



JÚNIO MOREIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA
COMPUTACIONAL DE LIVRE ACESSO PARA
O PROCESSAMENTO DE IMAGENS DO
SPECKLE LASER DINÂMICO**

LAVRAS – MG

2014

JÚNIO MOREIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL
DE LIVRE ACESSO PARA O PROCESSAMENTO DE IMAGENS DO
SPECKLE LASER DINÂMICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas, área de concentração em Modelagem de Sistemas Biológicos, para a obtenção de título de Mestre.

Orientador

Dr. Roberto Alves Braga Júnior

LAVRAS - MG

2013

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Moreira, Júnio.

Desenvolvimento de uma ferramenta computacional de livre
acesso para o processamento de imagens do *speckle* laser dinâmico /
Júnio Moreira. – Lavras : UFLA, 2013.

153 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

Orientador: Roberto Alves Braga Júnior.

Bibliografia.

1. *Biospeckle* laser. 2. *Software* livre. 3. Biblioteca de funções.
4. Análises gráficas. 5. Interpretações numéricas. 6. Processamento
de imagens. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 621.367

JÚNIO MOREIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL
DE LIVRE ACESSO PARA O PROCESSAMENTO DE IMAGENS DO
SPECKLE LASER DINÂMICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas, área de concentração em Modelagem de Sistemas Biológicos, para a obtenção de título de Mestre.

APROVADA em 10 de dezembro de 2013.

Dr. Roberto Alves Braga Júnior	UFLA
Dra. Ellem Waleska Nascimento da Fonseca	UFLA
Dr. Hector Jorge Rabal	UNLP – ARG
Dr. Peter Edwin Toorop	Kew Garden Londres – UK

Dr. Roberto Alves Braga Júnior
Orientador

**LAVRAS - MG
2013**

Dedico os méritos deste trabalho à minha família.

*Á Iraci, minha mãe, pelo apoio e amor incondicional que sempre ameniza
e me instiga a acreditar em mim e a lutar pelas minhas aspirações.*

*Ao meu pai, Aquilino (in memoriam), por seu amor, confiança
e por sempre estar ao meu lado.*

*Á minha irmã, Nara, pela convivência, amizade,
incentivo e prontidão durante essa caminhada.*

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por revitalizar minhas forças nos momentos de desânimo, por ser porto seguro nas inseguranças e por ter e ser presença incontestável.

A Nossa Senhora das Graças, a virgem da Medalha Milagrosa, que sempre intercede junto ao Nosso Senhor Jesus Cristo.

À minha família, alicerce da minha vida, fonte de segurança e amor, com a qual dividi meus sonhos e que apostou na concretização dos mesmos.

Ao meu pai, Aquilino Alfredo Moreira, *in memoriam*, que lutou a vida inteira para poder dar a mim e a minha irmã oportunidades de alcançar nossos sonhos.

À minha mãe, Iraci Francisca Moreira, pela dedicação, amor, pela compreensão e incentivo nos momentos difíceis.

À minha irmã, Nara, que tanto amo, pela pronta disposição em ajudar e pelos sinceros desejos de êxito em minha vida e por sempre acreditar em mim.

Aos meus irmãos, Tiago Garcia da Cunha, Dr. Rodrigo Júnio Silva, Edson Gomes de Oliveira (Neguinho), Eduardo Rosa da Silva e Edson da Costa Silva, pelo incentivo e amizade de sempre.

Ao meu cunhado, Éderson Rosa da Silva, pela prontidão e ajuda.

Ao meu amigo e irmão Márcio José Chaves, pela paciência e apoio.

Ao professor Flávio Vasconcelos Godinho, diretor do IFMG – *campus* Bambuí, pelo seu indeferimento para a minha capacitação no Programa de Pós-Graduação da UFLA. Obrigado pelo seu “NÃO”. Ele foi fundamental para a minha persistência e a conclusão do Mestrado.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), pelos recursos oferecidos por meio do Centro de Instrumentação Aplicada a Agropecuária (CEDIA), em forma de estrutura física, computacional e docente.

Ao Departamento de Engenharia (DEG), pela oportunidade e a estrutura disponibilizada na realização deste trabalho e ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas, que me deu a oportunidade de realizar o Mestrado.

Ao meu orientador, professor Dr. Roberto Alves Braga Júnior, pelas sugestões, pelas críticas produtivas, por ter me transmitido uma liberdade e uma tranquilidade extras para realizar este trabalho. Também pelos ensinamentos, dedicação, disponibilidade e responsabilidade com que orienta.

Aos demais membros da banca examinadora, professores Danton Diego Ferreira, Ellem Waleska Nascimento da Fonseca e Juliana Vilela Lourençoni Botega, por serem solícitos na participação na banca de qualificação de minha proposta de dissertação e sugestões por eles dadas, as quais enriqueceram significativamente este trabalho.

Aos colegas do grupo de trabalho do *Speckle* Laser Dinâmico, em especial Kleber Mariano Ribeiro que, persistente e dedicado, contribuiu de maneira memorável com sugestões para o desenvolvimento deste projeto.

Aos meus amigos do mestrado em Engenharia de Sistemas, pelos momentos de estudo e aprendizagem. Especialmente, Diego Eduardo Coelho e Francisco Heider Willy dos Santos, que compartilharam conhecimentos e proporcionaram momentos de descontração e estima.

Àqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização desta etapa árdua, mas importante de minha vida, o meu sincero agradecimento pela participação de cada um nesta conquista. Obrigado!

Tenho fé cega em mim mesmo.
Não posso viver sem dormir e sonhar,
acordado.
(Carlos Maltz).

RESUMO

O *speckle* laser dinâmico é uma técnica óptica que utiliza os padrões de interferência gerados pela iluminação de uma superfície por um laser que tem a sua luz dispersada por mudanças de fase. O efeito visual é um fervilhamento óptico com os grãos de *speckle* mudando de forma e de intensidade, de acordo com o ritmo das alterações de posição dos dispersores da luz que estão presentes no material iluminado. A medição desse fervilhamento e a sua quantificação podem gerar diversos fenômenos biológicos ou não biológicos, servindo de instrumento sensível para as mudanças no objeto observado. A quantificação da atividade monitorada pode ser promovida por uma série de ferramentas computacionais que implementam análises estatísticas das histórias temporais das imagens dos grãos de *speckle* e permitem saídas gráficas e numéricas como representação da atividade. Ao longo dos anos, várias metodologias têm sido propostas para a análise do *speckle* laser dinâmico, criando uma coleção de técnicas que induz a erros na escolha e a dúvidas na implementação. Neste trabalho, buscou-se identificar as principais técnicas de análise do *speckle* laser dinâmico presentes na literatura, implementando-as em funções para programas de cálculo matemático, em particular de livre acesso. As rotinas implementadas foram testadas e seus resultados foram comentados para ajudar na escolha do usuário. Foi possível criar uma biblioteca de funções que passam a constituir um guia para uso da técnica, e de fácil acesso aos diversos usuários, iniciantes ou experientes, aumentando sua padronização e difusão.

Palavras-chave: *Biospeckle* laser. *Software* livre. Biblioteca de funções. Análises gráficas. Interpretações numéricas. Processamento de imagens.

ABSTRACT

The dynamic laser speckle is a technique that utilizes the optical interference patterns generated when a laser illuminates a surface and has its scattered light with changes in the phase. The visual effect is made by speckle grains changing their shape and intensity according to the level of the movement of the scatterers within the material illuminated. The measurement of this phenomenon can be used as a sensitive instrument to monitor the features in biological and non-biological materials. The quantification of the monitored activity can be promoted by a number of computational tools that implement statistical and image analysis of the temporal histories of the speckles. Over the years various methods have been proposed for the analysis of dynamic laser speckle, creating a collection of techniques which leads to errors during the judgment of the best method to analyse. This study aimed to identify the main techniques that are used to analyse the dynamic laser speckle and implement them in functions for mathematical calculation programs, particularly with free access. The routines implemented were tested and their results were discussed to help the choice of the user. It was possible to create a library of functions and to build a guide to ease its usage and access, therefore helping the standardization and the spread of the technique.

Keywords: Biospeckle laser. Free software. Library functions. Graphical analysis. Numerical interpretations, Processing Image.

LISTA DE FIGURAS

PRIMEIRA PARTE

Figura 1	Imagem do <i>speckle</i> de uma maçã	18
Figura 2	<i>Setup</i> para captura do <i>speckle</i> laser dinâmico.....	19
Figura 3	Imagens consecutivas de uma iluminação fictícia para o método de Fujii.....	22
Figura 4	Aplicação do método de Fujii em um conjunto de imagens fictícias	22
Figura 5	Passos do método de Fujii. Resultado Fujii em uma imagem saturada (a) e uma imagem normalizada (b).....	23
Figura 6	Imagens consecutivas de uma iluminação fictícia do método DG ..	25
Figura 7	Aplicação do método DG em um conjunto de imagens fictícias.....	25
Figura 8	Resultado do método DG. Imagem saturada (a) e imagem normalizada (b).....	26
Figura 9	Método de Diferenças Generalizadas (a) e método de Fujii (b).....	26
Figura 10	Medida de correlação dos padrões de THSP de uma laranja em uma região doente (a), uma região no limite do doente e regiões saudáveis (b), uma região saudável (c).....	30
Figura 11	Coefficiente de correlação das funções de C correspondente aos padrões de (a), (b), e (c).....	31
Figura 12	Construção de uma imagem THSP. A linha central é registrada em momentos sucessivos.....	33
Figura 13	Exemplo fictício de uma imagem THSP estática (a) e sua representação numérica (b).....	34
Figura 14	Representação numérica de uma MOC estática (a) e sua imagem (b)	35
Figura 15	Imagem THSP com alta atividade (a) e sua representação numérica (b).....	36
Figura 16	Representação numérica da MOC com alta atividade (a) e a imagem MOC (b)	36
Figura 17	THSPs da secagem de tinta (a) e suas matrizes de ocorrências (b) ..	37
Figura 18	Ilustração de uma imagem dividida por pequenas janelas para o cálculo da homogeneidade.....	42
Figura 19	Graduações dos níveis de cinza	43

SEGUNDA PARTE

ARTIGO 1

Figure 1	Illustration of image divided by small windows for homogeneity calculation.....	58
Figure 2	Result of (a) GD in a maize seed, and (b) one frame excerpted from the whole collection, with the (c) histogram of an area without saturation, and with the (d) histogram of an area with saturation	61
Figure 3	Percentage occurrence of saturation in maize seed over 50% of the pixels in the windows of 30x30 shown in gray	63
Figure 4	Result of a paint drying process measured by (a) IM values dimensionless and (b) participant images in some times moments	64
Figure 5	Mean value of contrast for each image group	66
Figure 6	Result of a the method of contrast in maize seed measured in the windows of 30 x 30 in gray	67
Figure 7	Quality Test homogeneity applied to the set of images maize seed.....	69

ARTIGO 2

Figura 1	Imagem Fujii (a) DG (b) e SD (c) para os dados do <i>biospeckle</i> laser da semente de milho.....	80
Figura 2	Imagens de Fujii (b), DG (c) e SD (d) da secagem de tinta e álcool em uma moeda (a).....	81
Figura 3	Gráfico da linha selecionada nas imagens Fujii, DG e SD.....	82
Figura 4	Medida da autocorrelação da coleção de imagens da semente de milho e da secagem de tinta e álcool em uma moeda.....	84
Figura 5	Janelas a e b para avaliação da análise numérica (MI e AVD).....	86
Figura 6	Resultados do (a) THSP e (b) MOC da janela a e do (c) THSP e (d) MOC da janela b.....	87
Figura 7	Resultados do (a) THSP e (b) MOC da janela a e do (c) THSP e (d) MOC da janela b de forma aleatória	88
Figura 8	Resultado da aplicação do método de contraste no conjunto da secagem de tinta e álcool em uma moeda.....	90
Figura 9	Resultado da aplicação do método de homogeneidade no conjunto da secagem de tinta e álcool em uma moeda.....	91
Figura 10	Resultado da aplicação do método de saturação no conjunto da secagem de tinta e álcool em uma moeda.....	92

LISTA DE TABELAS

SEGUNDA PARTE

ARTIGO 2

Tabela 1	Resultados do AVD e MI para as janelas a e b, com coleta por linha	87
Tabela 2	Resultados do AVD e MI para as Janelas a e b de forma aleatória ..	89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AVD	Diferença dos valores absolutos
BSLD	Bibliotecas <i>speckle</i> laser dinâmico
CEDIA	Centro de Desenvolvimento de Instrumentação Aplicada à Agropecuária
DEG	Departamento de Engenharia
DG	Diferenças generalizadas
MI	Momento de inércia
MOC	Matriz de ocorrência
SD	Desvio padrão
STS	<i>Space time speckle</i>
THSP	História temporal do padrão de <i>speckle</i>
UFLA	Universidade Federal de Lavras

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	15
1	INTRODUÇÃO	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	<i>Speckle</i> Laser – considerações gerais.....	17
2.2	Processamento de imagens digitais	19
2.3	Avaliação de atividade do <i>speckle laser</i> dinâmico	21
2.3.1	Análises gráficas	21
2.3.1.1	Método de Fujii.....	21
2.3.1.2	Método de diferenças generalizadas (DG)	24
2.2.1.3	Método desvio padrão (SD)	27
2.3.2	Análises numéricas	28
2.3.2.1	Autocorrelação.....	29
2.3.2.2	História temporal do padrão de <i>speckle</i> (THSP).....	31
2.3.2.3	Matriz de ocorrência.....	33
2.3.2.4	Momento de inércia (MI).....	38
2.3.2.5	Diferença dos valores absolutos	40
2.3.3	<i>Quality Test</i> (QT)	41
2.3.3.1	Contraste	41
2.3.3.2	Homogeneidade	42
2.3.3.3	Saturação.....	43
2.4	<i>Software Scilab</i>	44
3	CONCLUSÃO	46
	REFERÊNCIAS	47
	SEGUNDA PARTE - ARTIGOS	53
	ARTIGO 1 Quality test protocol to dynamic laser speckle analysis	53
	ARTIGO 2 Guia prático para processamento e análise do <i>speckle laser</i> dinâmico	73

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

O *speckle* laser é um fenômeno de interferência óptica que avalia o comportamento dinâmico de superfícies iluminadas por um feixe de luz coerente ao longo do tempo, tal como o laser. Pode-se, então, comparar os resultados obtidos em diferentes momentos, sendo possível analisar, monitorar, compreender e classificar fenômenos imperceptíveis à sensibilidade humana. Por se tratar de aplicações que apresentam variações temporais, essa técnica foi denominada de *speckle* laser dinâmico. Trata-se de um instrumento aplicado na quantificação dos movimentos dos dispersores de luz ocorridos no material de análise que, quando proveniente de material biológico, é também conhecido como *biospeckle* laser.

Tal técnica se consolida por meio da combinação de sistemas de aquisição de dados e técnicas de processamento digital de imagens. A complexidade do espalhamento da luz pelos diversos dispersores presentes no material exige o uso de diferentes técnicas de análise dos dados.

O estudo do *speckle* laser dinâmico dá-se, por exemplo, pela correlação entre as variações dos padrões de interferência no tempo e a atividade biológica do material, podendo ser realizado por meio de técnicas numéricas ou gráficas.

As análises numéricas são representadas por momento de inércia (MI), diferença dos valores absolutos (AVD) e autocorrelação; já as rotinas gráficas são representadas pelo método de Fujii, pelas diferenças generalizadas (DG) e pelo método de desvio padrão (SD). Outras como a história temporal do padrão de *speckle* (THSP) e matriz de ocorrência (MOC), podem ser classificadas como numéricas e gráficas, além das rotinas destinadas ao teste de qualidade dos dados conhecida como *quality test*: saturação, contraste e homogeneidade.

Os trabalhos desenvolvidos no Centro de Desenvolvimento de Instrumentação Aplicada à Agropecuária (CEDIA), no Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (DEG/UFLA), tem utilizado, para análise de imagens de padrões de *speckle* laser, diversas rotinas computacionais, livres ou proprietárias. Portanto, não existe, atualmente, uma ferramenta que integre todas as técnicas, que permita fácil acesso de pesquisadores e que possibilite a padronização de aplicação de um protocolo experimental no processamento e NA aquisição de dados das imagens estudadas.

Neste contexto, no presente trabalho propõe-se o desenvolvimento de uma ferramenta em ambiente livre, utilizando um *software* livre científico para computação numérica, em particular o *Scilab*, que integre as técnicas gráficas e numéricas mais utilizadas na análise do *speckle* laser dinâmico. De forma específica, objetivou-se:

- a) apresentar um protocolo para reduzir a subjetividade na avaliação do *speckle* laser dinâmico por meio do *Quality Test*;
- b) criar um guia de uso das rotinas para que os usuários possam optar por aquele que melhor atender à sua aplicação;
- c) propor formas de integração dos vários processos de análises de imagens digitais em uma única ferramenta de análise de imagens por meio de um *software* livre, o *Scilab*.

O trabalho está dividido em três partes, das quais a primeira parte consiste de uma revisão de literatura, em que se abordam os diversos temas discutidos na dissertação. Já a segunda seção foi estruturada na forma de dois artigos científicos que procuraram responder aos objetivos específicos descritos anteriormente. A terceira parte foi destinada à criação de um *software* livre intitulado Bibliotecas *Speckle* Laser Dinâmico, ou BSLD.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 *Speckle* Laser – considerações gerais

O *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (LASER), ou Amplificação de Luz por Emissão Estimulada de Radiação, surgiu em 1960, desenvolvido pelo físico Theodore Maiman, tendo como meio ativo o cristal de rubi (MAIMAN, 1960).

Caracterizado como uma luz monocromática, pontual e de comprimento de onda bem definido, o laser vem se tornando um equipamento de uso científico e tecnológico de grande precisão (BAGNATO, 2001), sendo validado por meio da técnica do *speckle* laser dinâmico em diversas áreas do conhecimento, em geral nas áreas de biologia, medicina e agricultura (RABAL; BRAGA; JÚNIOR, 2008). Foi realizada uma revisão do método do *speckle* laser dinâmico em culturas agrícolas, por Zdunek et al. (2014) e, especificamente na agricultura, são encontrados trabalhos que utilizam a técnica em análises de frutas (ANSARI; NIRALA, 2013; ZDUNEK; HERPPICH, 2012) e na avaliação do sêmen de animais (CARVALHO et al., 2009; KURENDA; ADAMIAK; ZDUNEK, 2012). Estes são alguns exemplos recentes de aplicação, o que confere a essa técnica um grande potencial.

O *speckle* é um padrão de interferência óptica formado ao iluminar a superfície de uma amostra com uma luz coerente, tal como o laser, com regiões claras e escuras, conforme ilustrado na Figura 1.

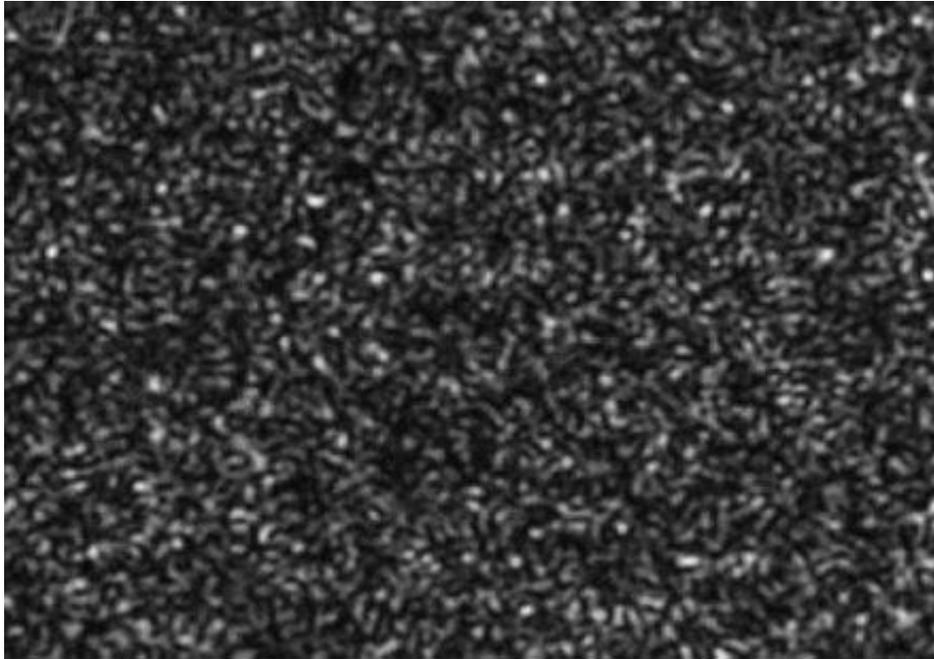


Figura 1 Imagem do *speckle* de uma maçã
Fonte: Zdunek et al. (2014)

Braga Júnior et al. (2003) definem a aparência visual do padrão como sendo semelhante ao de um líquido em ebulição, de modo que é, por vezes, chamado de “ebulição *speckle*”.

Se a amostra tem algum tipo de movimentação, relacionada à mudança de posição dos elementos dispersores da luz, ocorrerá a formação de novos e diferentes padrões de interferência óptica no tempo, chamada de *speckle* laser dinâmico ou *biospeckle* laser, se a superfície em estudo for de origem biológica.

Kurenda, Adamiak e Zdunek (2012) relatam que o *speckle* laser dinâmico permite a extração de informações sobre o movimento das estruturas do material iluminado, denominado de atividade biológica.

O sucesso da técnica passa pela adequada escolha das ferramentas de processamento de imagens, bem como a disposição dos equipamentos para a

aquisição dos dados e, na Figura 2, estão ilustradas as configurações experimentais utilizadas em trabalhos *speckle*.

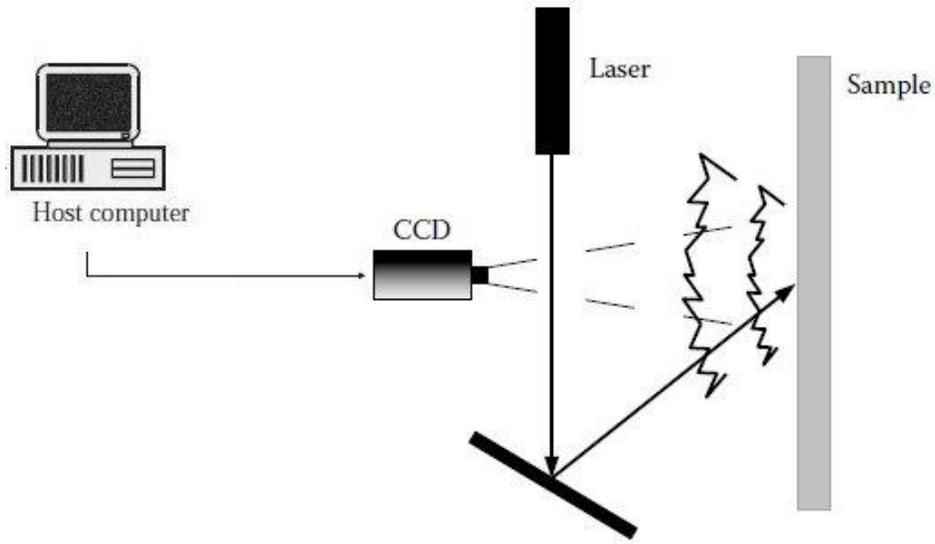


Figura 2 *Setup* para captura do *speckle* laser dinâmico
Fonte: Adaptado de Rabal e Braga Júnior (2008)

Com a configuração experimental definida e os dados do *speckle* laser dinâmico coletados, resta a análise dos padrões de interferência óptica para acesso à informação da atividade biológica do material estudado, o que é realizado por meio de técnicas de processamento de imagens digitais.

