isto se deve ao fato de que este é o atributo com correlação (com a atividade biológica) comprovada pela literatura.

Tabela I
VALORES DOS DESCRITORES SOBRE AS MCONs DOS PADRÕES DE SPECKLES CALCULADOS PELA FERRAMENTA.

Descritores	Fig. 7	Fig. 8	Fig. 9	Fig. 10	Fig. 11
Energia	0.005	0.023	0.034	7.284	0.008
Entropia	7.448	6.137	6.088	9.749	7.944
MI	37.20	314.06	630.72	4249.91	239.20
Correlação	0.994	0.608	0.635	0.717	0.963
Proemin.	7.113	2.805	1.347	1.062	6.949
Variância	3216	400	861	7520	3230
MDI	0.347	0.290	0.314	0.0741	0.232

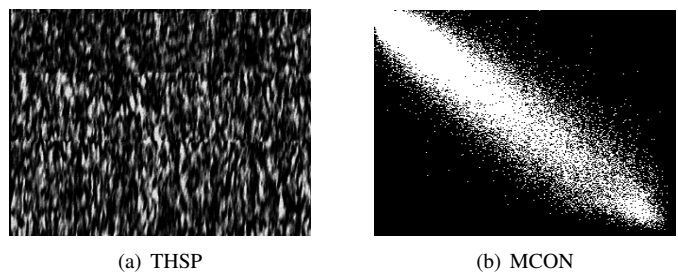


Figura 11. Figura ilustrando a THSP e a MCON da folha velha

VI. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma ferramenta de software que aplica algumas técnicas de processamento de texturas, que foram descritas e implementadas, com o intuito de extrair informações a partir de speckles.

Tendo em vista que esta é uma área de pesquisa recente e que existem muitas possibilidades de aplicações de técnicas de processamento de imagem, estas possibilidades permitem mais pesquisas não somente ao pesquisador que busque novas correlações de atividade biológica, como também aos estudantes e pesquisadores interessados em processamento de imagens digitais aplicadas em áreas de pesquisas diferentes de computação como, por exemplo, física, biologia, agronomia e química.

Vale ressaltar que este trabalho foi testado com a finalidade de avaliar seu desempenho em ambientes reais, reproduzimos também vários experimentos já comprovados na literatura, obtendo os mesmos resultados. Nos resultados, foi mostrado que o comportamento da ferramenta foi o esperado, tal como os resultados encontrados também.

As funcionalidades da ferramenta justificam a relevância do que se propõe, uma vez que a referida ferramenta de software servirá como ferramenta de apoio ao desenvolvimento de atividades capazes de contribuir com estudos que associem as correlações estatísticas dos descritores de textura com as características empíricas do material a ser observado.

Como trabalho futuro acreditamos fortemente que a ferramenta desenvolvida possa ser utilizada na análise de tecidos acometidos pelo câncer de pele, atuando na caracterização do estágio do câncer e, logo, servindo como uma ferramenta de auxílio computadorizado ao diagnóstico do médico dermatologista.

REFERÊNCIAS

- [1] R. F. Mafra and I. C. C. de Moraes Porto, *Uso do laser de baixa intensidade na hipersensibilidade dentinária*. Odontologia. Clín.Científ., vol. 7, 2008.
- [2] R. A. Braga Junior, *Bio-speckle: Desenvolvimento de uma tecnologia aplicada a análise de sementes*. Ph.D. dissertation, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.
- [3] E. R. da Silva, *Estudo das propriedades do biospeckle e suas aplicações*. Master's thesis, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- [4] Z. Xu, C. Joenathan, and B. M. Khorana, *Temporal and spatial properties of the time-varying speckle of botanical specimens*. Opt. Eng. Redondo Beach, vol. 34, no. 5, pp. 1487–1502, 1995.
- [5] A. Bergkvist, *Biospeckle-based study of the line profile of light scattered in strawberries*. Master's thesis, Faculty of Technology at Lund University, La Plata, 1997.
- [6] R. M. Costa, T. Safadi, G. Rabelo, and R. A. Braga Junior, *Técnicas estatísticas aplicadas em imagens do speckle dinâmico*. Rev. Bras.Biom., vol. 28, no. 2, pp. 27–39, 2010.
- [7] C. H. Chen, F. L. Pau, and P. S. P. Wang, *The Handbook of Pattern Recognition and Computer Vision*. 2nd ed. World Scientific Publishing Co., 1998.
- [8] J. M. Coggins, *A framework for texture analysis based on spatial filtering*. Master's thesis, Michigan State University, East Lansing, Michigan, USA, 1982.
- [9] T. Stein, *Avaliação de descritores de textura para segmentação de imagens*. Master's thesis, Universidade Federal do Paraná, Curitiba - PR, 2005.
- [10] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital image processing*. 3rd ed. Addison-Wesley, 1993.

- [11] J. M. Zachary and S. S. Iyengar, *Content based image retrieval systems*. MIEEE Symposium on Application - Specific Systems and Software Engineering and Technology, 1999.
- [12] R. M. Haralick, *Statistical and structural approaches to texture*. Proc. IEEE, pp. 786–804, 1979.
- [13] S. Vasconcelos, *Matrizes de co-ocorrências*. www.ic.uff.br/aconci/co-ocorrencia.pdf, 2008, acessado em 20 de junho de 2011.
- [14] C. A. M. Batista, *Análise da relação entre umidade e atividade biológica em sementes de feijão (phaseolus vulgaris L.), através do método biospeckle e do algoritmo momento de inércia*. Monografia apresentada ao Departamento de Ciências da Computação da Univ. Fed. de Lavras, 2003.
- [15] R. A. Braga Junior, G. Rabelo, L. Granato, E. Santos, J. Machado, R. Arizaga, H. Rabal and M. Trivi, *Detection of fungi in beans by the laser biospeckle technique*. Biosyst. Engineer, pp. 465–469, 2005.
- [16] G. Rabelo, R. A. Braga Junior, I. M. DAL Fabbro, M. R. Trivi, H. Rabal and R. Arizaga, *Laser speckle techniques in quality evaluation of orange fruits*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, vol. 9, no. 4, pp. 570–575, 2005.
- [17] A. L. do Nascimento, A. T. Costa Junior, G. Rabelo, and R. A. Braga Junior, *Desenvolvimento de um modelo para o biospeckle na análise de sementes de feijão (phaseolus vulgaris L.)*. Ciência agrotéc. vol.31 no.2 Lavras Mar./Apr. 2007.
- [18] M. F. B. Moreira, R. A. Braga Junior, F. M. Borém, H. Rabal, G. Rabelo, I. M. DAL Fabbro, M. R. Trivi and R. Arizaga, *Caracterização da transmissão da luz laser em semente de feijão (phaseolus vulgaris L.)*. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, vol. 4, no. 2, pp. 119 - 125, 2002.
- [19] M. C. Oliveira, *Grids computacionais para recuperação de imagens médicas a partir de conteúdo: um estudo de viabilidade*. Ph.D. dissertation, Universidade de São Paulo, 2006.