2.2 Processamento de imagens digitais

Uma imagem digital é definida, por Gonzalez e Woods (2007), como sendo uma função bidimensional de intensidade de luz $f(x, y)$, em que o valor de f corresponde ao nível de cinza localizado nas coordenadas espaciais x e y , e

proporcional ao brilho da imagem. A Equação 1 descreve matematicamente uma imagem digital.

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \cdots & f(0, N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \cdots & f(1, N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \cdots & f(M-1, N-1) \end{bmatrix} \quad (1)$$

em que x e y são as coordenadas espaciais ao longo dos eixos das abscissas e das ordenadas, respectivamente e $f(x,y)$ está associado ao nível de cinza.

O tamanho da imagem digital varia de acordo com a aplicação. Contudo, é interessante trabalhar com matrizes quadradas com tamanhos e números de níveis de cinza que sejam potências inteiras de 2.

Um sistema de processamento digital de imagens admite uma ou um conjunto de imagens como entrada e retorna uma ou mais imagens na saída, adequada às necessidades do problema abordado (GOMES; VELHO, 2002).

Segundo Gonzalez e Woods (2009), o interesse por métodos de processamento de imagens digitais decorre de duas áreas principais de aplicação: a melhoria da informação visual para interpretação humana e o processamento de dados de cenas para percepção automática através de máquinas, sendo o processamento dessas imagens realizado por meio de *softwares* específicos.

Em especial para os dados do *speckle* laser dinâmico, o processamento das imagens digitais deve ser em níveis de cinza e apresenta, na saída, uma única imagem, com a distribuição espacial da avaliação da atividade biológica.

2.3 Avaliação de atividade do speckle *laser* dinâmico

O estudo do *speckle* laser dinâmico é baseado na correlação entre as variações dos padrões de interferência no tempo e na atividade biológica do material, podendo ser realizado por meio de técnicas gráficas ou apenas numéricas (BRAGA JÚNIOR et al., 2012) no domínio do tempo.

2.3.1 Análises gráficas

Entre as técnicas gráficas para os padrões de interferência do *speckle* laser dinâmico, merecem destaque os métodos de Fujii (FUJII et al., 1987), de diferenças generalizadas (ARIZAGA; TRIVI; RABAL, 1999; ARIZAGA et al., 2002) e do desvio padrão – SD (CARDOSO; BRAGA JÚNIOR; RABAL, 2012; NOTHDURFT; YAO, 2005), pelo número de aplicações nos trabalhos científicos.

2.3.1.1 Método de Fujii

O método de Fujii (FUJII et al., 1987) permite identificar áreas em um espécime com diferentes níveis de atividade, porém, há uma ponderação na qual as diferenças das imagens consecutivas são divididas pela soma das mesmas – fator de ponderação (AIZU; ASAKURA, 1991). Em alguns casos, para o método de Fujii, em termos de atividade, o efeito das diferenças fica maior nas regiões mais escuras do material analisado (Equação 2).

$$Fujii(x, y) = \sum_{k=1}^N \frac{|I_k(x, y) - I_{k+1}(x, y)|}{|I_k(x, y) + I_{k+1}(x, y)|} \quad (2)$$

em que $I_k(x,y)$ é o nível de cinza presente nas coordenadas x e y da $k^{\text{ésima}}$ imagem.

Um exemplo metodológico para o método de Fujii pode ser conferido a seguir, adaptado de Braga Júnior (2000), tendo sido aplicado para as três imagens consecutivas mostradas na Figura 3.

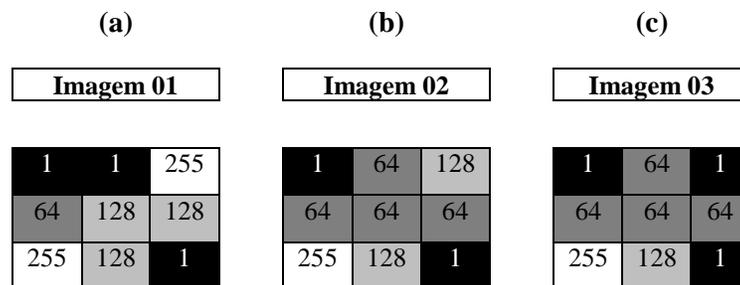


Figura 3 Imagens consecutivas de uma iluminação fictícia para o método de Fujii

Fonte: Adaptado de Braga Júnior (2000)

Aplicando-se o método de Fujii às três imagens fictícias (Figuras 3a, 3b e 3c), têm-se os passos do método apresentados na Figura 4.

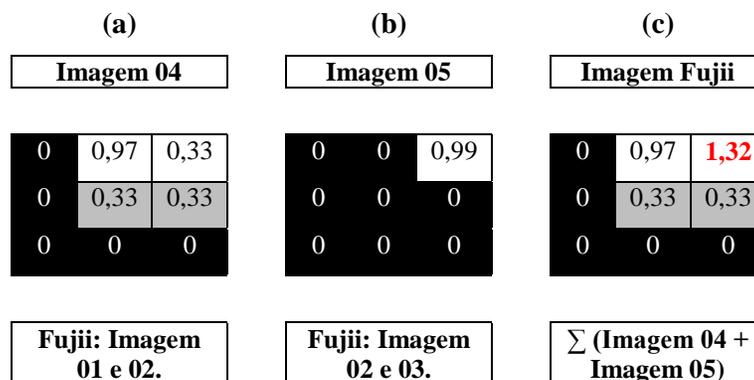


Figura 4 Aplicação do método de Fujii em um conjunto de imagens fictícias

Fujii et al. (1987) demonstram que, a partir da equação que relaciona a intensidade e a posição dos *pixels*, uma nova imagem é construída. O resultado será uma matriz entre os valores 0 e 1, em que 0 representa a cor preta e 1, a cor branca. Na resolução de 8 bits, a imagem resultante fica como apresentado na Figura 4c. Como as intensidades estão no intervalo entre 0 e 255, é necessário, para poder entender os resultados, que a matriz resultante seja multiplicada por 255 (Figura 5a).

Nota-se, porém, uma saturação (Figura 5a). Para a correção da saturação existente faz-se necessário normalizar a imagem resultante (Figura 5b).

(a)	(b)																		
Imagem Fujii	Imagem Fujii																		
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="background-color: black; color: white; padding: 5px;">0</td> <td style="padding: 5px;">248</td> <td style="padding: 5px; color: red;">337</td> </tr> <tr> <td style="background-color: black; color: white; padding: 5px;">0</td> <td style="background-color: #cccccc; padding: 5px;">85</td> <td style="background-color: #cccccc; padding: 5px;">85</td> </tr> <tr> <td style="background-color: black; color: white; padding: 5px;">0</td> <td style="background-color: black; color: white; padding: 5px;">0</td> <td style="background-color: black; color: white; padding: 5px;">0</td> </tr> </table>	0	248	337	0	85	85	0	0	0	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="background-color: black; color: white; padding: 5px;">0</td> <td style="padding: 5px;">248</td> <td style="padding: 5px;">255</td> </tr> <tr> <td style="background-color: black; color: white; padding: 5px;">0</td> <td style="background-color: #cccccc; padding: 5px;">85</td> <td style="background-color: #cccccc; padding: 5px;">85</td> </tr> <tr> <td style="background-color: black; color: white; padding: 5px;">0</td> <td style="background-color: black; color: white; padding: 5px;">0</td> <td style="background-color: black; color: white; padding: 5px;">0</td> </tr> </table>	0	248	255	0	85	85	0	0	0
0	248	337																	
0	85	85																	
0	0	0																	
0	248	255																	
0	85	85																	
0	0	0																	
Resultado de Fujii.	Normalizada.																		

Figura 5 Passos do método de Fujii. Resultado Fujii em uma imagem saturada (a) e uma imagem normalizada (b)

Dessa maneira, nas zonas de grande atividade, a imagem resultante apresenta pontos claros e, naquelas áreas de baixa atividade, os *pixels* apresentam pontos escuros. A amplificação dos movimentos em áreas mais escuras é uma característica do método de Fujii (BRAGA JÚNIOR et al., 2009).

2.3.1.2 Método de diferenças generalizadas (DG)

Apresentado por Arizaga, Trivi e Rabal, (1999); Arizaga et al. (2002) como uma alternativa ao método de Fujii, o método das diferenças generalizadas (DG) não tem o fator de ponderação e as diferenças entre as intensidades dos *pixels* foram generalizadas a todo o conjunto de imagens capturadas, conforme descreve a Equação 3.

$$DG(x, y) = \sum_k \sum_i |I_k(x, y) - I_{k+1}(x, y)| \quad (3)$$

O que se faz, então, é realizar uma soma de diferenças de intensidade entre uma imagem inicial e todas as imagens do conjunto (ARIZAGA; TRIVI; RABAL, 1999). O resultado será uma nova imagem DG (x,y), com um clareamento dos *pixels* que apresentarem mudanças de intensidade. Essa intensidade é expressa por I (x,y), em 8 bits, sendo (x,y) as coordenadas de cada imagem k.

Para Braga Júnior et al. (2005), o método de diferenças generalizadas é uma versão alternativa do método Fujii. Nessa técnica, um mapa de atividade é construído a partir das diferenças entre os *pixels* das imagens gravadas durante o monitoramento.

Um exemplo ilustrativo para o método DG pode ser verificado a seguir, o qual foi adaptado de Braga Júnior (2000). O exemplo é aplicado para as três imagens consecutivas mostradas na Figura 6.

Considere-se um conjunto de três imagens de 8 *bits* para representar cada *pixel* com uma taxa de variação de 0 a 255, em que a intensidade 0 representa a cor preta e a intensidade 255 representa a cor branca. O processamento ocorre pela subtração de valores de níveis de cinza de todos os *pixels* de uma imagem em relação à sua subsequente. Tal subtração é aplicada a

todo conjunto de imagens e os valores obtidos destas são acumulados em suas respectivas posições de *pixel*, formando, assim, uma imagem resultante.

(a)	(b)	(c)																											
Imagem 01	Imagem 02	Imagem 03																											
<table style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="background-color: black; color: white; padding: 2px;">0</td><td style="background-color: black; color: white; padding: 2px;">0</td><td style="padding: 2px;">255</td></tr> <tr><td style="background-color: gray; padding: 2px;">64</td><td style="background-color: gray; padding: 2px;">128</td><td style="background-color: gray; padding: 2px;">128</td></tr> <tr><td style="background-color: white; padding: 2px;">255</td><td style="background-color: gray; padding: 2px;">128</td><td style="background-color: black; color: white; padding: 2px;">0</td></tr> </table>	0	0	255	64	128	128	255	128	0	<table style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="background-color: black; color: white; padding: 2px;">0</td><td style="background-color: gray; padding: 2px;">64</td><td style="background-color: gray; padding: 2px;">128</td></tr> <tr><td style="background-color: gray; padding: 2px;">64</td><td style="background-color: gray; padding: 2px;">64</td><td style="background-color: gray; padding: 2px;">64</td></tr> <tr><td style="background-color: white; padding: 2px;">255</td><td style="background-color: gray; padding: 2px;">128</td><td style="background-color: black; color: white; padding: 2px;">0</td></tr> </table>	0	64	128	64	64	64	255	128	0	<table style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="background-color: black; color: white; padding: 2px;">0</td><td style="background-color: gray; padding: 2px;">64</td><td style="background-color: black; color: white; padding: 2px;">0</td></tr> <tr><td style="background-color: gray; padding: 2px;">64</td><td style="background-color: gray; padding: 2px;">64</td><td style="background-color: gray; padding: 2px;">64</td></tr> <tr><td style="background-color: white; padding: 2px;">255</td><td style="background-color: gray; padding: 2px;">128</td><td style="background-color: black; color: white; padding: 2px;">0</td></tr> </table>	0	64	0	64	64	64	255	128	0
0	0	255																											
64	128	128																											
255	128	0																											
0	64	128																											
64	64	64																											
255	128	0																											
0	64	0																											
64	64	64																											
255	128	0																											

Figura 6 Imagens consecutivas de uma iluminação fictícia do método DG
Fonte: Adaptado de Braga Júnior (2000)

Aplicando-se o método de diferenças generalizadas às três imagens fictícias (Figuras 6a, 6b e 6c), têm-se os passos do método ilustrados na Figura 7.

(a)	(b)	(c)	(d)																																				
Imagem 04	Imagem 05	Imagem 06	Imagem DG																																				
<table style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="background-color: black; color: white; padding: 2px;">0</td><td style="background-color: gray; padding: 2px;">64</td><td style="background-color: gray; padding: 2px;">127</td></tr> <tr><td style="background-color: black; color: white; padding: 2px;">0</td><td style="background-color: gray; padding: 2px;">64</td><td style="background-color: gray; padding: 2px;">64</td></tr> <tr><td style="background-color: black; color: white; padding: 2px;">0</td><td style="background-color: black; color: white; padding: 2px;">0</td><td style="background-color: black; color: white; padding: 2px;">0</td></tr> </table>	0	64	127	0	64	64	0	0	0	<table style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="background-color: black; color: white; padding: 2px;">0</td><td style="background-color: gray; padding: 2px;">64</td><td style="background-color: white; padding: 2px;">255</td></tr> <tr><td style="background-color: black; color: white; padding: 2px;">0</td><td style="background-color: gray; padding: 2px;">64</td><td style="background-color: gray; padding: 2px;">64</td></tr> <tr><td style="background-color: black; color: white; padding: 2px;">0</td><td style="background-color: black; color: white; padding: 2px;">0</td><td style="background-color: black; color: white; padding: 2px;">0</td></tr> </table>	0	64	255	0	64	64	0	0	0	<table style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="background-color: black; color: white; padding: 2px;">0</td><td style="background-color: black; color: white; padding: 2px;">0</td><td style="background-color: gray; padding: 2px;">128</td></tr> <tr><td style="background-color: black; color: white; padding: 2px;">0</td><td style="background-color: black; color: white; padding: 2px;">0</td><td style="background-color: black; color: white; padding: 2px;">0</td></tr> <tr><td style="background-color: black; color: white; padding: 2px;">0</td><td style="background-color: black; color: white; padding: 2px;">0</td><td style="background-color: black; color: white; padding: 2px;">0</td></tr> </table>	0	0	128	0	0	0	0	0	0	<table style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="background-color: black; color: white; padding: 2px;">0</td><td style="background-color: gray; padding: 2px;">128</td><td style="background-color: white; padding: 2px; color: red;">510</td></tr> <tr><td style="background-color: black; color: white; padding: 2px;">0</td><td style="background-color: gray; padding: 2px;">128</td><td style="background-color: gray; padding: 2px;">128</td></tr> <tr><td style="background-color: black; color: white; padding: 2px;">0</td><td style="background-color: black; color: white; padding: 2px;">0</td><td style="background-color: black; color: white; padding: 2px;">0</td></tr> </table>	0	128	510	0	128	128	0	0	0
0	64	127																																					
0	64	64																																					
0	0	0																																					
0	64	255																																					
0	64	64																																					
0	0	0																																					
0	0	128																																					
0	0	0																																					
0	0	0																																					
0	128	510																																					
0	128	128																																					
0	0	0																																					
Imagem 01 – Imagem 02	Imagem 01 – Imagem 03	Imagem 02 – Imagem 03	Imagem 04+05+06																																				

Figura 7 Aplicação do método DG em um conjunto de imagens fictícias

Observa-se que, na imagem resultante obtida pelo DG (Figura 8a), ocorre uma saturação, ou seja, o valor de intensidade do *pixel* foi maior que o intervalo de 0 a 255 que, nesse caso, foi de 510 e, assim, o valor 510 é

convertido automaticamente para o valor máximo permitido, ou seja, 255, como mostrado na Figura 8b.

(a)	(b)																		
Imagem DG	Imagem DG																		
<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>0</td><td>128</td><td>510</td></tr> <tr><td>0</td><td>128</td><td>128</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	0	128	510	0	128	128	0	0	0	<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>0</td><td>128</td><td>255</td></tr> <tr><td>0</td><td>128</td><td>128</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	0	128	255	0	128	128	0	0	0
0	128	510																	
0	128	128																	
0	0	0																	
0	128	255																	
0	128	128																	
0	0	0																	
Imagem 04+05+06	Imagem final																		

Figura 8 Resultado do método DG. Imagem saturada (a) e imagem normalizada (b)

Na Figura 9 faz-se um comparativo do resultado dos métodos de Fujii (Figura 9a) e DG (Figura 9b).

(a)	b																		
Imagem DG	Imagem Fujii																		
<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>0</td><td>128</td><td>255</td></tr> <tr><td>0</td><td>128</td><td>128</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	0	128	255	0	128	128	0	0	0	<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>0</td><td>248</td><td>255</td></tr> <tr><td>0</td><td>85</td><td>85</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	0	248	255	0	85	85	0	0	0
0	128	255																	
0	128	128																	
0	0	0																	
0	248	255																	
0	85	85																	
0	0	0																	

Figura 9 Método de Diferenças Generalizadas (a) e método de Fujii (b)

De acordo com Braga Júnior (2000), a diferença entre os dois métodos está mais ressaltada, neste caso, no elemento da coluna dois e linha um, em que o valor produzido pelo método das diferenças generalizadas foi de 128 (Figura 9a), quando no método de Fujii ele foi de 248 (Figura 9b). Essa é uma diferença

do método de Fujii em comparação ao método de diferenças generalizadas. Para áreas escuras, o efeito das diferenças fica maior do que para áreas mais claras. Essa diferença é interessante em alguns casos, mas traz informações erradas em outros, como ocorreu no exemplo demonstrado na Figura 9b.

A técnica de diferenças generalizadas (DG) é um processo, segundo Saude et al. (2012), que tem como objetivo estimar a distribuição de atividades relacionada a mudanças no padrão *speckle*, utilizando, para isso, a subtração, em tempo real, de uma imagem inicial de *speckle* pelas próximas imagens no decorrer de um período. Por isso, o método DG exige maior esforço computacional, comparado com o método de Fujii (BRAGA JÚNIOR et al., 2009).

Existe uma variação da técnica de diferenças generalizadas que permite uma redução de influência de imagens distantes umas das outras no resultado final, que é conhecida como diferenças generalizadas pesadas (WDG) (RABAL; BRAGA, 2008). Além disso, é possível realizar o processamento das imagens de forma mais rápida (SAUDE et al., 2012).

2.2.1.3 Método desvio padrão (SD)

A técnica desvio padrão é um método utilizado para quantificar os níveis de cinza de uma imagem. Na imagem resultante, o desvio padrão baixo representa imagens homogêneas, isto é, com pouca variabilidade e o desvio padrão alto representa imagens heterogêneas, isto é, com grande variabilidade (NEVES; PELAES, 2001).

O conceito de desvio padrão na análise gráfica pode ser visto na Equação 4 (NOTHDURFT; YAO, 2005).

$$sd^2(x, y) = \sum_{i=1}^N \frac{[I(x, y, i) - \mu(x, y, i)]^2}{N} \quad (4)$$

em que I é o nível de cinza da coordenada (x, y) para cada imagem i , em N quadros e μ é o valor médio em cada *pixel* no tempo (representado por N).

As saídas são normalizadas de acordo com a Equação 5.

$$SD(x, y) = \left(\frac{sd^2(x, y)}{\max(sd)} \right) \cdot 255 \quad (5)$$

O método é realizado *pixel a pixel*, aplicando o desvio padrão da intensidade no tempo.

2.3.2 Análises numéricas

Para Ribeiro (2011), apesar de útil, as análises gráficas são subjetivas. Logo, se tornam limitadas. Para um maior detalhamento das características das técnicas propostas para análise do *speckle* laser dinâmico e sustentação das observações gráficas realizadas, é necessário fazer análises numéricas.

Entre as técnicas numéricas, podem-se citar as de correlação/autocorrelação (XU; JOENATHAN; KHORANA, 1995; ZDUNEK et al., 2007), de diferença dos valores absolutos (AVD) (BRAGA JÚNIOR et al., 2011) e de momento de inércia (MI) (ARIZAGA; TRIVI; RABAL, 1999).

A oposição das análises gráficas com as análises numéricas também é possível e recomendável (BRAGA JÚNIOR et al., 2011). Os métodos história temporal do padrão de *speckle* (THSP), proposto por Oulamara, Tribillon e Duvernoy (1989) e avaliado por Xu, Joenathan e Khorana (1995) e a matriz de

ocorrência (MOC), avaliada por Arizaga, Trivi e Rabal (1999), são etapas intermediárias para as análises numéricas.

2.3.2.1 Autocorrelação

Para a análise do *speckle* laser dinâmico, Xu, Joenathan e Khorana (1995) foram os primeiros a apresentar a autocorrelação dos sinais em uma matriz do tipo espaço-tempo do *speckle*, ou *space time speckle* (STS), medindo o nível da variação de tempo do padrão de *speckle*.

A Equação 6 ilustra o procedimento para se conseguir a autocorrelação da matriz que representa a história do padrão de *speckle*.

$$C_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^N I(k, i) \cdot I(k, i + j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^N I^2(k, i) \sum_{k=1}^N I^2(k, i + j)}} \quad (6)$$

em que o termo C_{ij} é o coeficiente de correlação da distribuição de intensidade de uma dada linha, sendo que i e j estão relacionados aos tempos de ocorrência ($t_0 + i\Delta t + j\Delta t$). E $I(x, y)$ é a intensidade do pixel em (x, y) do padrão STS de tamanho $M \times N$. Para reduzir a flutuação de C_{ij} , implementa-se a média de C_{ij} e obtém-se o coeficiente C_j , ao longo do tempo, definido na Equação 7.

$$C_j = \sum_{i=1}^{M/2} C_{ij} \quad (7)$$

Zdunek et al. (2007) e Ansari e Nirala (2013) complementam que a técnica de autocorrelação, ou correlação, é uma medição do grau de igualdade de

duas variáveis, não necessariamente no valor real, mas no comportamento em geral.

Um exemplo de aplicação de autocorrelação é dado por Xu, Joenathan e Khorana (1995) para amostras de laranjas em uma área doente rodeada por regiões saudáveis. Na Figura 10, observam-se os STS para os três casos: (a) região doente, (b) uma região de fronteira entre a doente e regiões saudáveis e (c) região saudável na Figura 10.

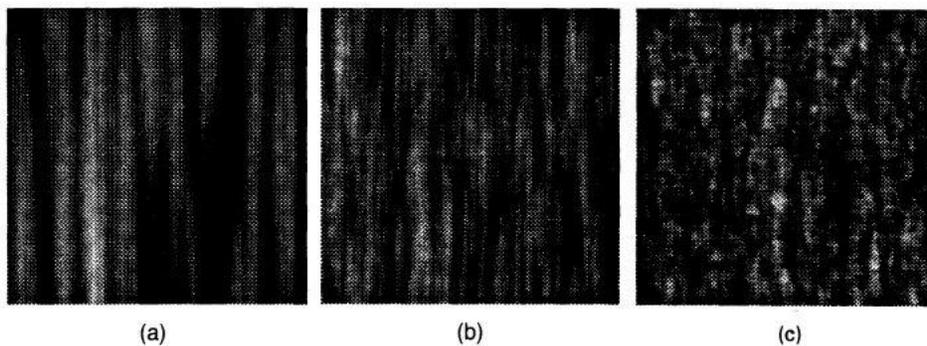


Figura 10 Medida de correlação dos padrões de THSP de uma laranja em uma região doente (a), uma região no limite do doente e regiões saudáveis (b), uma região saudável (c)

Fonte: Xu, Joenathan e Khorana (1995)

O coeficiente de correlação, no caso de um intervalo de tempo de 0,5s, para estes três padrões, é de 0,9; 0,6 e 0,2, respectivamente, conforme mostrado na Figura 11.

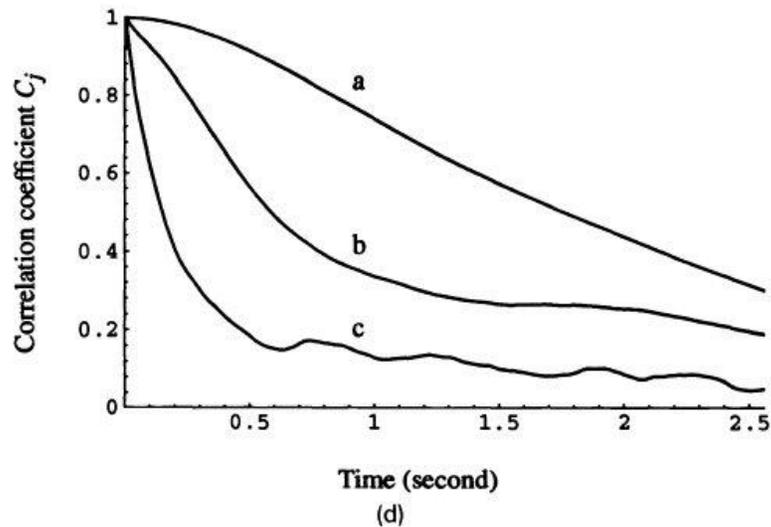


Figura 11 Coeficiente de correlação das funções de C correspondente aos padrões de (a), (b), e (c)

Fonte: Xu, Joenathan e Khorana (1995)

A mobilidade das partículas no interior das células em diferentes fases da vida tem sido efetivamente identificada utilizando a medida de correlação dos padrões de STS. Os resultados sugerem que as células deterioradas de uma fruta possuem partículas que se movem a uma velocidade inferior.

2.3.2.2 História temporal do padrão de *speckle* (THSP)

Acompanhar um conjunto de *pixels* da imagem geradora do *speckle* no tempo é um método de monitorar suas variações temporais (COSTA, 2011). Dessa forma, a história temporal do padrão de *speckle* (ou *time history speckle pattern*, THSP) foi proposta por Oulamara, Tribillon e Duvernoy (1989) e avaliada por Xu, Joenathan e Khorana (1995) que a definiram com *space-time speckle* (STS).

Braga Júnior et al. (2008) consideram que o STS tem sido utilizado como forma de caracterizar a atividade de materiais iluminados pelo laser e, em particular, ele tem sido utilizado como base para implementar um momento estatístico de segunda ordem, denominado momento inércia, ou MI, obtendo-se um índice de atividade do material em análise (ARIZAGA; TRIVI; RABAL, 1999).

A técnica consiste em registrar a história temporal de um padrão de *speckle* no tempo em uma imagem bidimensional denominada THSP, a qual corresponde à coleta de uma mesma linha de *pixels* na imagem em instantes sucessivos e organizá-los verticalmente, lado a lado, em uma imagem intermediária (THSP). O eixo das abscissas apresenta informações sobre a evolução temporal dos *pixels* selecionados e, no eixo das ordenadas, há o registro da distribuição espacial dos padrões de interferência (ARIZAGA; TRIVI; RABAL, 1999).

Para Faccia et al. (2009), esta técnica permite a ordenação dos dados obtidos para análise quantitativa. Na Figura 12 está ilustrada a construção de uma imagem THSP.

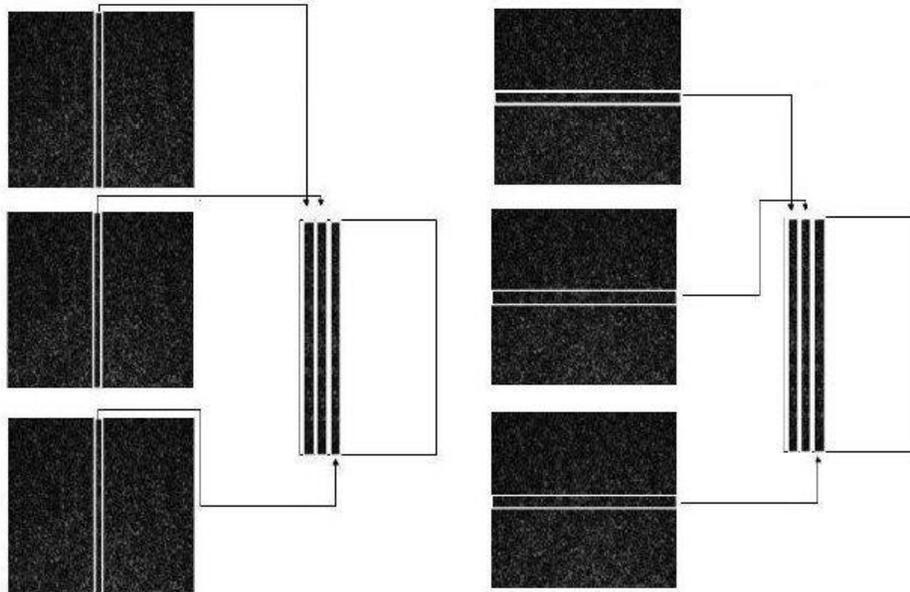


Figura 12 Construção de uma imagem THSP. A linha central é registrada em momentos sucessivos

Fonte: Adaptado de Costa (2011)

Além das técnicas citadas para a criação de uma imagem THSP, pode-se utilizar, ainda, uma técnica baseada em pontos aleatórios em uma imagem e suas subsequentes para a montagem do THSP randômico.

2.3.2.3 Matriz de ocorrência

A matriz de ocorrência (MOC) é definida, por Arizaga, Trivi e Rabal (1999), onde as entradas são os números de ocorrências de um valor em 8 *bits* (0-255) de intensidade i , seguidos por um valor de intensidade j presente no THSP (Equação 8).

$$MOC = [N_{ij}] \quad (8)$$

em que N_{ij} corresponde ao número de ocorrências de um valor de intensidade i , seguido por um valor de intensidade j , ao se deslocar pelas linhas do THSP.

Um exemplo didático foi adaptado de Silva (2007). Imagine uma situação em que a codificação dos níveis de cinza seja realizada com apenas 2 bits (n^2), resultando em uma resolução de 4 tons de cinza. Na Figura 13 tem-se essa representação, ilustrando um caso de THSP estático.

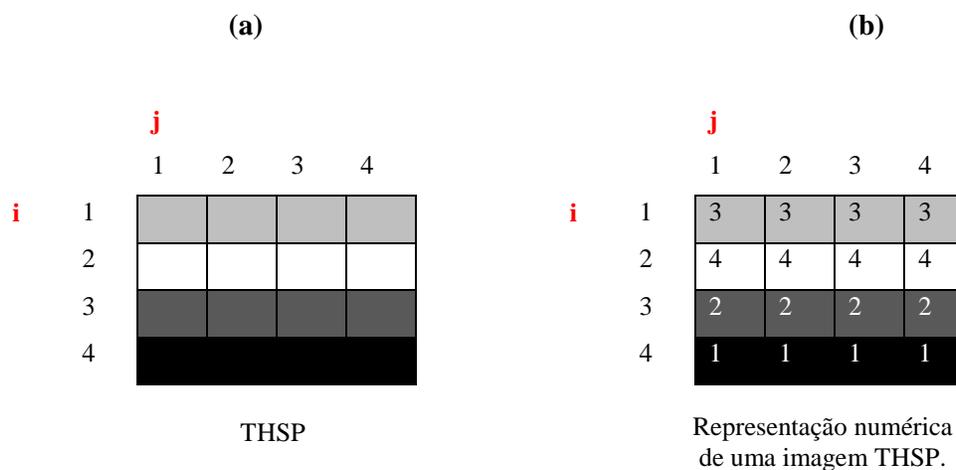


Figura 13 Exemplo fictício de uma imagem THSP estática (a) e sua representação numérica (b)

Fonte: Adaptado de Silva (2007)

Na Figura 14 ilustra-se a representação da MOC de uma imagem THSP mostrada na Figura 13.

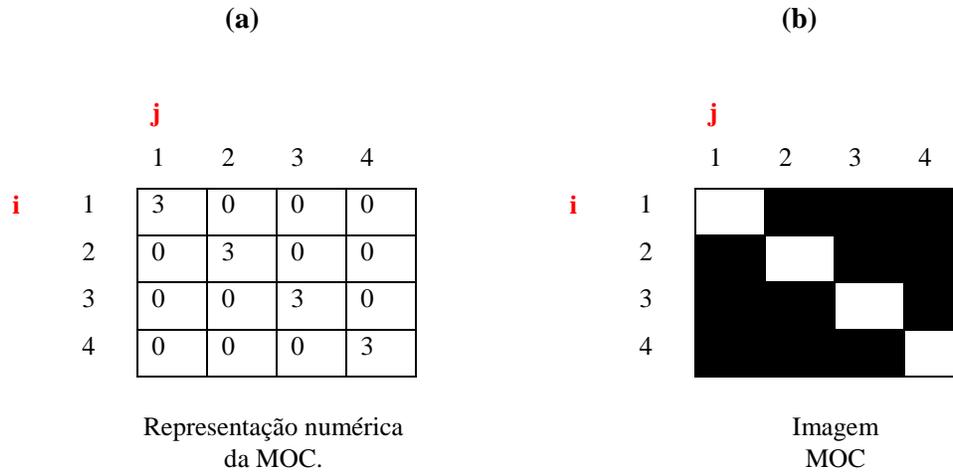


Figura 14 Representação numérica de uma MOC estática (a) e sua imagem (b)
Fonte: Adaptado de Silva (2007)

Nesse exemplo fictício, considera-se que não há atividade no material de análise, portanto, não há variação dos níveis de cinza no conjunto de imagens, resumida na imagem THSP pelas linhas contínuas que não apresentam variações nos seus níveis de cinza. Observa-se que os valores da MOC estão na diagonal central, e ao mesmo tempo estes valores não dispersam da diagonal, portanto, não há atividade nesse material.

Entretanto, se o material a ser analisado apresentar alta atividade, será possível observar uma imagem THSP com grande atividade e a matriz de ocorrência apresenta os elementos não nulos fora da diagonal principal (ZDUNEK et al., 2012). Na Figura 15a observa-se a representação de uma imagem THSP com alta atividade.

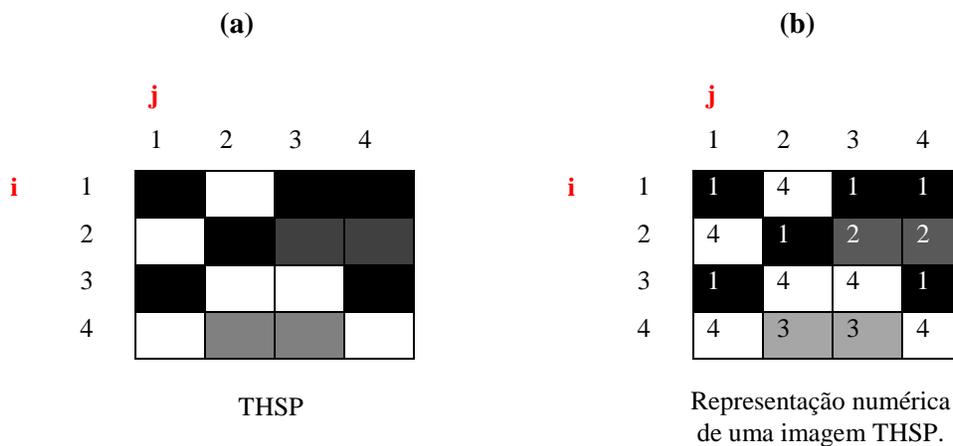


Figura 15 Imagem THSP com alta atividade (a) e sua representação numérica (b)

De acordo com Blota et al. (2011), a MOC mede a frequência com que um nível de cinza aparece em uma distância específica de outro nível de cinza, dentro de uma determinada área da janela. Na Figura 16 mostra-se a representação numérica e gráfica de uma MOC com alta atividade.

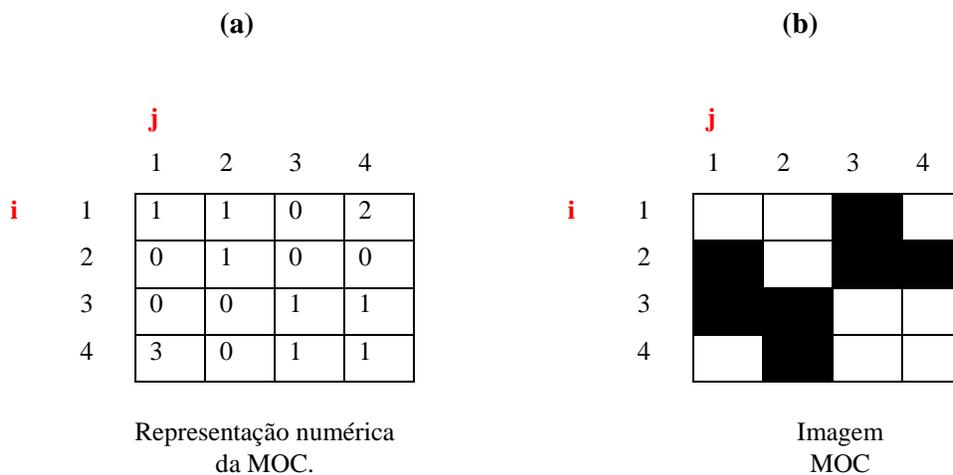
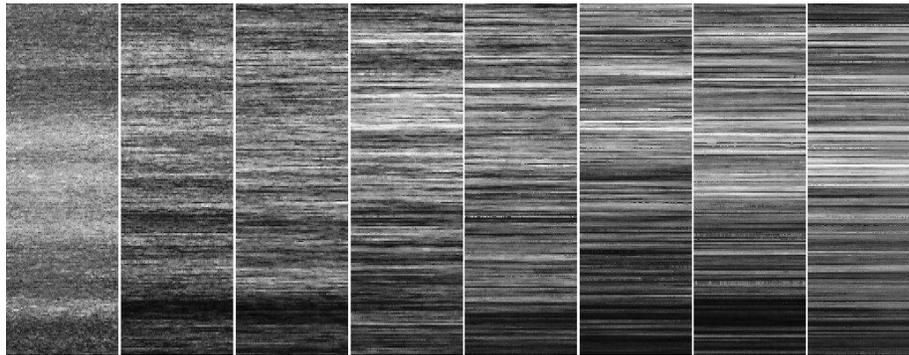


Figura 16 Representação numérica da MOC com alta atividade (a) e a imagem MOC (b)

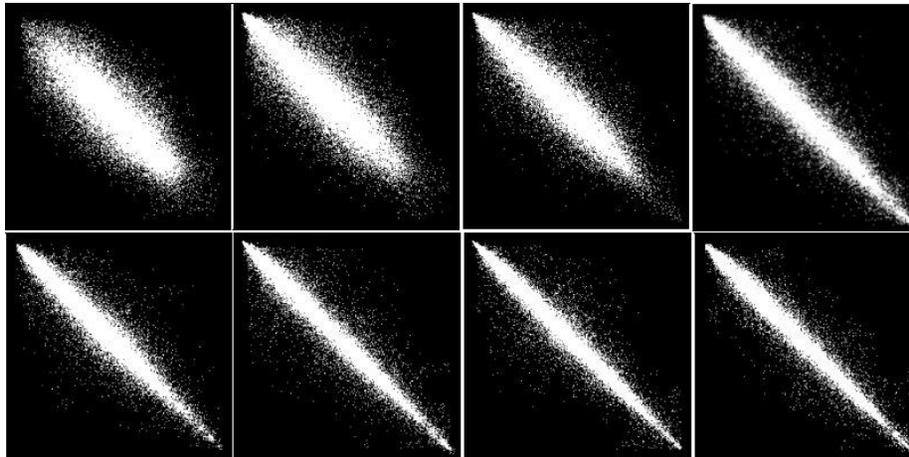
Fonte: Adaptado de Silva (2007)

A matriz de ocorrências assume a forma predominante de uma matriz diagonal, em que os valores se concentram em torno da diagonal principal (quando $i = j$). Os desvios da diagonal principal estão relacionados com o nível de atividade, pois quanto mais distante da diagonal principal, mais ativo está aquele ponto sob observação.

Na Figura 17 observam-se 8 imagens de THSP da secagem de tinta em uma moeda e suas respectivas matrizes de ocorrências.



(a)



(b)

Figura 17 THSPs da secagem de tinta (a) e suas matrizes de ocorrências (b)
Fonte: Adaptado de Silva et al. (2011)

As imagens de THSP (Figura 17a) foram coletadas periodicamente, a cada vinte minutos, sobre uma coleção de imagens da secagem de tinta aplicada em uma moeda.

A atividade do *speckle* dinâmico da secagem de tinta vai reduzindo no tempo, conforme descrito por Silva et al. (2011) e as matrizes de ocorrências acompanharam esse comportamento, em que, nas primeiras imagens MOC (Figura 17b), os elementos não nulos estão mais dispersos ao redor da diagonal principal e, no decorrer do processo de secagem de tinta, esses elementos vão se aproximando da diagonal principal, como esperado.

2.3.2.4 Momento de inércia (MI)

Arizaga, Trivi e Rabal (1999) apresentaram uma das maneiras de examinar o *speckle* dinâmico de forma numérica, baseando-se na ideia apresentada por Oulamara et al. (1989) e que está relacionada à atividade presente no material iluminado, quantificando a atividade biológica.

Oulamara, Tribillon e Duvernoy (1989) e, posteriormente, Xu, Joenathan e Khorana (1995) propuseram a transformação das imagens do *speckle laser* dinâmico em uma matriz de espaço por tempo. Tais transformações são denominadas *temporal pseudo-image* e *space-time speckle* (STS), respectivamente. O STS é composto pela alocação de uma mesma linha ou coluna de cada imagem no tempo, lado a lado, formando uma nova matriz (ou imagem) com uma dimensão representando os pixels da linha e com a outra dimensão representando o tempo.

A matriz STS é representada por *pixels* codificados em 8 bits, que variam entre 0 e 255 valores em níveis de cinza (NOBRE et al., 2009), e é o primeiro passo para o cálculo do momento de inércia (MI) proposto por Arizaga, Trivi e Rabal (1999), que chamavam o STS de THSP. O segundo passo para o

cálculo do MI é a montagem da matriz de ocorrência que distribui as ocorrências sucessivas de dois *pixels* na THSP em uma matriz com dimensão 256 x 256 *pixels*, sendo que em uma dimensão aloca-se um *pixel* da THSP e, na outra dimensão, o *pixel* seguinte (RABAL; BRAGA JÚNIOR, 2008).

A partir da matriz de ocorrência, o momento de inércia é calculado segundo a Equação 9, em que i e j representam as duas dimensões da MOC (Matriz de Ocorrência).

$$MI = \sum_{i,j} \frac{MOC_{ij} * (i - j)^2}{normalization} \quad (9)$$

O MI consiste no somatório do produto das ocorrências (MOC) pelo quadrado da diferença das posições de cada ocorrência, sendo que Arizaga, Trivi e Rabal (1999) propuseram uma normalização para uma matriz de ocorrência, consistindo de forçar cada linha de somatório.

Existem duas variações da Equação 9 para o cálculo de MI e relacionadas com a normalização. A primeira variação foi proposta por Cardoso (2011), em que *normalization* é igual ao somatório total das ocorrências. Teoricamente, a Equação 9, com as normalizações de Cardoso e Arizaga são iguais, exceto por um fator de *offset*, todavia, com a diferença de a equação ter o valor de normalização relativizado para diferentes tamanhos de THSP, permitindo, assim, a sua comparação.

A segunda e última variação apresenta uma normalização fixa em 256, como demonstrado na Equação 10.

$$MI = \sum_{i,j} \frac{MOC_{ij} * (i - j)^2}{256} \quad (10)$$

2.3.2.5 Diferença dos valores absolutos

A diferença dos valores absolutos (AVD) é um momento de primeira ordem estatística que é proposto como uma alternativa ao método de momento de inércia. Ele baseia-se no princípio de que o somatório das diferenças é a principal informação procurada e que a operação quadrada realizada no método de momento de inércia pode amplificar as variações no THSP de forma distorcida nas altas frequências (Braga Júnior et al., 2011). A Equação 11 apresenta o AVD sem a normalização.

$$AVD = \sum_{ij} \{COM[i, j] * |i - j|\} \quad (11)$$

Entretanto, existem duas variações da Equação 11 para o cálculo da diferença dos valores absolutos (AVD), denominadas de AVD Arizaga e AVD Cardoso, representadas na Equação 12.

$$AVD = \sum_{i,j} \frac{MOC_{ij} * |i - j|}{normalization} \quad (12)$$

A normalização feita por Arizaga (Arizaga et al., 1999) representa a normalização de cada linha, em que o valor de *normalization* será a soma das ocorrências por linha.

A normalização feita por Cardoso et al. (2011) realiza a *normalization* de todas as ocorrências da matriz MOC.

2.3.3 *Quality Test* (QT)

O *quality test* (QT), ou teste de qualidade, é uma estratégia utilizada para garantir que os dados analisados estejam dentro de parâmetros mínimos que permitam análises numéricas e gráficas confiáveis. Os parâmetros utilizados para este teste são o contraste, a homogeneidade e a saturação.

2.3.3.1 Contraste

O contraste é uma metodologia de análise do padrão de *speckle* proposta por Briers e Webster (1996), também conhecida como LASCA. Permite um resultado *on-line* (em tempo real) e, para tanto, utiliza apenas uma imagem para indicar o nível de atividade do material iluminado. Esta característica baseia-se no tempo de integração que cada imagem leva para ser adquirida pela câmara CCD.

Assim, durante este tempo de execução, a informação temporal que permite a análise da atividade está presente no período em que cada imagem for construída. Portanto, o ajuste entre as velocidades de atividade da amostra e da captura de cada imagem precisa ser adequado e é esta avaliação que se utiliza no teste de qualidade utilizando o contraste. Ou seja, se a atividade da amostra é muito mais rápida do que a velocidade de captura de cada imagem, o que se observa é uma perda de definição dos grãos de *speckle*, o que comprometerá as análises do padrão de *speckle* no tempo.

Para Rabal e Braga Júnior (2008), o método utiliza a estatística espacial de primeira ordem de tempo integrado com o *speckle*. Se as variações de intensidade são relativamente rápidas, o tempo de integração finito no sistema de aquisição diminui o desvio padrão $\sigma_{x,y}$ da variação espacial de intensidade I medido. Assim, o contraste é definido pela Equação 13.

$$C = \frac{\sigma_{x,y}}{\langle I \rangle} \quad (13)$$

2.3.3.2 Homogeneidade

É um método do teste de qualidade do *speckle* laser dinâmico e é realizado sobre uma coleção de imagens divididas em pequenas janelas com $M \times N$ *pixels*. Consiste em medir a variabilidade espacial da atividade, observando o valor do momento de inércia, ou outro quantificador numérico, em cada uma das janelas de estudo, por meio da similaridade entre cada MI e sua vizinhança (CARDOSO, BRAGA JÚNIOR e RABAL, 2012).

Na Figura 18, o nível de homogeneidade para a janela 5 (W5) é dado pela Equação 14.

IM1	IM2	IM3
IM4	IM5	IM6
IM7	IM8	IM9

Figura 18 Ilustração de uma imagem dividida por pequenas janelas para o cálculo da homogeneidade

Fonte: Adaptado de Cardoso, Braga Júnior e Rabal (2012)

A homogeneidade é dada pela Equação 14.

$$Homogeneidade = 100 \frac{\sigma(IM_2, IM_4, IM_5, IM_6, IM_8)}{\mu(IM_2, IM_4, IM_5, IM_6, IM_8)} \quad (14)$$

2.3.3.3 Saturação

É um método do teste de qualidade do *speckle* laser dinâmico e também é conhecido como subexposição. O método é realizado sobre uma coleção de imagens divididas em pequenas janelas com $m \times n$ *pixels*, em que é observado o nível de cinza da janela. A área saturada é definida se a soma da quantidade de *pixels* observados (somados somente se possuírem valores de níveis de cinza iguais ou acima de 255) atingirem uma porcentagem acima de um limite escolhido pelo usuário.

Assim, pode-se definir tanto um valor limite do nível de cinza dentro da janela como a porcentagem do limite para classificar a saturação. Por exemplo, pode ser definido que, dentro de uma janela, o valor é considerado saturado se ele estiver acima de 240 ou se o conjunto de valores estiver igual a 255, em uma porcentagem escolhida.

Na Figura 19 representam-se as cores presentes em níveis de cinza em uma imagem de 8 *bits*, em que a intensidade 0 representa a cor preta, a intensidade 255 representa a cor branca e outras intensidades entre esse intervalo correspondem a uma escala em níveis de cinza.

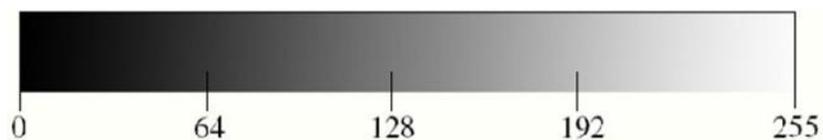


Figura 19 Graduações dos níveis de cinza
Fonte: Freitas (2010)

Outro parâmetro que pode ser observado quando estamos analisando a saturação é se existem áreas escuras nessa janela. Para o cálculo de áreas escuras, segue-se a mesma metodologia utilizada para a saturação de *pixels* acima de 255.

2.4 Software Scilab

O *Scilab* TM é um *software* científico para computação numérica semelhante ao *Matlab* TM, que proporciona um poderoso ambiente computacional para aplicações científicas e de engenharia. É um *software* multiplataforma, podendo ser instalado tanto no Windows como no Linux.

Pires (2004) define o *Scilab* como um ambiente utilizado no desenvolvimento de programas para a resolução de problemas numéricos, fundamentalmente na manipulação de vetores e matrizes. Criado e mantido por pesquisadores pertencentes ao Institut de Recherche en Informatique et en Automatique (INRIA), por meio do Projeto Méthods, algorithmes et logiciels pour l'automatique (MÉTALAU) e á École Nationale des Ponts et Chaussées, ENPC, o *Scilab* é um *software* gratuito (*free software*) e é distribuído com o código fonte aberto (*open source software*).

Barreto (2008) complementa que o *Scilab* tem inúmeros comandos, que são pequenos programas chamados *functions* (funções), agrupados, de acordo com a afinidade dos algoritmos que executam, em *toolboxes* (caixas de ferramentas) que designaremos por bibliotecas.

Pires e Rogers (2002) complementa suas características: (1) é um *software* de distribuição gratuita, com código fonte disponível. Sua linguagem é simples e de fácil aprendizado; (2) possui um sistema de auxílio ao usuário, *help* e (3) apresenta facilidades para a definição de funções.

Além de todas essas características, outra que se destaca é a facilidade com que o usuário pode criar seus próprios programas. Barretos (2008) afirma que, apesar de simples, a linguagem *Scilab* disponibiliza a maioria das estruturas das linguagens de programação convencionais. A diferença principal é que, na programação *Scilab*, não há necessidade da declaração prévia dos tipos das variáveis que serão utilizadas ao longo do programa.

3 CONCLUSÃO

O guia prático e o programa de computador intitulado Bibliotecas *Speckle* Laser Dinâmico (BSLD) apresentados permitem a análise e o processamento do *speckle* por meio de métodos gráficos, interpretações numéricas ou um misto de ambos, e também utilizando um Teste de Protocolo de Qualidade que apresentou uma forma de reduzir a subjetividade na configuração experimental e evitar resultados indesejáveis usando a saturação, o contraste e os testes de homogeneidade.

A metodologia e a implementação das principais rotinas desenvolvidas foram apresentadas. Os testes e os resultados mostraram-se satisfatórios, o que, de acordo com a literatura, torna o guia uma ferramenta apropriada para análise e o processamento do *speckle*.

Por fim, foram implementadas todas as rotinas em plataforma de código livre (*software* livre), facilitando o acesso da comunidade acadêmica a essa ferramenta óptica de vasta aplicação. Portanto, a padronização dos métodos utilizados minimiza a possibilidade de erros e dúvidas no processamento e na interpretação dos resultados.

REFERÊNCIAS

AIZU, Y.; ASAKURA, T. Bio-speckle phenomena and their application to the evaluation of blood flow. **Optics & Laser Technology**, Surrey, v. 23, n. 4, p. 205-219, Aug. 1991.

ANSARI, M. D. Z.; NIRALA, A. K. Biospeckle activity measurement of Indian fruits using the methods of cross-correlation and inertia moments. **Optik – International Journal for light and Electron Optics**, v. 124, n. 15, p. 2180-2186, Aug. 2013.

ARIZAGA, R. et al. Display of the local activity using dynamical speckle patterns. **Optical Engineering**, Redondo Beach, v. 41, n. 2, p. 287-294, June 2002.

ARIZAGA, R.; TRIVI, M.; RABAL, H. J. Speckle time evolution characterization by the co-occurrence matrix analysis. **Optics and Laser Technology**, Surrey, v. 31, n. 2, p. 163-169, Mar. 1999.

BAGNATO, V. S. Os fundamentos da luz laser. **Física na Escola**, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 4-9, 2001. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol2/Num2/a02.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2013.

BARRETO, L. S. **Iniciação ao Scilab**. 2008. Disponível em: <http://www.decom.ufop.br/bob/com400/livros/livroSci_LSB.pdf>. Acesso em: 2 maio 2013.

BLOTA, E. et al. Evaluation of speckle-interferometry descriptors to measuring drying-of-coatings. **Signal Processing**, Amsterdam, v. 91, n. 10, p. 2395–2403, Oct. 2011.

BRAGA JÚNIOR, R. A. **Biospeckle**: desenvolvimento de uma tecnologia aplicada à análise de sementes. 2000. 150 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade de Campinas, Campinas, 2000.

BRAGA JÚNIOR, R. A. et al. Assessment of seed viability by laser speckle techniques. **Biosystems Engineering**, London, v. 86, n. 3, p. 287-294, Nov. 2003.

BRAGA JÚNIOR, R. A. et al. Biospeckle numerical values over spectral image maps of activity. **Optics Communications**, Amsterdam, v. 285, n. 5, p. 553-561, Mar. 2012.

BRAGA JÚNIOR, R. A. et al. Detection of fungi in beans by the laser biospeckle technique. **Biosystems Engineering**, London, v. 91, n. 4, p. 465-469, Aug. 2005.

BRAGA JÚNIOR, R. A. et al. Evaluation of activity through dynamic laser speckle using the absolute value of the differences. **Optics Communications**, Amsterdam, v. 284, n. 2, p. 646-650, Jan. 2011.

BRAGA JÚNIOR, R. A. et al. Live biospeckle laser imaging of root tissue. **European Biophysics Journal**, New York, v. 38, n. 5, p. 679-686, May 2009.

BRAGA JÚNIOR, R. A. et al. Time history speckle pattern under statistical view. **Optics Communications**, Amsterdam, v. 281, n. 9, p. 2443-2448, May 2008.

BRIES, D. J.; WEBSTER, S. Laser Speckle Contrast Analysis (LASCA): a non-scanning, full-field technique for monitoring capillary blood flow. **Journal of Biomedical Optics**, Washington, v. 1, n. 2, p. 174-179, Apr. 1996.

CARDOSO, R. R.; BRAGA JÚNIOR., R. A.; RABAL, H. J. Alternative protocols on dynamic speckle laser analysis. In: INTERNATIONAL

CONFERENCE ON SPECKLE METROLOGY, 5., 2012, Vigo. **Proceedings...**
Vigo, Spain: SPIE, 2012. v. 8413, art. 84131F, p. 2131-2136.

CARDOSO, R. R. et al. Frequency signature of water activity by biospeckle laser. **Optics Communications**, Amsterdam, v. 284, n. 8, p. 2131-2136, Apr. 2011.

CARVALHO, P. H. A. et al. Motility parameters assessment of bovine frozen semen by biospeckle laser (BSL) system. **Biosystems Engineering**, London, v. 102, n. 1, p. 31-35, Jan. 2009.

COSTA, A. G. **Predição e identificação de danos internos em batata por meio do biospeckle laser**. 2011. 81 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

FACCIA, P. A. et al. Differentiation of the drying time of paints by dynamic speckle interferometry. **Progress in Organic Coatings**, v. 64, n. 4, p. 350-355, Mar. 2009.

FREITAS, P. L. S. **Análise do comportamento de métodos de classificação de padrão de speckle dinâmico**. 2010. 93 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

FUJII, H. et al. Blood flow observed by time-varying laser speckle. **Optics Letters**, v. 10, n. 3, p. 104-106, 1985.

FUJII, H. et al. Evaluation of blood flow by laser speckle image sensing. Part. I. **Applied Optics**, New York, v. 26, n. 24, p. 5321-5325, Dec. 1987.

GOMES, J.; VELHO, L. **Computação gráfica: imagem**. 2. ed. Rio de Janeiro: IMPA, 2002. 424 p.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Digital image processing**. New Jersey: Prentice-Hall, 2007. 976 p.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento digital de imagens**. 3. ed. São Paulo: Editora Pearson, 2009. 624 p.

KURENDA, A.; ADAMIAK, A.; ZDUNEK, A. Temperature effect on apple biospeckle activity evaluated with different indices. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 67, p. 118-123, May 2012.

MAIMAN, H. T. Stimulated optical radiation in ruby. **Nature**, London, v. 187, p. 493, Aug. 1960.

NEVES, S. C. M.; PELAES, E. G. Estudo e implementação de técnicas de segmentação de imagens. **Revista Científica da UFPA**, Belém, v. 1, n. 2, p. 1-11, jul. 2001.

NOBRE, C. M. B. et al. Biospeckle laser spectral analysis under Inertia Moment, Entropy and Cross-Spectrum methods. **Optics Communications**, Amsterdam, v. 282, n. 11, p. 2236-2242, June 2009.

NOTHDURFT, R.; YAO, G. Imaging obscured subsurface inhomogeneity using laser speckle. **Optics Express**, v. 13, n. 25, p. 10034-10039, 2005.

OULAMARA, G.; TRIBILLON, J.; DUVERNOY, J. Biological activity measurements on botanical specimen surfaces using a temporal decorrelation effect of laser speckle. **Journal of Modern Optics**, London, v. 36, n. 2, p. 136-179, Feb. 1989.

PIRES, M. **Introdução ao scilab versão 3.0**. 2004. Disponível em: <<http://www.ime.usp.br/~tonelli/numerico/sciport-3.0.pdf>>. Acesso em: 2 maio 2013.

PIRES, P. S. M.; ROGERS, D. A. Free/open source software: an alternative for engineering students. In: ASEE/IEEE FRONTIERS IN EDUCATION CONFERENCE, 32., 2002, Boston. **Proceedings...** Boston: ASEE/IEEE, 2002. v. 1, p. T3G-7-T3G-11.

RABAL, H. J.; BRAGA JÚNIOR, R. A. **Dynamic laser speckle and applications**. Boca Raton: CRC, 2008. 304 p.

RIBEIRO, K. M. **Desenvolvimento de um protocolo para aplicação da técnica do biospeckle em cultura de tecidos**. 2011. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

SAUDE, A. V. et al. Alternative measures for biospeckle image analysis. **Journal of the Optical Society of America**, Rochester, v. 29, n. 8, p. 1648-1657, 2012.

SILVA, E. R. da. **Estudo das propriedades do Biospeckle e suas aplicações**. 2007. 120 p. Dissertação (Mestrado em Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

SILVA, M. M. et al. Optical mouse acting as biospeckle sensor. **Optics Communications**, Amsterdam, v. 284, n. 7, p. 1798-1802, Apr. 2011.

XU, Z.; JOENATHAN, C.; KHORANA, B. N. Temporal and spatial properties of the time varying speckles of botanical specimens. **Optical Engineering**, California, v. 34, n. 5, p. 1487-1502, May 1995.

ZDUNEK, A. et al. New nondestructive method based on spatial-temporal speckle correlation technique for evaluation of apples quality during shelf-life. **International Agrophysics**, Lublin, v. 21, n. 3, p. 305-310, 2007.

ZDUNEK, A. et al. The biospeckle method for the investigation of agricultural crops: a review. **Optics & Lasers in Engineering**, Surrey, v. 52, n. 1, p. 276-285, 2014.

ZDUNEK, A.; HERPPICH, W. B. Relation of biospeckle activity with chlorophyll content in apples. **Postharvest Biology Technology**, Amsterdam, v. 64, n. 1, p. 58-63, Feb. 2012.

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1

Quality test protocol to dynamic laser speckle analysis

O primeiro artigo está apresentado na íntegra conforme as normas do periódico:
Optics and Lasers in Engineering.

Normas do periódico: Optics and Lasers in Engineering.

Artigo submetido

Quality test protocol to dynamic laser speckle analysis

Júnio Moreira¹, R. R. Cardoso¹,
Roberto Alves Braga Júnior¹*,

¹Department of Engineering, Federal University of Lavras,
UFLA, CP 3037, Minas Gerais, Brazil.

Email addresses: junio.moreira83@gmail.com rafaelrc.ufla@gmail.com
robbraga@deg.ufla.br

* Corresponding author: Tel. + 55 35 3829 1672

Abstract

Biospeckle (BSL) is a phenomenon developed when a dynamic process occurs in a material under laser illumination, containing considerable information related to biological and non-biological activity. The analysis of the data has been a challenge due to the complex interaction between the light and the material, therefore, by the high sensitivity of the BSL, and by the variability of biological material. This study aimed to improve the BSL techniques in order to enhance its robustness, thus reducing its subjectivity and its dependence on human being expertise. The work presents an aid protocol to provide a quality test of three key features of the speckle patterns, particularly related to the saturation, the under-exposure, the homogeneity and the contrast of the grains. The quality test was carried out in data from a maize seed and a paint drying under biospeckle laser monitoring, where it was possible to identify some problems in the images related to the tested features. The results showed the feasibility of the quality test control of early steps of the biospeckle laser analysis helping the judgement of the setup.

Key-words: biospeckle; quality test; normalization; standard deviation.

1 Introduction

The analysis of the signals from the dynamic laser speckle patterns uses techniques of digital image processing and statistical approaches, which can be divided in two the graphical and the numerical analysis. The graphical analysis results in maps showing spatial variability of BSL activity level, for instance the Fujii Method [1], the Generalised Differences (GD) [2], the Laser Analysis of Speckle Contrast (LASCA) [3], and the temporal difference method [4]. Otherwise, the numerical analysis results in numbers related to the activity of the

boiling by means of techniques such as the Inertia Moment (IM) [5], the autocorrelation [6], the entropy [7] or even the contrast [3].

However, the complexity of the phenomenon, related to the great number of variables involved in dynamic speckle formation, particularly in biological materials, added to the sensitiveness of the technique, demands a continuous development of the traditional techniques, and in addition there is a demand concerned to the standardization of the experimental configurations and thus of the outputs. In the literature it is possible to see many works with proposals to improve the traditional techniques for BSL analysis [8], for example, the change in the GD procedure in order provide faster time consuming than the traditional GD, or the change in the IM method which replaced the squared differences by the absolute values of the differences (AVD) [10]. It is also possible to see works dealing with answers in frequency domain [12-14]. In order do bias the better method to specific application, the autocorrelation of the speckle patterns claimed to be the best approach to monitor the biological activity liked to the temperature evolution [15]. Despite the efforts to improve the traditional methods and their outputs, there is still a lack of standardization mainly related to the acquiring steps of the images. The main hypothesis of this work is based on the belief that there is still room for improvements and standardization of the BSL results, particularly to avoid subjectivism in the acquisition of the images. Therefore, this work aimed to develop a protocol to address the requirements for the ideal assembling of the data before the main analysis, that we are naming here as Quality Test Protocol.

2 Theory

2.1 Saturation

The saturation of the image is a feature that inform whether the pixels within the image have their values equal to zero (0) or 255, which are the lower and the upper level of the grey scale (based on 8 bits). Therefore, if there is a portion of the image with values equal to 0 or equal to 255, one can say that there is an underexposure or a saturation, respectively, of the sample by the laser light that will certainly compromise the BSL analysis [16]. The saturation test aims to classify those areas and present them graphically to help the best judgment of the user.

2.2 Contrast

The contrast was proposed as a measure of activity [3] and it was applied in single images of the speckle, analysing the integration period of the camera. The contrast has been adopted as a useful tool to measure online the speckle activity [17], however it can be useful as well to test the speckle patterns when an offline measurement is taking place.

Therefore, the idea of the test is the evaluation of the contrast of the grains in a single image of the collection and evaluate if the activity of the material is already expressed. Thus if one single speckle pattern presents low contrast certainly the velocity of the phenomenon under monitoring is higher than expected and the analysis of the collection of image will lead the user to wrong conclusions.

Equation 1 shows the contrast test.

$$C = \frac{\sigma_{x,y}}{\langle I \rangle} \quad (1)$$

Where $\langle I \rangle$ and σ represent the spatial average and the standard deviation of gray level intensity, respectively, for each observation window.

2.3 Homogeneity

The third test in the protocol is helpful when ones desire to provide the association of graphical and numerical results [21], when desire ones to get a numerical analysis in a heterogeneous sample. Therefore, the test evaluates the level of homogeneity in the whole image and it presents the areas where the activity measured by numerical methods such as the Inertia Moment [5] or the AVD [10] can be considered far from borders of areas with different activity.

$$IM = \sum_{ij} \frac{OCM_{|i-j|}}{Normalization} \quad (2)$$

Where the OCM is the occurrence matrix of the successive values in the Time History Speckle Pattern [5], and the i and j variables are the dimensions of the OCM matrix. The normalization provides the summation of the values of the occurrences in each line of the OCM equal to 1.

It is performed on a collection of images divided into small windows with $M \times N$ pixels elected by the user. The next step is to measure the spatial variability of the activity observing the value of the Moment of Inertia (IM) or

other numeric quantifier in each of the windows of study by the similarity between each IM and its neighborhood [21].

In Figure 1, the homogeneity level for the window 5 (IM5) is given by Eq. 3.

IM1	IM2	IM3
IM4	IM5	IM6
IM7	IM8	IM9

Figure 1 Illustration of image divided by small windows for homogeneity calculation

The homogeneity is given by equation 3:

$$Homogeneity = 100 \frac{\sigma(IM_2, IM_4, IM_5, IM_6, IM_8)}{\mu(IM_2, IM_4, IM_5, IM_6, IM_8)} \quad (3)$$

3 Methodology

All the examples (data) used in the tests are well known in the literature with, at least, one feature (contrast, homogeneity or saturation) compromised.

Saturation

The evaluation of the saturation or sub-exposition test was conducted over all images of the collection, and they were divided in small windows with $M \times N$ pixels. The variables M and N represent respectively the row and the column of each observation window within the whole matrix. In this work, it was presented the results related to windows of 30×30 pixels ($M \times N$) although many other sizes were tested. The possibility to choose the best window, by the user, is a relevant flexibility in the test, allowing the feedback to the user when adjusting the regions of interest (ROI). The values of M and N were set to 30 after some tests regarding the size of the image under analysis, particularly the case of the maize's images that had a size of 256×490 pixels, resulting in 8×16 windows, and covering in detail all the ROI's in the embryo, in the endosperm and as well in the neighbourhood of the crack. The grey levels, in each pixel, were observed throughout the collection of images, and the areas were classified in three kinds: saturation, normal or sub-exposition.

The data used in the grey level test was the classic collection of maize seed images [18] with a clear area of saturation within its embryo.

Contrast

The second parameter, the contrast level, was acquired for each window of $M \times N$ pixels, giving the information about the grain formation in speckle pattern [3].

The contrast test was conducted in a well-known example related to paint drying [9, 19, 20], where the first stages after the application of the paint were compared to the subsequent moments.

The test was also done in a heterogeneous image, such as the maize seed in order to illustrate the output of the proposed procedure. In the example, the windows were of 30×30 pixels.

Homogeneity

The homogeneity, which is the last test proposed in the quality protocol, was evaluated by means of the Inertia Moment (IM) in each observation window, with a size of window of 30X30 pixels. In this case, considering that the reduction in the spatial information does not affect considerably the IM activity values [28].

4 Results and Discussions

4.1 Saturation

In the maize seed image, the saturation in the core of the embryo caused, in the processed image (Fig.2a), a dark area misleading to wrong information, since the dark area in the embryo (Fig 2a) should be clearly linked to the high activity expected.

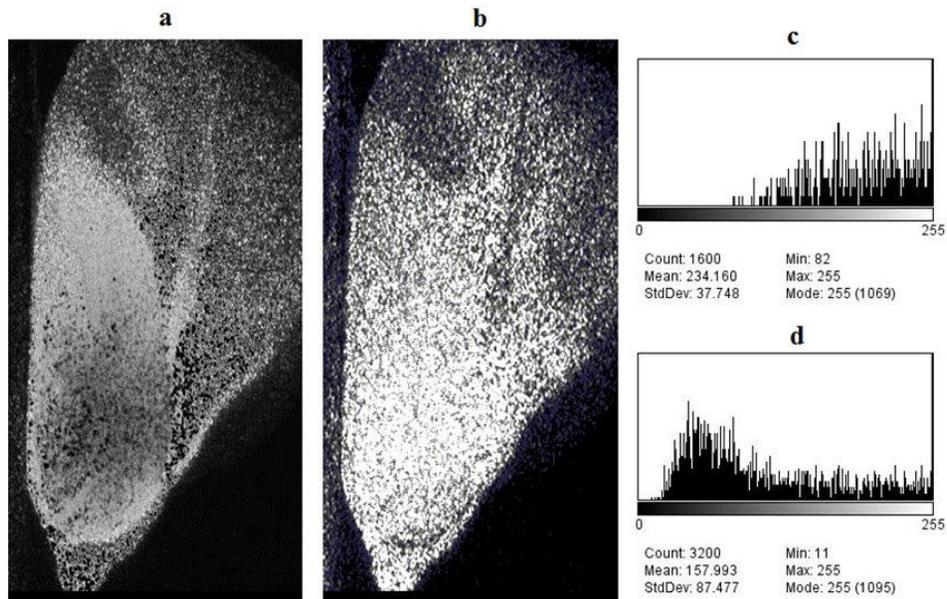


Figure 2 Result of (a) GD in a maize seed, and (b) one frame excerpted from the whole collection, with the (c) histogram of an area without saturation, and with the (d) histogram of an area with saturation

Saturated or sub-exposed areas in BSL images could create false activity impressions or mask real activity occurring in the material under study. Not only the knowledge about the existence of these extremes in the images is significant, but also the location of the saturated or the sub-exposed areas is important in many experiments, such as in seeds viability tests.

The map of activity of a maize seed generated by GD method in Figure 2a shows a lack of activity in the middle region of the embryo, which is addressed by the saturated area in Figure 2b, using a participant image of the collection. In Figure 2c and in Figure 2d it is shown the histogram of an area which can be considered as normal and an area considered with saturation respectively. The term participant image is used to refer to an image of the collection of frames, before processed.

The proposed classification of the whole image can be done by the windows as presented in Figure 3. In the centre of the embryo area, i.e. the occurrence of the value 255 appeared in many pixels, and therefore a map of saturation can be plotted to indicate the quality of the image before the main analysis, and thus allowing a correction of the set up in accordance with the extension of the saturation, or even the sub-exposition, and as well as in accordance with the region been analysed.

In this test it was defined as the maximum level of gray as a saturated value of 255. The samples were used to image windows of 30x30 pixels in size. The amounts present in each of the windows composed of 900 pixels representing the percentage of saturated pixels. In the red windows can be seen that this value is higher than 50%, forming a region of greater saturation.

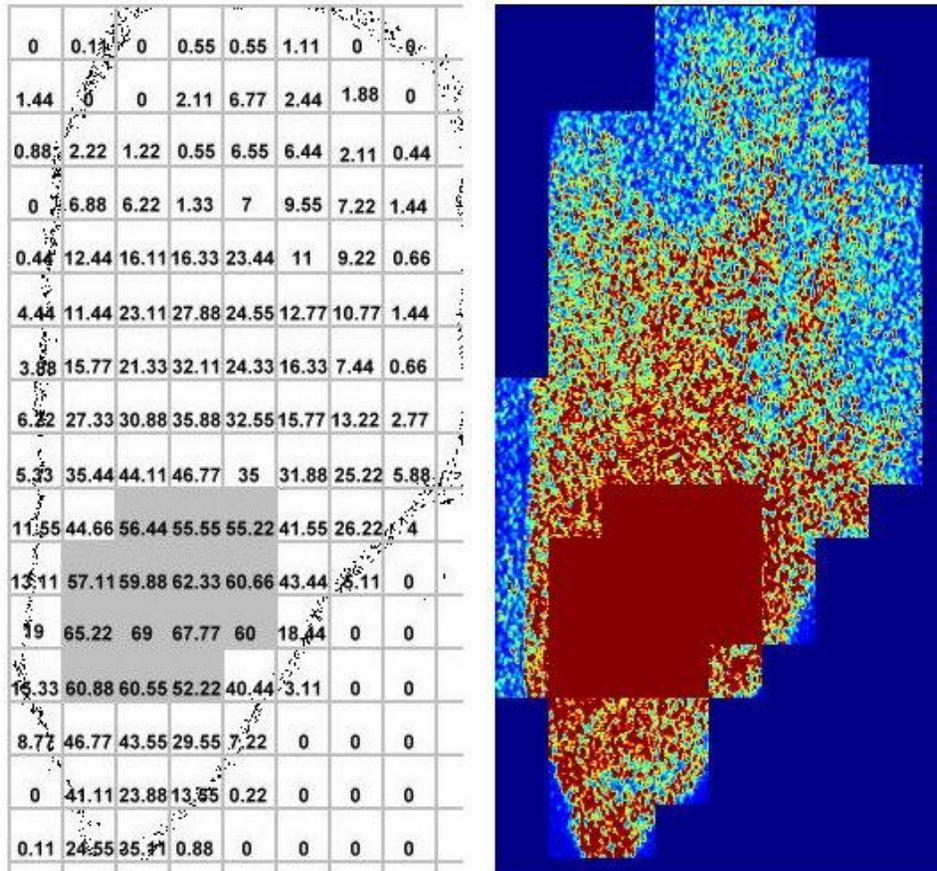


Figure 3 Percentage occurrence of saturation in maize seed over 50% of the pixels in the windows of 30x30 shown in gray

In Figure 3, the threshold of saturation was the occurrence (in percentage) of pixels with values equal to 255 (in gray level) higher than 50% over the pixels of the whole window. The sub-exposition was not relevant since its main occurrence was only out of the seed and therefore out of our regions of interest in this case. The size of the window was 30 X 30, however other sizes were tested to fit within the desired regions of interest (ROI).

4.2 Contrast

The contrast approach in the images (the second test of quality) was tested using Eq. 1, and one example of its influence in the results is presented in Fig. 4, where the paint drying phenomenon was monitored since its beginning. It is known, in the case of paint drying, that the instant just after the painting it happens a chaotic behaviour with high volatilisation and therefore with the typical case of under-sampling. Figure 4a presents a numerical analysis using IM method [14] to quantify the activity of ink evaporation over time, and Figure 4b shows an example of participant images at 5, 15, 25, 35, 45 and 55 minutes after painting an image group.

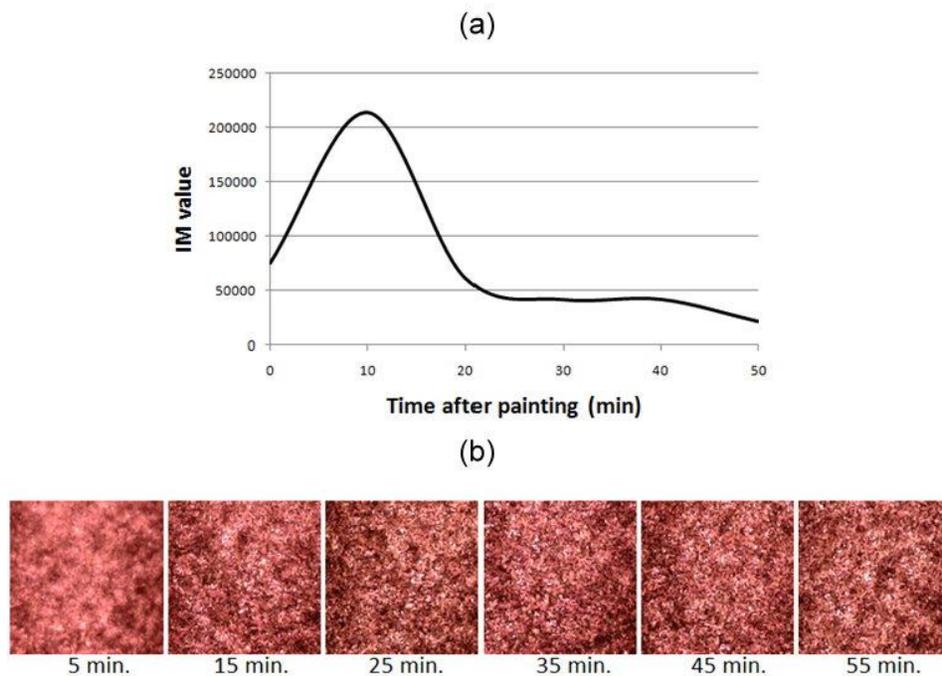


Figure 4 Result of a paint drying process measured by (a) IM values dimensionless and (b) participant images in some times moments

It can be observed that, in the first moment, the numerical result was inconsistent with the expectation. Volatilization activity is expected to be more frenetic a few moments just after painting, but IM did not show numerical output in accordance to that activity. The answer was that the evaporation occurs in a higher velocity than the rate of the image acquisition, which results in an under-sampling, an aliasing of the signal. The speckle grains were blurred which is evident in the first participant images in Fig. 4. In order to confirm this point, the contrast was performed according to Eq. 2 in the six stages addressed.

Figure 5 presents the mean contrast for each period of observation. The contrast value is lower in the first imagery group, indicating a blurred speckle pattern, and consequently hindering the numerical analysis performed by IM method. The reduction in the contrast in the first stage can explain the reduction of the IM values in that moment, confirming the time under-sampling in that first observation. Thus, that was a key factor to eliminate that stage from the analysis or to make the user aware of the under-sampling.

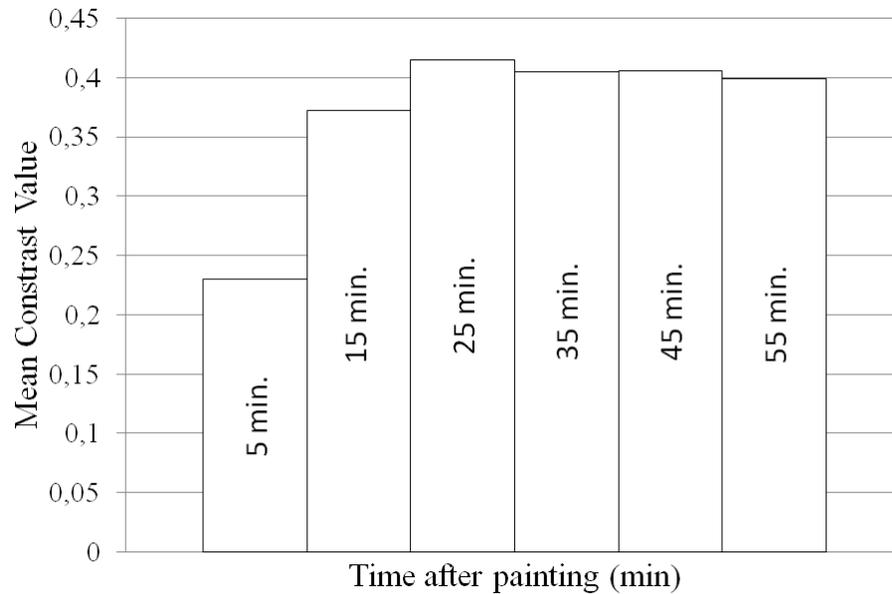


Figure 5 Mean value of contrast for each image group

In Figure 6 it can be observed that in regions with greater activity quality test performed with contrast, the value found for the contrast has a low contrast because the speckle grains are not well defined. Thus, the clear area in the embryo shows that even with one participant image, it is possible to create the map of activity, which means, the analysis of the BSL can be compromised when the whole collection of images is used to analyse the data, such as the misleading observed in the paint drying.

Already in areas that have a low activity has a high contrast because the speckle grain is tightly defined.

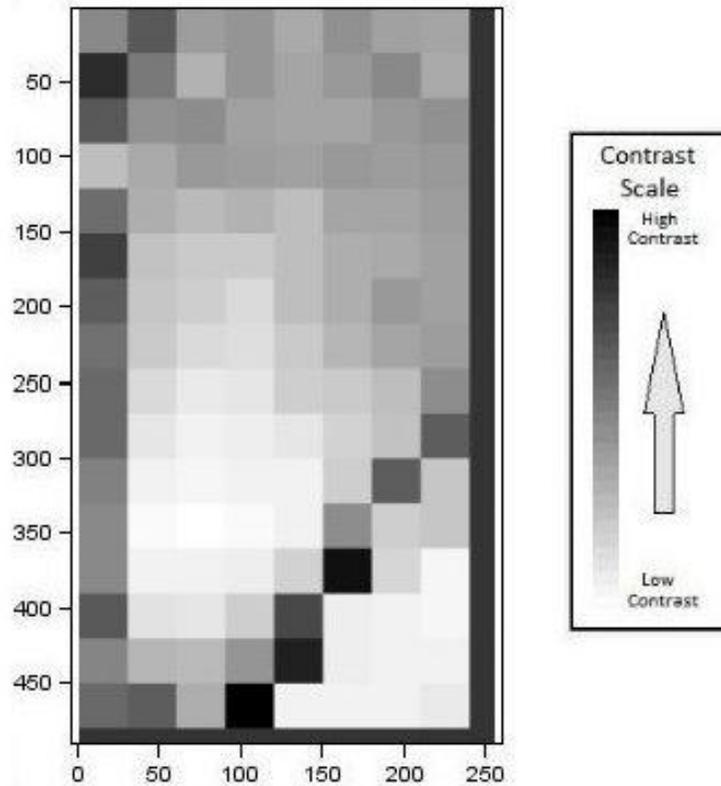


Figure 6 Result of a the method of contrast in maize seed measured in the windows of 30 x 30 in gray

4.3 Homogeneity

The homogeneity test in a seed can be observed in Fig. 7, where the colors present the level of homogeneity among the windows. The transition areas present low homogeneity, and the areas within the embryo or the endosperm present can be considered as good areas to carry out a numerical analysis. However, just one test as the homogeneity can lead the user to a wrong conclusion, for instance, in Fig. 7, the area of high homogeneity in the embryo, is considered by the contrast test as a bad area to be analysed.

Therefore, the tests proposed proved to be able, when applied together, to eliminate subjectivism in illumination experiments using mathematical tools validate the setup in order to acquire images with reliable quality. These techniques gathered in the Quality Test Protocol help in the standardization of the first step of the process which increases the robustness and thereby the accessibility of the technique.

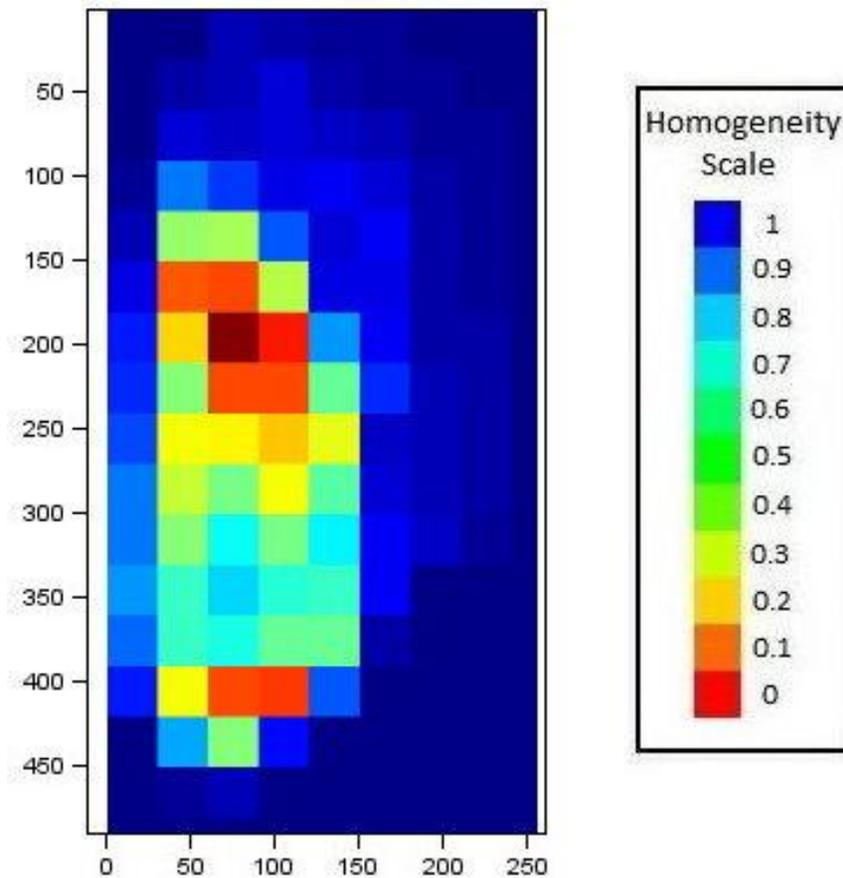


Figure 7 Quality Test homogeneity applied to the set of images maize seed

5 Conclusion

The Quality Test Protocol presented a way to reduce subjectivity in the setup of the experimental configuration and to avoid undesirable results using the saturation, the contrast and the homogeneity tests.

Acknowledgements

This work was partially supported by Federal University of Lavras, CNPq, Fapemig, Capes, and Finep from Brazil, and special thanks to Hector Jorge Rabal.

References

1. H. Fujii, Blood-flow observed by time-varying laser speckle. *Opt. Lett.* 10 (1985) 104-106.
2. R. Arizaga, Display of local activity using dynamical speckle patterns. *Opt. Eng.* 41 (2002) 287-294.
3. J.D. Briers, Wavelength dependence of intensity fluctuations in laser speckle patterns from biological specimens, *Opt Comm* 13 (1975) 324.
4. L. Martí-López, H. Cabrera, R.A. Martínez-Celorio, R. González-Peña Temporal difference method for processing dynamic speckle patterns. *Optics Communications* 283 (2010) 4972–4977.
5. R. Arizaga, M. Trivi, Speckle time evolution characterization by the co-occurrence matrix analysis, *Opt. Laser Technol.* 31 (1999) 163-169.
6. Z. Xu, C. Joenathan, B.M. Khorana, Temporal and spatial properties of the time-varying speckles of botanical specimens, *Opt. Eng.* 34 (1995) 1487–1502.
7. I. Passoni I, A. Dai Pra, H.J. Rabal, M. Trivi, R. Arizaga, Dynamic speckle processing using wavelets based entropy, *Opt. Commun.* 246 (2005) 219–228.
8. A. Zdunek, A. Adamiak, P. M. Pieczywek, A. Kurenda, The biospeckle method for the investigation of agricultural crops: A review, In: *Optics and Lasers in Engineering*, 52 (2013) 276-285.
9. A.V. Saúde, F.S. Menezes, P.L.S. Freitas, G.F. Rabelo, R.A. Braga, On generalized differences for Biospeckle image analysis, In: *Proc. 23rd SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images*, (2010) 209-215.

10. R.A. Braga, C.M.B. Nobre, A.G. Costa, T. Sáfadi, F.M. Costa, Evaluation of activity through dynamic laser speckle using the absolute value of the differences, *Opt. Commun.* (2011) 646-650.
11. Ansari, M.Z., Nirala, A.K. Assessment of bio-activity using the methods of inertia moment and absolute value of the differences *Optik – International Journal of Light and Electron Optics* 124 (2012) 2180-2186.
12. G.H. Sendra, R. Arizaga, H.J. Rabal, M. Trivi, Decomposition of biospeckle images in temporary spectral bands, *Opt. Lett.* 30 (2005) 1641–1643.
13. C.M.B. Nobre, R.A. Braga, A.G. Costa, R.R. Cardoso, W.S. da Silva, T. Sáfadi, Biospeckle laser spectral analysis under Inertia Moment, Entropy and Cross-Spectrum methods, *Opt. Commun.* 282 (2009) 2236-2242.
14. R.A. Braga, G.W. Horgan, A.M. Enes, D. Miron, G.F. Rabelo, J.B.B. Filho, Biological feature isolation by wavelets in biospeckle laser images, *Comput. Electron. Agr.* 58 (2007) 123-132.
15. A. Zdunek, L.I. Muravsky, L. Frankevych, K. Konstankiewicz, New nondestructive method based on spatial-temporal speckle correlation technique for evaluation of apples quality during shelf-life, *Intern. Agrophys.*, 21 (2007) 305-310.
16. Arizaga, R. *Methods of Dynamic Speckle Analysis: Statistical Analysis.* In: *Dynamic Laser Speckle and Applications* Eds. Rabal HJ and Braga Júnior RA (2008) 95-114.
17. J.D. Briers, S. Webster, Laser speckle contrast analysis (LASCA): a non-scanning, full field technique for monitoring capillary blood flow, *J. Biomed. Opt.* 1 (1996) 174–179.
18. R.A. Braga, M.G.G.C. Vieira, E.V.R.V. Pinho, H.J. Rabal, I.M. Dal Fabbro, A. Souza, Potencial do Bio-Speckle Laser para Avaliação da Viabilidade de Sementes, *Ciência e Agrotecnologia* 25 (3) (2001) 645-649.
19. E. Blotta, V. Ballarín, M. Brun, H.J. Rabal, Evaluation of speckle-interferometry descriptors to measuring drying-of-coatings, *Signal Process.* 91 (2011) 2395-2403.
20. J. Amalvy, C. Lasquibar, R. Arizaga, H.J. Rabal, M. Trivi, Application of dynamic speckle interferometry to the drying of coatings, *Prog. Org. Coat.* 42 (2001) 89–99.

21. R.A. Braga, R.R. Cardoso, P.S. Bezerra, F. Wouters, G.R. Sampaio, M.S. Varaschin, Biospeckle numerical values over spectral image maps of activity. *Opt. Commun.* 285 (2012) 553-561.
22. R.A. Braga, B. Silva, G.F. Rabelo, R. Marques, A.M. Enes, N. Cap, H.J. Rabal, R. Arizaga, M. Trivi, G. Horgan, Reliability of biospeckle image analysis, *Opt. Lasers Eng.* 45 (2007) 390-395

ARTIGO 2

Guia prático para processamento e análise do *speckle* laser dinâmico

O segundo artigo está apresentado de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 6022.

Normas do periódico: Optics Communications.

Artigo a ser submetido

Guia Prático para o processamento e análise do *speckle* laser dinâmico

Júnio Moreira¹, Roberto Alves Braga Júnior^{1*}

¹Engineering Department, Federal University of Lavras,
Lavras, Minas Gerais, Brazil.

Email addresses: junio.moreira83@gmail.com robbraga@deg.ufla.br

* Corresponding author: Tel. + 55 35 3829 1672

Abstract

O *speckle* laser dinâmico é uma técnica óptica que processa os padrões de interferência formados ao iluminar uma superfície com uma luz coerente, tal como o laser. Essa técnica é sensível, além de oferecer muitos recursos para a obtenção de informações, os quais contribuem significativamente para o estudo e a observação do comportamento de sistemas dinâmicos e/ou biológicos. Neste contexto, o uso dessa técnica torna-se um grande potencial. Ao longo dos anos, várias metodologias têm sido propostas para a análise do *speckle* laser dinâmico, criando uma coleção de técnicas que acabam induzindo a erros na escolha da técnica mais adequada e, conseqüentemente, a dúvidas na sua implementação. Neste trabalho buscaram-se identificar as principais técnicas de análise do *speckle* laser dinâmico presentes na literatura e implementou-as em funções para programas de cálculo matemático, em particular de livre acesso. As rotinas implementadas foram testadas em dados reais de aplicação do BSL em secagem de tinta e álcool e na análise de uma semente de milho, e seus resultados foram comentados para ajudar na escolha do usuário. Foi possível criar uma biblioteca de funções que passam a constituir um guia para uso da técnica e de fácil acesso aos diversos usuários, iniciantes ou experientes, aumentando a padronização e a difusão da técnica.

Key-words: *Speckle* Laser Dinâmico; *Software* livre; Biblioteca de Funções; Guia Prático; Padronização.

Introdução

O *speckle* laser dinâmico é uma técnica que consiste de um fenômeno óptico que processa padrões de interferência que são formados quando uma luz coerente se espalha sobre uma superfície com rugosidade da ordem ou superior ao comprimento de onda (TRIVI, 2008). O efeito visual do fenômeno óptico é um ferverilhamento em que os padrões de interferência apresentam forma e intensidade de acordo com o ritmo das alterações de posição dos dispersores da luz, os quais estão presentes no material iluminado.

O monitoramento e a análise desses padrões de interferência óptica no tempo permitem inferir sobre informações de micromovimentos estruturais e moleculares do objeto observado, tornando-se uma ferramenta com várias possibilidades de aplicação em particular em fenômenos dinâmicos causados pela complexa atividade de materiais biológicos (RABAL; BRAGA, 2008).

A atividade biológica vem sendo monitorada por meio da técnica do *speckle* laser dinâmico em diversas áreas do conhecimento, especialmente nas áreas de biologia, medicina e agricultura (RABAL; BRAGA, 2008; ZDUNEK et al., 2013).

O *speckle* laser dinâmico pode ser representado por meio de métodos gráficos ou por interpretações numéricas. As análises numéricas são representadas, em especial, pelo momento de inércia (MI), a diferença dos valores absolutos (AVD) e a autocorrelação. Já as rotinas gráficas mais conhecidas para análise *off-line* são as técnicas de Fujii, diferenças generalizadas (DG) e desvio padrão (SD). Além das conhecidas técnicas gráficas e numéricas, existem alguns passos preliminares que podem ser implementados pelo usuário para avaliar a qualidade das imagens e que são agrupados no teste de qualidade, subdividido no teste de saturação, contraste e homogeneidade.

Neste trabalho buscou-se agrupar as principais técnicas gráficas e numéricas de análise do *speckle* laser dinâmico no domínio do tempo e *offline* presentes na literatura e implementá-las em funções para programas de cálculo matemático, em particular de livre acesso através do *Scilab*. As rotinas computacionais implementadas foram comentadas para auxiliar o usuário no processamento dos dados, constituindo um guia para o uso da técnica do *speckle* laser dinâmico. Todas as funções foram testadas em dados reais de aplicação e seus resultados comparados com os dados disponíveis na literatura.

Dados

Para a avaliação da atividade do *speckle* laser dinâmico, foram realizados testes com exemplos bem conhecidos na literatura. Os testes foram conduzidos sobre duas coleções de imagens, semente de milho (BRAGA JÚNIOR et al, 2001) e aplicação de tinta e álcool em uma moeda (GODINHO et al., 2012). Os métodos utilizaram as primeiras 64 imagens em níveis de cinza do conjunto de cada coleção, nomeadas sequencialmente, com o intervalo de amostragem de 0,08 segundos.

Avaliação de Atividade do *Speckle* Laser Dinâmico

O estudo do *speckle* laser dinâmico é baseado na correlação entre as variações dos padrões de interferência no tempo, podendo ser realizado por meio de técnicas gráficas ou numéricas.

3.1 Análises gráficas

3.1.1 Método de Fujii

Desenvolvida por Fujii et al. (1985), o método de Fujii consiste no somatório das diferenças de intensidades luminosas entre cada imagem da coleção e a imagem seguinte, relativizada por um fator de ponderação, conforme descrito matematicamente na Equação 1.

$$Fujii(x, y) = \sum_{k=1}^N \left| \frac{I_k(x, y) - I_{k+1}(x, y)}{I_k(x, y) + I_{k+1}(x, y)} \right| \quad (1)$$

em que $I_k(x, y)$ é a intensidade do *pixel* de coordenadas (x, y) da k ésima imagem.

A amplificação dos movimentos em áreas mais escuras é uma característica do método de Fujii, resultando em imagens mais claras, de forma geral, quando comparadas com outros métodos.

O resultado do método de Fujii aplicado em uma coleção de sementes de milho é mostrado na Figura 1a.

3.1.2 Método de diferenças generalizadas

Apresentado por Arizaga et al. (1999, 2002) como uma alternativa ao método de Fujii, o método das diferenças generalizadas (DG) não apresenta o fator de ponderação no denominador e consiste em atribuir a cada *pixel* da imagem a diferença entre as intensidades $I(x, y)$ do mesmo *pixel* para todo o conjunto de imagens capturadas, conforme descreve a Equação 2.

$$DG(x, y) = \sum_k \sum_i |I_k(x, y) - I_{k+1}(x, y)| \quad (2)$$

O que se faz, então, é realizar uma soma de diferenças de intensidade entre uma imagem inicial e as subsequentes de toda coleção (ARIZAGA et al., 1999). O resultado será uma nova imagem DG (x,y), com um clareamento dos *pixels* que apresentarem mudanças de intensidade.

Existe uma variação da técnica de diferenças generalizadas que permite uma redução de influência de imagens distantes umas das outras no resultado final e que é conhecida como diferenças generalizadas pesadas (WDG) (RABAL; BRAGA, 2008). Além disso, é possível realizar o processamento das imagens de forma mais rápida (SAUDE et al., 2012).

O resultado do método de DG aplicado em uma coleção de sementes de milho é mostrado na Figura 1b.

3.1.3 Método de desvio padrão

A técnica desvio padrão (SD) é um método utilizado para quantificar os níveis de cinza de uma imagem. Na imagem resultante, o desvio padrão baixo representa imagens homogêneas, isto é, com pouca variabilidade e o desvio padrão alto representam imagens heterogêneas, isto é, com grande variabilidade (NEVES; PELAES, 2001).

O conceito de desvio padrão na análise gráfica pode ser visto na Equação 3 (NOTHDURFT; YAO, 2005).

$$sd^2(x, y) = \sum_{i=1}^N \frac{[I(x, y, i) - \mu(x, y, i)]^2}{N} \quad (3)$$

em que I é o nível de cinza da coordenada (x,y) para cada imagem i , em N quadros e μ é o valor médio em cada *pixel* no tempo (representado por N).

As saídas numéricas são normalizados de acordo com a Equação 4:

$$SD(x, y) = \left(\frac{sd^2(x, y)}{\max(sd)} \right) \cdot 255 \quad (4)$$

Na Figura 1c observa-se o resultado do método de desvio padrão aplicado em uma coleção de sementes de milho.

3.1.4 Resultados das análises gráficas

Na Figura 1 apresentam-se as imagens Fujii (1a), DG (1b) e SD (1c) para o *biospeckle* laser da semente de milho, em pseudocores, em que tonalidades próximas do azul representam áreas de baixa atividade biológica e regiões em vermelho estão associadas à alta atividade.

Os três métodos gráficos apresentaram comportamento semelhante para a atividade biológica, com alta atividade no tecido embrionário e menor atividade no endosperma, resultados que foram semelhantes aos encontrados por Braga Júnior et al. (2001).

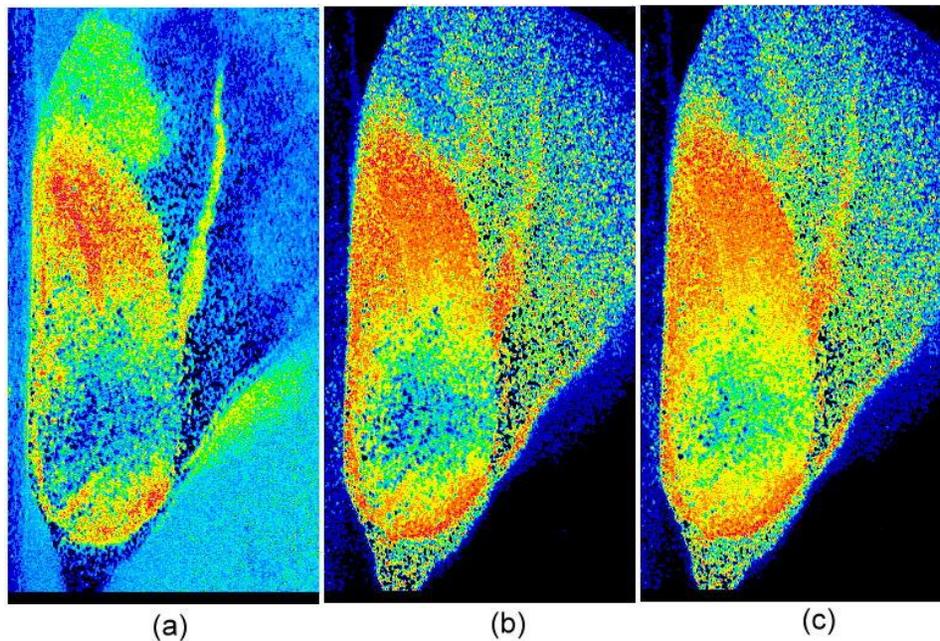


Figura 1 Imagem Fujii (a) DG (b) e SD (c) para os dados do *biospeckle* laser da semente de milho

A imagem Fujii (Figura 1a) mostrou-se mais clara que as imagens DG (Figura 1b) e SD (Figura 1c), o que Braga Júnior et al. (2009) destacam ser uma característica do método, com amplificação de pequenas variações.

Para validação da metodologia proposta também foram analisados graficamente os dados da secagem de tinta e álcool em uma moeda, cujos resultados estão apresentados na Figura 2.

A área mais clara à direita das imagens apresentadas na Figura 2 é a região com o álcool que, devido à alta evaporação do produto, ficou destacada com uma região de alta atividade. Já a área à esquerda é a da secagem de tinta, apresentando menor atividade biológica e os três métodos gráficos conseguiram distinguir as duas regiões.

Semelhante aos resultados apresentados na Figura 2, as imagens DG e SD mostraram-se idênticas e as imagens Fujii e DG iguais às apresentadas por Godinho et al. (2012).

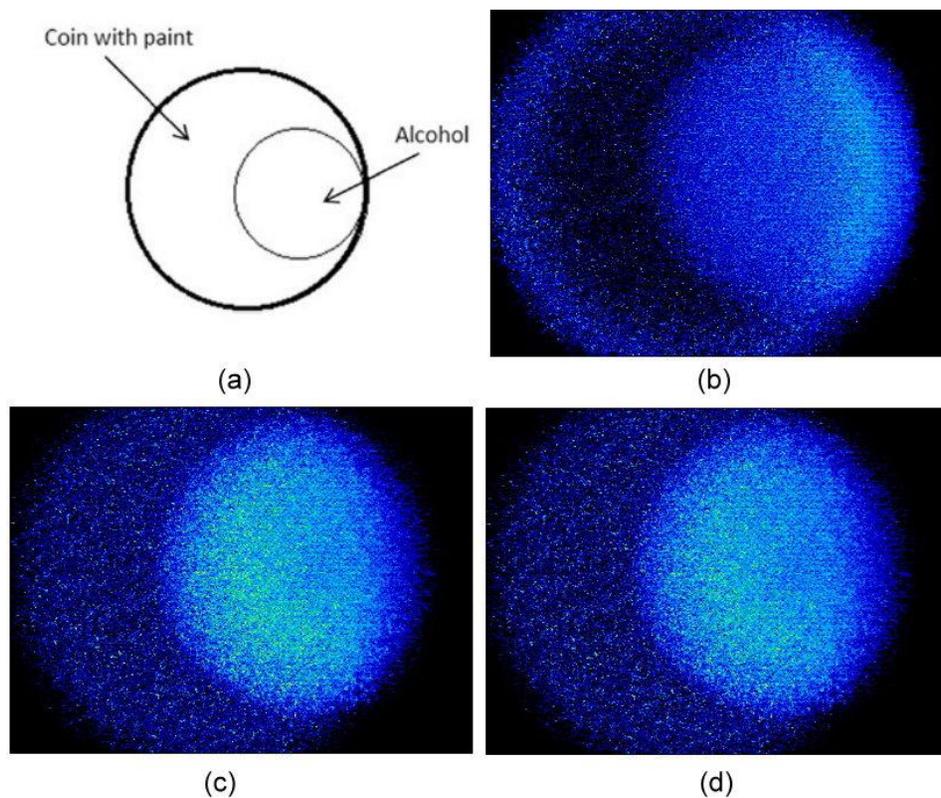


Figura 2 Imagens de Fujii (b), DG (c) e SD (d) da secagem de tinta e álcool em uma moeda (a)

Esses resultados mostram que a metodologia proposta apresentou resultados iguais aos encontrados na literatura, comprovando sua eficiência.

Outro ponto a ser destacado é a semelhança das imagens DG e SD, as quais são iguais visualmente. Para melhor visualização, foi selecionada uma linha nas imagens Fujii, DG e SD, por meio de uma *gaussian blur* de valor 2.00, e apresentada em uma mesma janela para a comparação (Figura 3).

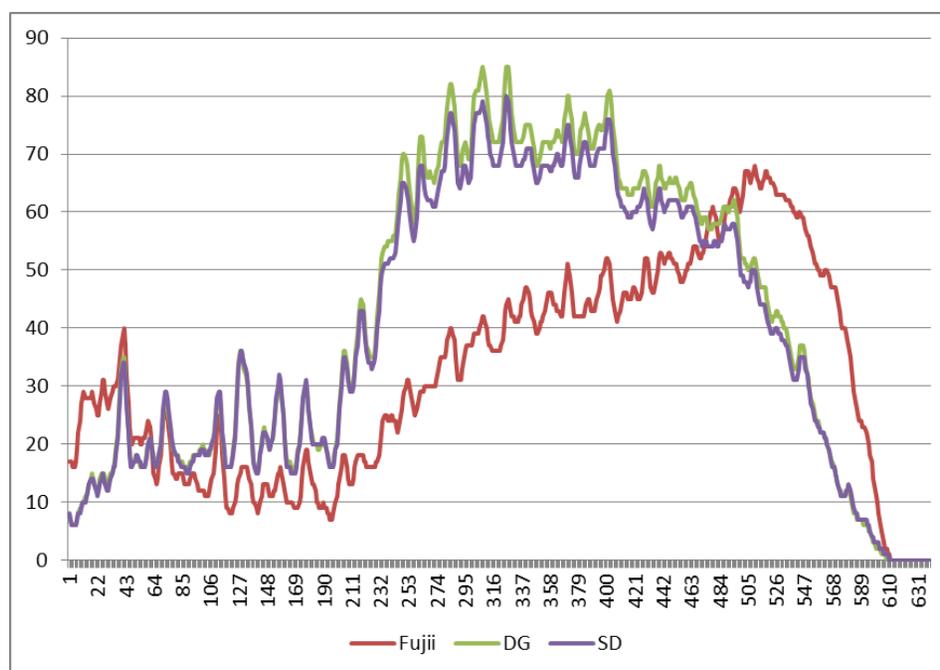


Figura 3 Gráfico da linha selecionada nas imagens Fujii, DG e SD

Pela Figura 3 é possível observar que o comportamento do sinal nos métodos DG e SD, em termos de amplitude, foram praticamente iguais.

3.2 Análises numéricas

As análises numéricas vieram para suprir as interpretações subjetivas dos métodos gráficos. Os métodos história temporal do padrão de *speckle* (THSP) e matriz de ocorrência (MOC) são etapas intermediárias para as análises numéricas.

A análise numérica do *speckle* laser dinâmico é promovida com a análise direta das imagens, como é o caso da análise de autocorrelação sugerida por Zdunek et al. (2007), mas também pela construção de imagens intermediárias como é o caso do THSP proposto por Oulamara et al. (1985),

com o nome de *temporal pseudo-image* e por Xu et al. (1995), com o nome de *Space-Time Speckle*.

Com o auxílio do STS, Xu et al. (1995) propuseram um cálculo de autocorrelação e, a partir do THSP, Arizaga et al. (1999) propuseram o momento de inércia que utilizava a construção de outra imagem, a matriz de co-ocorrência, proposta por Haralick et al. (1973).

3.2.1 Autocorrelação

Para a análise do *speckle* laser dinâmico, Xu et al. (1995) foram os primeiros a apresentar a autocorrelação dos sinais em uma matriz do tipo espaço-tempo do *speckle*, ou *space time speckle* (STS), medindo o nível da variação de tempo do padrão de *speckle*. A autocorrelação de um determinado sinal é comparada consigo mesma em pontos ou instantes distintos, com a finalidade de avaliar o procedimento de sua evolução no espaço ou no tempo.

Zdunek et al. (2007) e Ansari et al. (2012) complementam que a técnica de autocorrelação, ou correlação, é uma medição do grau de igualdade de duas variáveis, não necessariamente no valor real, mas no comportamento em geral. As duas variáveis são os valores dos pixels correspondentes em duas imagens, *template* e origem.

A fórmula de correlação ilustrada na equação 6 é a seguinte:

$$C_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^N I(k, i) \cdot I(k, i + j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^N I^2(k, i) \sum_{k=1}^N I^2(k, i + j)}} \quad (6)$$

O resultado da autocorrelação para a coleção de imagens da semente de milho e secagem de tinta e álcool na moeda (Figura 4) mede o nível de variação

temporal do *speckle* dinâmico. Como a coleção de imagens da semente do milho apresenta baixa atividade, os coeficientes obtidos apresentaram variação suave; enquanto a coleção de imagens do álcool e tinta em uma moeda apresenta uma alta atividade, os coeficientes obtidos apresentaram variação alta.

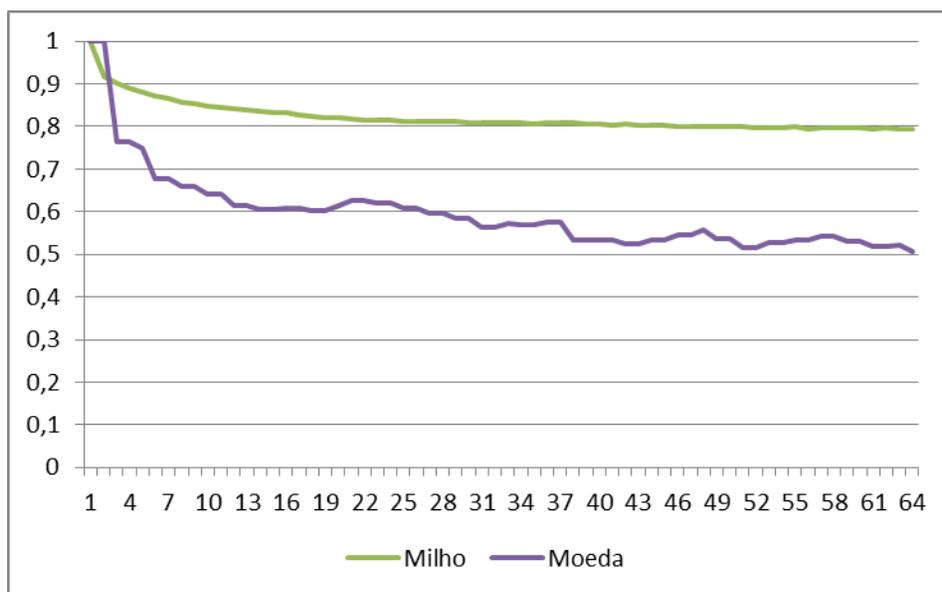


Figura 4 Medida da autocorrelação da coleção de imagens da semente de milho e da secagem de tinta e álcool em uma moeda

3.2.2 Momento de inércia

Arizaga et al. (1999) apresentavam uma das maneiras de examinar o *speckle* dinâmico de forma numérica, baseando-se na ideia apresentada por Oulamara et al. (1989) e que está relacionada à atividade presente no material iluminado quantificando a atividade biológica.

A partir da matriz de ocorrência, o momento de inércia é calculado segundo a Equação 7, em que i e j representam as duas dimensões da MOC.

$$MI = \sum_{i,j} \frac{MOC_{ij} * (i - j)^2}{normalization} \quad (7)$$

O momento de inércia (MI) consiste no somatório de MOC pelo quadrado da diferença das posições de cada ocorrência, tendo Arizaga et al. (1999) proposto uma normalização consistindo de forçar cada linha de somatório da matriz de ocorrência (MOC).

Existem duas variações da Equação 7 para o cálculo de MI e relacionadas com a normalização. A primeira variação utiliza uma normalização fixa em 256. A segunda variação proposta por Cardoso (2011) faz um somatório total das ocorrências sobre a *normalization* da Equação 7.

3.2.3 Diferença dos valores absolutos

A partir da matriz de coocorrência modificada, Braga Júnior et al. (2011) propuseram um método para quantificar a atividade biológica denominado diferença dos valores absolutos (AVD), que indica com que frequência ocorreram mudanças bruscas de intensidade na matriz THSP.

A diferença dos valores absolutos (AVD) baseia-se no princípio de que o somatório das diferenças é a principal informação procurada e que a operação quadrada realizada no método de MI pode amplificar as variações no THSP de uma forma distorcida nas altas frequências (Braga Júnior et al., 2011). A Equação 8 apresenta o AVD sem a normalização.

$$AVD = \sum_{i,j} \frac{MOC_{ij} * |i - j|}{normalization} \quad (8)$$

Entretanto, existem duas variações da Equação 8 para o cálculo do AVD, denominadas de AVD Arizaga e AVD Cardoso.

A normalização feita por Arizaga (Arizaga et al., 1999) representa a normalização de cada linha em que o valor de *normalization* será a soma das ocorrências por linha.

A normalização feita por Cardoso (2011) realiza a *normalization* de todas as ocorrências da matriz MOC.

3.2.4 Resultados das análises numéricas

A análise realizada foi a avaliação por meio de janelas da análise numérica (MI e AVD) das primeiras 64 imagens da coleção da secagem da tinta e álcool na moeda mostradas na Figura 5. Além disso, as janelas foram escolhidas de forma a apresentarem diferentes características de atividade e possuem os seguintes parâmetros: janela a ($x = 308$; $y = 81$; $w = 193$; $h = 187$) e janela b ($x = 114$; $y = 303$; $w = 167$; $h = 159$), em que x e y são as coordenadas à esquerda e superior, respectivamente, e w e h, a largura e a altura da janela.

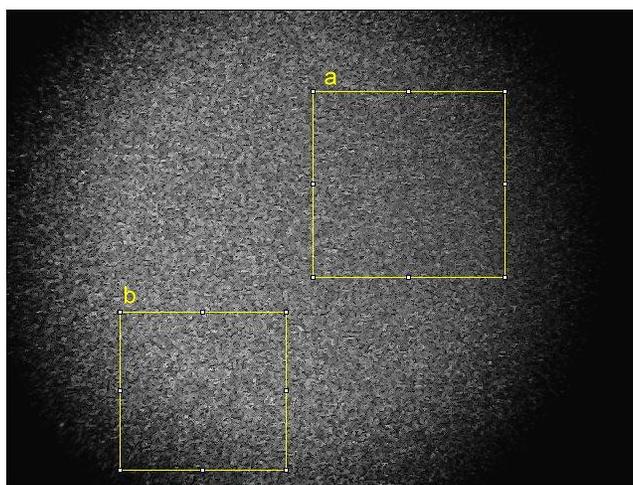


Figura 5 Janelas a e b para avaliação da análise numérica (MI e AVD)

Para o cálculo do THSP foi utilizada a coleta da linha 90. O resultado da imagem THSP para a janela a (Figura 6a) apresentou mais atividade, quando comparada à da janela b (Figura 6c). Assim como para a imagem THSP, o resultado da MOC para a janela a (Figura 6b) apresenta os elementos não nulos menos concentrados ao redor da diagonal principal, quando comparado ao resultado da janela b (Figura 6d). Estes resultados são justificados pelo fato de que, na janela a selecionada, há maior atividade do que na janela b (Figura 6).

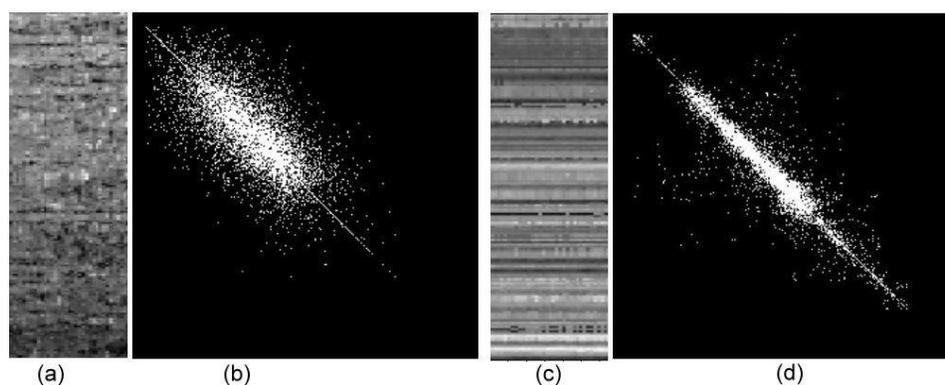


Figura 6 Resultados do (a) THSP e (b) MOC da janela a e do (c) THSP e (d) MOC da janela b

Com base nos THSPs e MOCs calculados, os resultados da Tabela 1 mostram que os valores de AVD e MI, com suas variações, foram decrescentes, uma vez que acompanham a diminuição de atividade da amostra.

Tabela 1 Resultados do AVD e MI para as janelas a e b, com coleta por linha

	AVD Arizaga	AVD Cardoso	IM Arizaga	IM Cardoso
Janela a	1980,5393	8,5561497	77835,83	241,14201
Janela b	1099,8773	3,7061995	47094,75	93,69661

A Figura 7 contém a história temporal dos padrões de *speckle*, formada de modo aleatório para as janelas a e b. Primeiramente, foi observado que os resultados do método THSP com coleta de linha (Figura 6a e 6c) apresentaram maior variação dos níveis de cinza, quando comparados com os resultados do método THSP de forma aleatória (Figura 7a e 7c). Cabe lembrar que elevadas variações do sinal *speckle* no tempo estão associadas à alta atividade biológica e pequenas modificações dos padrões de interferência ao longo do tempo estão relacionadas com baixa atividade.

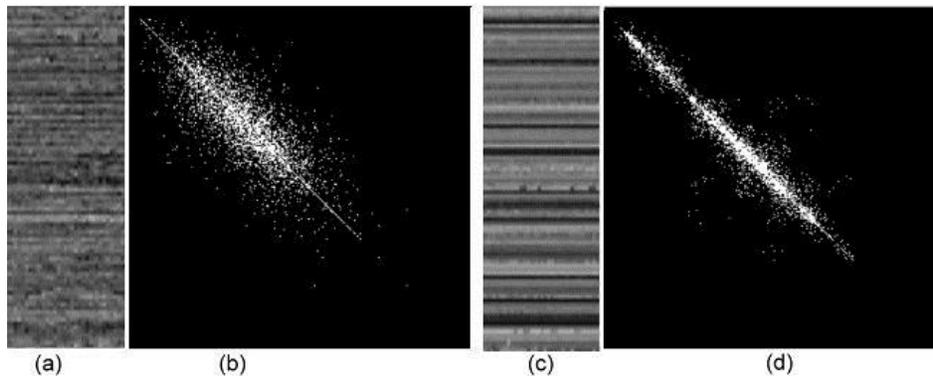


Figura 7 Resultados do (a) THSP e (b) MOC da janela a e do (c) THSP e (d) MOC da janela b de forma aleatória

A amostragem aleatória é interessante porque todas as linhas da imagem têm a mesma probabilidade de serem selecionadas. Entretanto, a linha selecionada pode ser não representativa da área do objeto em interesse.

Com base nos THSPs e MOCs calculados, os resultados da Tabela 2 mostraram comportamento idêntico com a coleta por linha.

Tabela 2 Resultados do AVD e MI para as Janelas a e b de forma aleatória

	AVD Arizaga	AVD Cardoso	IM Arizaga	IM Cardoso
Janela a	1531,8399	7,6417989	48216,86	197,02311
Janela b	641,1031	3,0899471	14696,42	58,23739

3.3 Quality Test

3.3.1 Contraste

O contraste é uma metodologia de análise do padrão de *speckle* proposta por Briers e Webster (1996) que se baseia, no tempo de integração que cada imagem leva para ser adquirida pela câmara CCD.

Assim, durante este tempo de execução, a informação temporal que permite a análise da atividade está presente no período em que cada imagem for construída. Portanto, o ajuste entre as velocidades de atividade da amostra e da captura de cada imagem precisa ser adequado, e é esta avaliação que se utiliza no teste de qualidade utilizando o contraste.

Ou seja, se a atividade da amostra é muito mais rápida do que a velocidade de captura de cada imagem, o que se observa é uma perda de definição dos grãos de *speckle*, o que comprometerá as análises do padrão de *speckle* no tempo. Assim o contraste é definido pela Equação 9.

$$C = \frac{\sigma_{x,y}}{\langle I \rangle} \quad (9)$$

Na Figura 8 é mostrada a aplicação do método de contraste no conjunto de imagens da secagem da tinta e álcool em uma moeda, utilizando uma janela de tamanho 20x20 *pixels*.

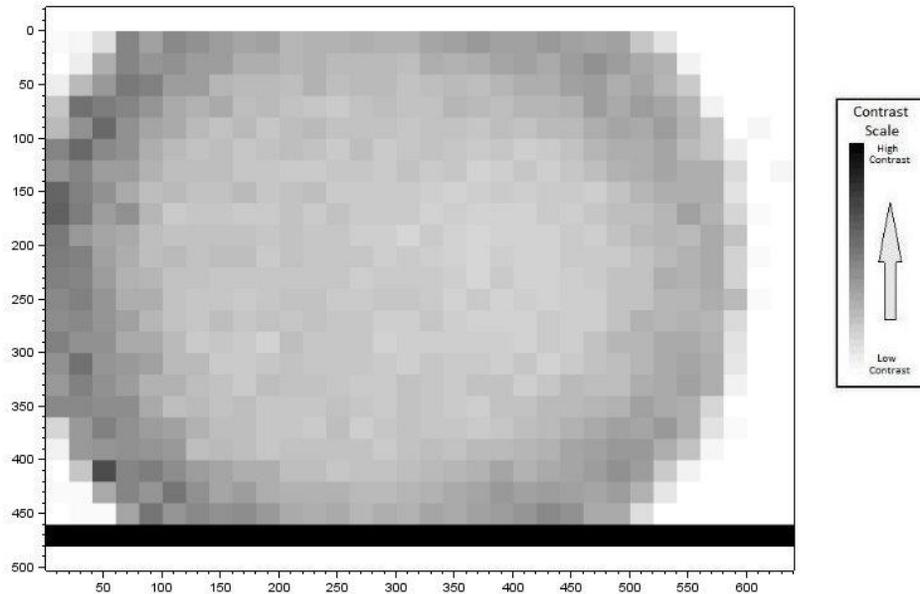


Figura 8 Resultado da aplicação do método de contraste no conjunto da secagem de tinta e álcool em uma moeda

3.3.2 Homogeneidade

Homogeneidade é um método do teste de qualidade do *speckle laser* dinâmico e é realizado sobre uma coleção de imagens divididas em pequenas janelas com $M \times N$ *pixels*. Consiste em medir a variabilidade espacial da atividade, observando o valor do MI ou outro quantificador numérico em cada uma das janelas de estudo, por meio da similaridade entre cada MI e sua vizinhança (Cardoso et al., 2012).

A homogeneidade é dada pela Equação 10.

$$Homogeneidade = 100 \frac{\sigma(IM_2, IM_4, IM_5, IM_6, IM_8)}{\mu(IM_2, IM_4, IM_5, IM_6, IM_8)} \quad (10)$$

Na Figura 9 apresenta-se o resultado do método de homogeneidade no conjunto de imagens da secagem da tinta e álcool em uma moeda, utilizando uma janela de tamanho 20×20 pixels.

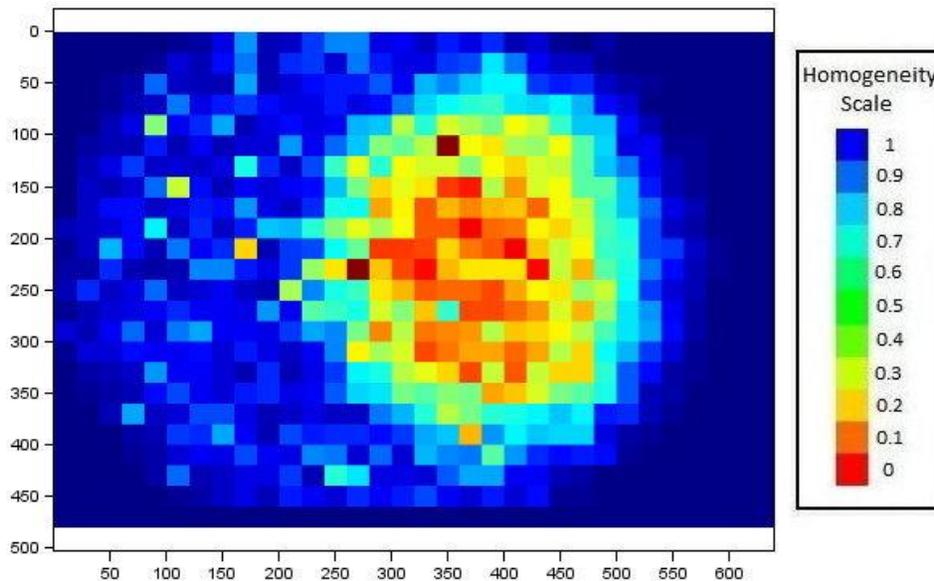


Figura 9 Resultado da aplicação do método de homogeneidade no conjunto da secagem de tinta e álcool em uma moeda

Para a análise de homogeneidade, foi definido como quantificador numérico o MI analisado em cada janela. Quanto mais próximo do azul-escuro, mais homogênea é a área de análise.

3.3.3 Saturação

Saturação é um método do teste de qualidade do *speckle laser* dinâmico, também é conhecido como subexposição. O método é realizado sobre uma coleção de imagens divididas em pequenas janelas com $M \times N$ pixels, na qual é

observado o nível de cinza da janela. A área saturada é definida se a soma da quantidade de *pixels* observados (somados somente se possuírem valores de níveis de cinza iguais a 255) atingirem uma porcentagem acima de um limite escolhido pelo usuário.

Na Figura 10 apresenta-se o resultado do método de saturação utilizando uma janela de tamanho 20×20 *pixels*.

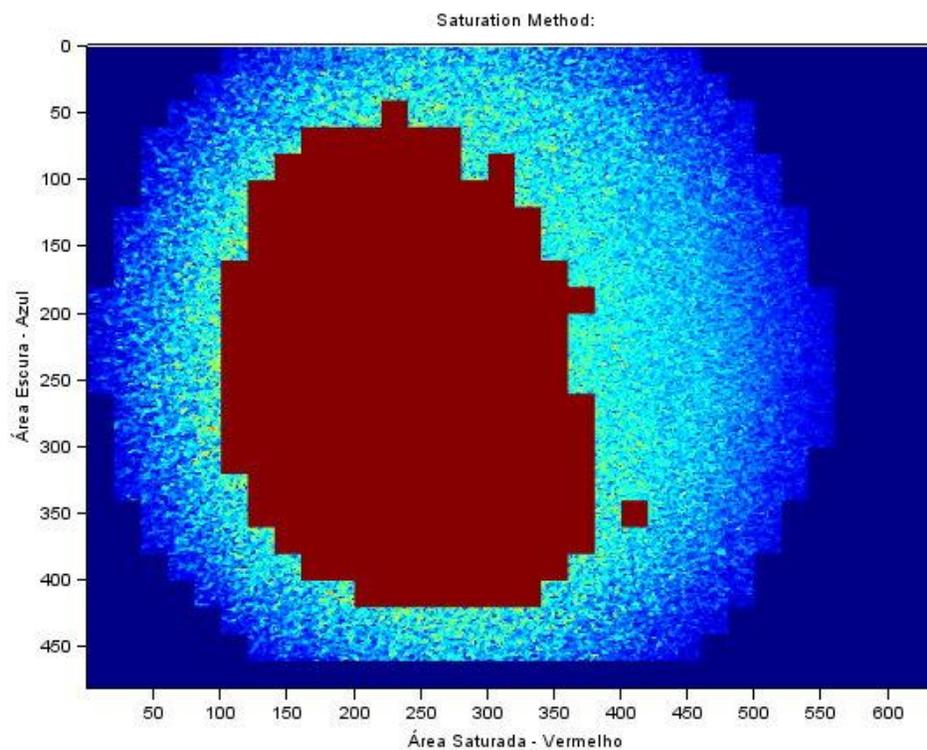


Figura 10 Resultado da aplicação do método de saturação no conjunto da secagem de tinta e álcool em uma moeda

No cálculo da saturação, na Figura 10 mostram-se regiões com áreas escuras (regiões em azul-escuro) e áreas saturadas (regiões em vermelho).

Conclusão

O guia prático e o programa de computador intitulado Bibliotecas *Speckle* Laser Dinâmico (BSLD) apresentados permitem a análise e o processamento do *speckle* por meio de métodos gráficos, interpretações numéricas ou um misto de ambos. A metodologia e a implementação das principais rotinas desenvolvidas foram apresentadas. Os testes e os resultados mostraram-se satisfatórios e de acordo com a literatura, o que torna o guia uma ferramenta apropriada para análise e processamento do *speckle* por meio das rotinas implementadas.

Agradecimentos

À Universidade Federal de Lavras, à Capes, ao CNPq e à FAPEMIG.

Referências

AIZU, Y.; ASAKURA, T. Bio-speckle phenomena and their application to the evaluation of blood flow. **Optics & Laser Technology**, Surrey, v. 23, n. 4, p. 205-219, Aug. 1991.

ANSARI, M. D. Z.; NIRALA, A. K. Biospeckle activity measurement of Indian fruits using the methods of cross-correlation and inertia moments. **Optik – International Journal for light and Electron Optics**, v. 124, n. 15, p. 2180-2186, Aug. 2013.

ARIZAGA, R.; TRIVI, M.; RABAL, H. J. Speckle time evolution characterization by the co-occurrence matrix analysis. **Optics and Laser Technology**, Surrey, v. 31, n. 2, p. 163-169, Mar. 1999.

ARIZAGA, R. et al. Display of the local activity using dynamical speckle patterns. **Optical Engineering**, Redondo Beach, v. 41, n. 2, p. 287-294, June 2002.

BRAGA, R. A et al. Potencial do Biospeckle laser para avaliação da viabilidade de sementes, **Ciência Agortec.**, 25(3), 645, 2001.

BRAGA JÚNIOR, R. A. et al. Live biospeckle laser imaging of root tissue. **European Biophysics Journal**, New York, v. 38, n. 5, p. 679-686, May 2009.

BRIES, D. J.; WEBSTER, S. Laser Speckle Contrast Analysis (LASCA): a non-scanning, full-field technique for monitoring capillary blood flow. **Journal of Biomedical Optics**, Washington, v. 1, n. 2, p. 174-179, Apr. 1996.

CARDOSO, R. R. et al. Frequency signature of water activity by biospeckle laser. **Optics Communications**, Amsterdam, v. 284, n. 8, p. 2131-2136, Apr. 2011.

CARDOSO, R. R.; BRAGA JÚNIOR., R. A.; RABAL, H. J. Alternative protocols on dynamic speckle laser analysis. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SPECKLE METROLOGY, 5., 2012, Vigo. **Proceedings...** Vigo, Spain: SPIE, 2012. v. 8413, art. 84131F, p. 2131-2136.

CARVALHO, P. H. A. et al. Motility parameters assessment of bovine frozen semen by biospeckle laser (BSL) system. **Biosystems Engineering**, London, v. 102, n. 1, p. 31-35, Jan. 2009.

FUJII, H. et al. Blood flow observed by time-varying laser speckle. **Optics Letters**, v. 10, n. 3, p. 104-106, 1985.

FUJII, H. et al. Evaluation of blood flow by laser speckle image sensing. Part. I. **Applied Optics**, New York, v. 26, n. 24, p. 5321-5325, Dec. 1987.

GODINHO, R. P.; SILVA, M. M.; NOZELA, J. R.; BRAGA, R. A. Online biospeckle assessment without loss of definition and resolution by motion history image. **Optics and Lasers in Engineering**, v. 50, n. 3, p. 366-372, 2012.

HARALICK, R. M.; SHANMUGAM, K.; DINSTEN, I. Textural features for image classification. **IEEE Transactions on Systems, man and cybernetics**. v. SMC-3, n. 6, p. 610-621, 1973.

NOTHDURFT, R.; YAO, G. Imaging obscured subsurface inhomogeneity using laser speckle. **Optics Express**, v. 13, n. 25, p. 10034-10039, 2005.

OULAMARA, G.; TRIBILLON, J.; DUVERNOY, J. Biological activity measurements on botanical specimen surfaces using a temporal decorrelation effect of laser speckle. **Journal of Moderns Optics**, London, v. 36, n. 2, p. 136-179, Feb. 1989.

RABELO, G. F.; BRAGA JÚNIOR, R. A.; FABBRO, I. M. D.; TRIVI, M. R.; RABAL, H. J.; ARIZAGA, R. Laser speckle techniques in quality evaluation of orange fruits. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 570-575, 2005.

SILVA, M. M. et al. Optical mouse acting as biospeckle sensor. **Optics Communications**, Amsterdam, v. 284, n. 7, p. 1798-1802, Apr. 2011.

TRIVI, M. R., in: RABAL, H. J.; BRAGA, R. A. **Dynamic laser speckle and applications**. Boca Raton: CRC, 2008. 304 p.

XU, Z.; JOENATHAN, C.; KHORANA, B. N. Temporal and spatial properties of the time varying speckles of botanical specimens. **Optical Engineering**, California, v. 34, n. 5, p. 1487-1502, May 1995.

ZDUNEK, A. et al. New nondestructive method based on spatial-temporal speckle correlation technique for evaluation of apples quality during shelf-life. **International Agrophysics**, Lublin, v. 21, n. 3, p. 305-310, 2007.

ZDUNEK, A. et al. The biospeckle method for the investigation of agricultural crops: a review. **Optics & Lasers in Engineering**, Surrey, v. 52, n. 1, p. 276-285, 2014.

ZDUNEK, A.; HERPPICH, W. B. Relation of biospeckle activity with chlorophyll content in apples. **Postharvest Biology Technology**, Amsterdam, v. 64, n. 1, p. 58-63, Feb. 2012.

ANEXOS

ANEXO 1 – Rotinas de AVD e MI

```

function [Y] = thsp(DATA,R,S)
//
// Time History Speckle Patterns - THPS
// In: OULOMARA, G.; TRIBILLON, J.; DUVERNOY, J. Biological activity
// measurements
// on botanical specimen surfaces using a temporal decorrelation effect of
// laser speckle. Journal of Moderns Optics, London, v. 36, n. 2, p. 136-179,
// Feb. 1989.
//
// and: XU, Z.; JOENATHAN, C.; KHORANA, B. M. Temporal and spatial
// proprieties of
// the time varying speckles of botanical. Optical Enginnering, Virginia,
// v. 34, n. 5, p. 1487-1502, May 1995.
//
// Input:
// DATA are the speckle data
// R is the parameter of analysis:
// if R is equal 1, you choose the line of images to make THSP
// and if R is equal 2 you choose the columns of images to make THSP
// and if R is equal 3 you choose the thsp randon
// S is the line, column or size used to make the time history speckle patterns
//
// Output:
// Y is the time history speckle patterns image
//
// =====
// Begin
//
a = size(DATA);

if R == 1 then
    Y = zeros(a(1,2),a(1,3));
    for b = 1:a(1,3)
        Y(:,b) = DATA(S,:,b)';
    end
elseif R == 2 then

```

```

    Y = zeros(a(1,1),a(1,3));
    for b = 1:a(1,3)
        Y(:,b) = DATA(:,S,b);
    end
elseif R == 3
    matriz_ists = zeros (2,a(1,2));
    Y = zeros(S,a(1,3));
    for b = 1:S
        ists1 = ceil((rand(1,1))*a(1,1));
        ists2 = ceil((rand(1,1))*a(1,2));
        matriz_ists (1,b) = ists1;
        matriz_ists (2,b) = ists2;
        for c = 1:a(1,3)
            Y(b,c) = DATA(ists1,ists2,c);
        end
    end
else
    error('Error in the THSP image')
end

//Plotting graphs
scf(0);
clf(0);
colormap gray;
imagesc(Y);
axis equal;
title('THSP Figure');

endfunction
// =====

function [Y] = moc(DATA)
//
// Cooccurrence Matrix Analysis - MOC
// In: ARIZAGA, R. et. al. Speckle time evolution characterization by the
// co-occurrence matrix analysis. Optics and Laser Technology, Amsterdam,
// v. 31, n. 2, p. 163-169, 1999.
//
// Input:
// DATA are the THSP data
//
// Output:

```

```

// Y is the Occurrence Matrix Construction
//
// =====
// Begin
//
    a = size(DATA);

    Y = zeros(256,256);
    Y1 = zeros(256,256);
    for b = 1:a(1,1)
        for c = 1:a(1,2)-1
            d = ((DATA(b,c))+1);
            e = ((DATA(b,c+1))+1);

            if ((d >= 256) & (e >= 256))
                d = 256;
                e = 256;
            end

            Y(d,e) = Y(d,e)+1;
            Y1(d,e) = 1;

        end
    end

//Plotting graphs
    scf(1);
    clf(1);
    colormap gray;
    imagesc(Y1);
    axis equal;
    title('MOC Figure');

endfunction
// =====

function [Y] = avd_im(address,numImages,R,S,windows,x,y,h,w)
//
// Algorithm Absolute Value of the Differences (AVD)and Algorithm Inertia
// Moment's (IM)
// Developed by: Junio Moreira / Roberto Alves Braga Júnior
//

```

```

// BSLD (Library Speckle Laser Dynamic) version 1.0
// 30 of september of 2013
// Review: 07 of october of 2013
//
// Federal University of Lavras - UFLA
//
// =====
// Main Program
// =====
//
// Inertia Moment's - IM and Absolute Value of the Differences - AVD
// In: ARIZAGA, R. et. al. Speckle time evolution characterization by the
//   co-occurrence matrix analysis. Optics and Laser Technology, Amsterdam,
//   v. 31, n. 2, p. 163-169, 1999.
//
// and: BRAGA, R.A. ; Cardoso, R.R. ; Bezerra, P.S. ; Wouters, F. ; Sampaio,
//   G.R. ; Varaschin, M.S. . Biospeckle numerical values over spectral image
//   maps of activity. Optics Communications (Print), v. 285, p. 553-561, 2012.
//
// In: BRAGA, R.A. et al. Evaluation of activity through dynamic laser speckle
//   using the absolute value of the differences, Optics Communications, v. 284,
//   n. 2, p. 646-650, 2011.
//
// Output:
// Y are the value of the Inertia Moment.
// Y(1,1) is the value of the Inertia Moment without normalization
// Y(1,2) is the value of the Inertia Moment with Arizaga normalization
// Y(1,3) is the value of the Inertia Moment with Cardoso normalization
// Y(1,4) is the value of the AVD Arizaga normalization
// Y(1,5) is the value of the AVD Cardoso normalization
//
//-----//
//
// Clear memory
//   clc();
//   clear all;

// Set free the memory
//   stacksize('max');

// Start Time
//   initiationOfTheClock = getdate();

```

```

// Set the directory of the Images
cd(address);

// Identification of the images -- see the format of the image with only numbers.
j = imread ('1.bmp');
k = size(j);
line = k(1,1);
column = k(1,2);

// Define the size of the avalized image <0> the whole image / <1> the portion of
the image
//
if windows == 0
    disp('Processing start!');
    disp('Wait...');
    DATA = zeros(line,column,numImages);
    for i = 1:numImages
        nome = [string(i)'.bmp'];
        DATA(:,i) = imread(nome);
    end

elseif windows == 1
    disp('Processing start!');
    disp('Wait...');
    JANELA = zeros(line,column,numImages);
    DATA = zeros(h,w,numImages);

    for i = 1:numImages
        nome = [string(i)'.bmp'];
        JANELA(:,i) = imread(nome);
        DATA(:,i) = JANELA(y:h+y-1,x:w+x-1,i);
    end
end
end
//-----//
//
// Processing

clc();
disp('Start AVD and IM method...');

[sts] = thsp(DATA,R,S);

```

```

[ocm] = moc(sts);

Y = zeros(1,5);
a = size(ocm);

for b = 1:a(1,1)
    for c = 1:a(1,2)

        norm = sum(ocm(b,:));
        if norm == 0;
            norm = 1;
        end

        Y(1,1) = ((ocm(b,c)*((b-c)^2))/(256)) + Y(1,1);

        Y(1,2) = ((ocm(b,c)*((b-c)^2))/(norm)) + Y(1,2);

        Y(1,3) = ((ocm(b,c)*((b-c)^2))/(sum(sum(ocm)))) + Y(1,3);

        Y(1,4) = ((ocm(b,c)*(abs(b-c)))/(norm)) + Y(1,4);

        Y(1,5) = ((ocm(b,c)*(abs(b-c)))/(sum(sum(ocm)))) + Y(1,5);

    end
end

//Plotting results
disp('Final Results:');
disp('IM without normalitation --> ');
disp(Y(1,1));
disp('IM Arizaga --> ');
disp(Y(1,2));
disp('IM Cardoso --> ');
disp(Y(1,3));
disp('AVD Arizaga --> ');
disp(Y(1,4));
disp('AVD Cardoso --> ');
disp(Y(1,5));

// Directory functions
//cd('C:\biospeckle\fsbl\');

```

```
// Recording results
    gravar = address + 'avd_im_scilab.txt';
    fprintfMat(gravar,Y);

// Training time
    stopOfTheClock = getdate(); //stops the clock
    etr = etime(stopOfTheClock,initiationOfTheClock); //calculates the time
elapsed
    disp("");
    disp('Training time: ' + string(etr/60) + ' minutes.');
```

disp('ENDED!!!');

sleep(5000);

```
// =====
endfunction
```

ANEXO 2 – Rotinas de AVD e MI de um THSP

```

function [Y] = moc(DATA)
//
// Cooccurrence Matrix Analysis - MOC
// In: ARIZAGA, R. et. al. Speckle time evolution characterization by the
//   co-occurrence matrix analysis. Optics and Laser Technology, Amsterdam,
//   v. 31, n. 2, p. 163-169, 1999.
//
// Input:
// DATA are the THSP data
//
// Output:
// Y is the Occurrence Matrix Construction
//
// =====
// Begin
//
  a = size(DATA);

  Y = zeros(256,256);
  Y1 = zeros(256,256);
  for b = 1:a(1,1)
    for c = 1:a(1,2)-1
      d = ((DATA(b,c))+1);
      e = ((DATA(b,c+1))+1);

      if ((d >= 256) & (e >= 256))
        d = 256;
        e = 256;
      end

      Y(d,e) = Y(d,e)+1;
      Y1(d,e) = 1;

    end
  end

//Plotting graphs
scf(0);
clf(0);

```

```

    colormap gray;
    imagesc(Y1);
    axis equal;
    title('MOC Figure');

endfunction
// =====

function [Y] = avd_im_sts(address,numThsp)
//
// Algorithm Absolute Value of the Differences (AVD)and Algorithm Inertia
// Moment's (IM) of THSP
// Developed by: Junio Moreira / Roberto Alves Braga Júnior
//
// BSLD (Library Speckle Laser Dynamic) version 1.0
// 30 of september of 2013
// Review: 07 of october of 2013
//
// Federal University of Lavras - UFLA
//
// =====
// Main Program
// =====
//
// Inertia Moment's - IM and Absolute Value of the Differences - AVD
// In: ARIZAGA, R. et. al. Speckle time evolution characterization by the
// co-occurrence matrix analysis. Optics and Laser Technology, Amsterdam,
// v. 31, n. 2, p. 163-169, 1999.
//
// and: BRAGA, R.A. ; Cardoso, R.R. ; Bezerra, P.S. ; Wouters, F. ; Sampaio,
// G.R. ; Varaschin, M.S. . Biospeckle numerical values over spectral image
// maps of activity. Optics Communications (Print), v. 285, p. 553-561, 2012.
//
// In: BRAGA, R.A. et al. Evaluation of activity through dynamic laser speckle
// using the absolute value of the differences, Optics Communications, v. 284,
// n. 2, p. 646-650, 2011.
//
// Output:
// Y are the value of the Inertia Moment.
// Y(1,1) is the value of the Inertia Moment without normalization
// Y(1,2) is the value of the Inertia Moment with Arizaga normalization
// Y(1,3) is the value of the Inertia Moment with Cardoso normalization

```

```

// Y(1,4) is the value of the AVD Arizaga normalization
// Y(1,5) is the value of the AVD Cardoso normalization
//
//-----//
//
// Clear memory
    clc();
    clear all;

// Set free the memory
    stacksize('max');

// Start time count
    initiationOfTheClock = getdate();

// Set the directory of the Images
    cd(address);

// Identification of the images -- see the format of the image with only numbers.
    j = imread ('1.bmp');
    k = size(j);
    line = k(1,1);
    column = k(1,2);

    DATA = zeros(line,column);
//-----//
//
// Processing

    clc();
    disp('Start AVD and IM method of thsp...');

    avd_im = zeros(numThsp, 5);

    for i = 1:numThsp
        nome = [string(i)'.bmp'];
        DATA(:,i) = imread(nome);

        disp ('Calculo do ' + string(i) + ' valor de AVD and IM of THSP-> ');

        [ocm] = moc(DATA);

```

```

Y = zeros(1,5);
a = size(ocm);

for b = 1:a(1,1)
    for c = 1:a(1,2)

        norm = sum(ocm(b,:));
        if norm == 0;
            norm = 1;
        end

        Y(1,1) = ((ocm(b,c)*((b-c)^2))/(256)) + Y(1,1);

        Y(1,2) = ((ocm(b,c)*((b-c)^2))/(norm)) + Y(1,2);

        Y(1,3) = ((ocm(b,c)*((b-c)^2))/(sum(sum(ocm)))) + Y(1,3);

        Y(1,4) = ((ocm(b,c)*(abs(b-c)))/(norm)) + Y(1,4);

        Y(1,5) = ((ocm(b,c)*(abs(b-c)))/(sum(sum(ocm)))) + Y(1,5);

    end
end

//Plotting results
disp('Final Results:');
disp('IM without normalitation --> ');
disp(Y(1,1));
disp('IM Arizaga --> ');
disp(Y(1,2));
disp('IM Cardoso --> ');
disp(Y(1,3));
disp('AVD Arizaga --> ');
disp(Y(1,4));
disp('AVD Cardoso --> ');
disp(Y(1,5));
disp('-----');

avd_im(i,:) = Y;

end

```

```
// Directory functions
//cd('C:\biospeckle\fsbl\');

// Recording results
gravar = address + 'avd_im_sts_scilab.txt';
fprintfMat(gravar,avd_im);

// Training time
stopOfTheClock = getdate(); //stops the clock
etr = etime(stopOfTheClock,initiationOfTheClock); //calculates the time
elapsed
disp("");
disp('Training time: ' + string(etr/60) + ' minutes.');
```

disp('ENDED!!!');

sleep(5000);

```
//=====
endfunction
```

ANEXO 2 – Rotina de Autocorrelação

```

function [Y] = correlation(address,numImages,R)
//
// Spatial Temporal Speckle Correlation Technique
// Developed by: Junio Moreira / Roberto Alves Braga Júnior
//
// BSLD (Library Speckle Laser Dynamic) version 1.0
// 30 of september of 2013
// Review: 28 of october of 2013
//
// Federal University of Lavras - UFLA
//
// =====
// Main Program
// =====
//
// In: ZDUNEK, A. et al. New nondestructive method based on spatial-temporal
// speckle correlation technique for evaluation of apples quality during
// shelf-life. International Agrophysics, v. 21, n. 3, p. 305-310, 2007.
//
// Input:
// DATA are the speckle data
// R is the number of the reference frame used in correlation analysis
//
// Output:
// Y is the correlation vector.
//
//-----//
//
// Clear memory
    clc();
    clear all;

// Set free the memory
    stacksize('max');

// Start Time
    initiationOfTheClock = getdate();

// Set the directory of the Images

```

```

cd(address);

// Identification of the images -- see the format of the image with only numbers.
j = imread ('1.bmp');
k = size(j);
line = k(1,1);
column = k(1,2);
DATA = zeros(line,column,numImages);

// Begin
disp('Processing start!');
disp('Wait...');

for i = 1:numImages
    nome = [string(i)+'.bmp'];
    DATA(:,i) = imread(nome);
end
//-----//
//
// Processing
//
a = size(DATA);
initiationOfTheClock = getdate();

clc();
disp('Start method CORRELATION...');

Y = zeros(a(1,3),2);

for b = 1:a(1,3)
    Y(b,1) = b;
end

for c = R:a(1,3)
    Y(c,2) = corr2(DATA(:,R),DATA(:,c));
    //Y(c,2) = xcorr(DATA(:,S),DATA(:,c));
end

Y(a(1,3),2) = 0;

// Directory Functions
//cd('C:\biospeckle\fsbl\');

```

```
plot(Y(R:a(1,3),1),Y(R:a(1,3),2),'*b');
xtitle('Spatial Temporal Speckle Correlation Technique','Frames','Correlation
coeficients' );
title('Correlation Method:');

// Training time
stopOfTheClock = getdate(); //stops the clock
etr = etime(stopOfTheClock,initiationOfTheClock); //calculates the time
elapsed
disp("");
disp('Training time: ' + string(etr/60) + ' minutes. ');
disp('ENDED!!!');
sleep(5000);

endfunction

// =====
```

ANEXO 3 – Rotina de uma Matriz de Ocorrência (MOC)

```

function [Y] = thsp(DATA,R,S)
//
// Time History Speckle Patterns - THPS
// In: OULOMARA, G.; TRIBILLON, J.; DUVERNOY, J. Biological activity
// measurements
// on botanical specimen surfaces using a temporal decorrelation effect of
// laser speckle. Journal of Moderns Optics, London, v. 36, n. 2, p. 136-179,
// Feb. 1989.
//
// and: XU, Z.; JOENATHAN, C.; KHORANA, B. M. Temporal and spatial
// proprieties of
// the time varying speckles of botanical. Optical Enginnering, Virginia,
// v. 34, n. 5, p. 1487-1502, May 1995.
//
// Input:
// DATA are the speckle data
// R is the parameter of analysis:
// if R is equal 1, you choose the line of images to make THSP
// and if R is equal 2 you choose the columns of images to make THSP
// and if R is equal 3 you choose the thsp random
// S is the line, column or size used to make the time history speckle patterns
//
// Output:
// Y is the time history speckle patterns image
//
// =====
// Begin
//
a = size(DATA);

if R == 1 then
    Y = zeros(a(1,2),a(1,3));
    for b = 1:a(1,3)
        Y(:,b) = DATA(S,:,b);
    end
elseif R == 2 then
    Y = zeros(a(1,1),a(1,3));
    for b = 1:a(1,3)
        Y(:,b) = DATA(:,S,b);
    end
end

```

```

    end
elseif R == 3
    matriz_ists = zeros (2,a(1,2));
    Y = zeros(S,a(1,3));
    for b = 1:S
        ists1 = ceil((rand(1,1))*a(1,1));
        ists2 = ceil((rand(1,1))*a(1,2));
        matriz_ists (1,b) = ists1;
        matriz_ists (2,b) = ists2;
        for c = 1:a(1,3)
            Y(b,c) = DATA(ists1,ists2,c);
        end
    end
else
    error('Error in the THSP image')
end

//Plotting graphs
scf(0);
clf(0);
colormap gray;
imagesc(Y);
axis equal;
title('THSP Figure');

endfunction
// =====

function [Y] = moc(address,numImages,R,S,windows,x,y,h,w)
//
// Cooccurrence Matrix Analysis - MOC
// Developed by: Junio Moreira / Roberto Alves Braga Júnior
//
// BSLD (Library Speckle Laser Dynamic) version 1.0
// 30 of september of 2013
// Review: 28 of october of 2013
//
// Federal University of Lavras - UFLA
//
// =====
// Main Program
// =====

```

```

//
// Cooccurrence Matrix Analysis - MOC
// In: ARIZAGA, R. et. al. Speckle time evolution characterization by the
//   co-occurrence matrix analysis. Optics and Laser Technology, Amsterdam,
//   v. 31, n. 2, p. 163-169, 1999.
//
// Output:
// Y is the Occurrence Matrix Construction
//
//-----//
//
// Clear memory
    clc();
    clear all;

// Set free the memory
    stacksize('max');

// Start Time
    initiationOfTheClock = getdate();

// Set the directory of the Images
    cd(address);

// Identification of the images -- see the format of the image with only numbers.
    j = imread ('1.bmp');
    k = size(j);
    line = k(1,1);
    column = k(1,2);

// Define the size of the avalized image <0> the whole image / <1> the partion of
the image
//
if windows == 0
    disp('Processing start!');
    disp('Wait...');
    DATA = zeros(line,column,numImages);
    for i = 1:numImages
        nome = [string(i)+'.bmp'];
        DATA(:,i) = imread(nome);
    end
end

```

```

elseif windows == 1
    disp('Processing start!');
    disp('Wait...');
    JANELA = zeros(line,column,numImages);
    DATA = zeros(h,w,numImages);

    for i = 1:numImages
        nome = [string(i)+'.bmp'];
        JANELA(:, :, i) = imread(nome);
        DATA(:, :, i) = JANELA(y:h+y-1,x:w+x-1,i);
    end
end
//-----//
//
// Processing

clc();
disp('Start MOC method...');

[sts] = thsp(DATA,R,S);
a = size(sts);
Y = zeros(256,256);

for b = 1:a(1,1)
    for c = 1:a(1,2)-1
        d = ((sts(b,c))+1);
        e = ((sts(b,c+1))+1);

        if ((d >= 256) & (e >= 256))
            d = 256;
            e = 256;
        end

        Y(d,e) = 1;

    end
end

//Plotting graphs
scf(0);
clf(0);
colormap gray;

```

```
imagesc(Y);
axis equal;
title('MOC Figure');

scf(1);
clf(1);
colormap gray;
imagesc(DATA(:,:,1));
axis equal;
title('Image preview');

// Directory functions
//cd('C:\biospeckle\fsbl\');

// Recording results
gravar = address + 'moc_scilab.bmp';
//Y = uint8(Y);
imwrite(Y,gravar);

// Training time
stopOfTheClock = getdate(); //stops the clock
etr = etime(stopOfTheClock,initiationOfTheClock); //calculates the time
elapsed
disp("");
disp('Training time: ' + string(etr/60) + ' minutes. ');
disp('ENDED!!!');
sleep(5000);

// =====
endfunction
```

ANEXO 4 – Rotina de uma Matriz de Ocorrência (MOC) de um THSP

```

function [Y] = MOC(DATA)
//
// Input:
// DATA are the THSP data
//
// Output:
// Y is the Occurrence Matrix Construction
//
//
=====
// Begin
//
  a = size(DATA);

  Y = zeros(256,256);
  for b = 1:a(1,1)
    for c = 1:a(1,2)-1
      d = ((DATA(b,c))+1);
      e = ((DATA(b,c+1))+1);

      if ((d >= 256) & (e >= 256))
        d = 256;
        e = 256;
      end

      Y(d,e) = 1;

    end
  end

endfunction
// =====

function [Y] = moc_sts(address,numThsp)
//
// Algorithm Inertia Moment's (IM) of THSP
// Developed by: Junio Moreira / Roberto Alves Braga Júnior
//
// BSLD (Library Speckle Laser Dynamic) version 1.0

```

```

// 30 of september of 2013
// Review: 07 of october of 2013
//
// Federal University of Lavras - UFLA
//
// =====
// Main Program
// =====
//
// Cooccurrence Matrix Analysis – MOC of THSP
// In: ARIZAGA, R. et. al. Speckle time evolution characterization by the
// co-occurrence matrix analysis. Optics and Laser Technology, Amsterdam,
// v. 31, n. 2, p. 163-169, 1999.
//
// Output:
// Y is the Occurrence Matrix Construction
//
//-----//
//
// Clear memory
    clc();
    clear all;

// Set free the memory
    stacksize('max');

// Start time count
    initiationOfTheClock = getdate();

// Set the directory of the Images
    cd(address);

// Identification of the images -- see the format of the image with only numbers.
    j = imread ('1.bmp');
    k = size(j);
    line = k(1,1);
    column = k(1,2);

    DATA = zeros(line,column);
//-----//
//
// Processing

```

```

clc();
disp('Start MOC method of thsp...');

moc = zeros(256,256,numThsp);

for i = 1:numThsp
    nome = [string(i)+'.bmp'];
    DATA(:,i) = imread(nome);

    [Y] = MOC(DATA);
    moc(:,i) = Y;

    disp('Calculo do ' + string(i) + ' MOC of THSP -> ');

    //Plotting graphs
    scf(i-1);
    clf(i-1);
    colormap gray;
    imagesc(moc(:,i));
    colormap gray;
    axis equal;
    title('MOC Figure');

end

// Directory functions
//cd('C:\biospeckle\fsbl\');

// Training time
stopOfTheClock = getdate(); //stops the clock
etr = etime(stopOfTheClock,initiationOfTheClock); //calculates the time
elapsed
disp('');
disp('Training time: ' + string(etr/60) + ' minutes. ');
disp('ENDED!!!');
sleep(5000);

// =====
endfunction

```

ANEXO 5 – Rotina de THSP (Time History Speckle Pattern)

```

function [Y] = thsp(address,numImages,R,S,windows,x,y,h,w)
//
// Time History Speckle Patterns - THPS
// Developed by: Junio Moreira / Roberto Alves Braga Júnior
//
// BSLD (Library Speckle Laser Dynamic) version 1.0
// 30 of september of 2013
// Review: 28 of october of 2013
//
// Federal University of Lavras - UFLA
//
// =====
// Main Program
// =====
//
// In: OULOMARA, G.; TRIBILLON, J.; DUVERNOY, J. Biological activity
measurements
// on botanical specimen surfaces using a temporal decorrelation effect of
// laser speckle. Journal of Moderns Optics, London, v. 36, n. 2, p. 136-179,
// Feb. 1989.
//
// and: XU, Z.; JOENATHAN, C.; KHORANA, B. M. Temporal and spatial
proprieties of
// the time varying speckles of botanical. Optical Enginnering, Virginia,
// v. 34, n. 5, p. 1487-1502, May 1995.
//
// Output:
// Y is the time history speckle patterns image
//
//-----//
//
// Clear memory
    clc();
    clear all;

// Set free the memory
    stacksize('max');

// Start Time

```

```

    initiationOfTheClock = getdate();

// Set the directory of the Images
    cd(address);

// Identification of the images -- see the format of the image with only numbers.
    j = imread ('1.bmp');
    k = size(j);
    line = k(1,1);
    column = k(1,2);

// Define the size of the avalized image <0> the whole image / <1> the partion of
the image
//
    if windows == 0
        disp('Processing start!');
        disp('Wait...');
        DATA = zeros(line,column,numImages);
        for i = 1:numImages
            nome = [string(i)'.bmp'];
            DATA(:,i) = imread(nome);
        end

    elseif windows == 1
        disp('Processing start!');
        disp('Wait...');
        JANELA = zeros(line,column,numImages);
        DATA = zeros(h,w,numImages);

        for i = 1:numImages
            nome = [string(i)'.bmp'];
            JANELA(:,i) = imread(nome);
            DATA(:,i) = JANELA(y:h+y-1,x:w+x-1,i);
        end
    end
end
//-----//
//
// Processing

clc();
disp('Start THSP method...');

```

```

a = size(DATA);

if R == 1 then
    Y = zeros(a(1,2),a(1,3));
    for b = 1:a(1,3)
        Y(:,b) = DATA(S, :, b)';
    end
elseif R == 2 then
    Y = zeros(a(1,1),a(1,3));
    for b = 1:a(1,3)
        Y(:,b) = DATA(:, S, b);
    end
elseif R == 3
    matriz_ists = zeros (2,a(1,2));
    Y = zeros(S,a(1,3));
    for b = 1:S
        ists1 = ceil((rand(1,1))*a(1,1));
        ists2 = ceil((rand(1,1))*a(1,2));
        matriz_ists (1,b) = ists1;
        matriz_ists (2,b) = ists2;
        for c = 1:a(1,3)
            Y(b,c) = DATA(ists1,ists2,c);
        end
    end
end
else
    error('Error in the THSP image')
end

//Plotting graphs
scf(0);
clf(0);
colormap gray;
imagesc(Y);
axis equal;
title('THSP Figure');

scf(1);
clf(1);
colormap gray;
imagesc(DATA(:, :, 1));
axis equal;
title('Image preview');

```

```
// Recording results
    gravar = address + 'thsp_scilab.bmp';
    Y = uint8(Y);
    imwrite(Y,gravar);

// Directory functions
    //cd('C:\biospeckle\fsbl\');

// Training time
    stopOfTheClock = getdate(); //stops the clock
    etr = etime(stopOfTheClock,initiationOfTheClock); //calculates the time
elapsed
    disp("");
    disp('Training time: ' + string(etr/60) + ' minutes. ');
    disp('ENDED!!!');
    sleep(5000);

// =====
endfunction
```

ANEXO 6 – Rotina do Método de *Fujii*

```

function [Y] = fujii(address,numImages,windows,x,y,h,w)
//
// Fujii Technique
// Developed by: Junio Moreira / Roberto Alves Braga Júnior
//
// BSLD (Library Speckle Laser Dynamic) version 1.0
// 30 of september of 2013
// Review: 07 of october of 2013
//
// Federal University of Lavras - UFLA
//
// =====
// Main Program
// =====
//
// Fujii Technique
// In: FUJII, H. et al. Evaluation of blood flow by laser speckle image sensing.
// Applied Optics, New York, v. 26, n. 24, p. 5321-5325, 1987.
//
// Input:
// DATA are the speckle data
//
// Output:
// Y is the Fujii image
//
//-----//
//
// Clear memory
    clc();
    clear all;

// Set free the memory
    stacksize('max');

// Start Time
    initiationOfTheClock = getdate();

// Set the directory of the Images
    cd(address);

```

```

// Identification of the images -- see the format of the image with only numbers.
j = imread ('1.bmp');
k = size(j);
line = k(1,1);
column = k(1,2);

// Define the size of the avalized image <0> the whole image / <1> the partion of
the image
//
if windows == 0
    disp('Processing start!');
    disp('Wait...');
    DATA = zeros(line,column,numImages);
    for i = 1:numImages
        nome = [string(i)'.bmp'];
        DATA(:,i) = imread(nome);
    end

elseif windows == 1
    disp('Processing start!');
    disp('Wait...');
    JANELA = zeros(line,column,numImages);
    DATA = zeros(h,w,numImages);

    for i = 1:numImages
        nome = [string(i)'.bmp'];
        JANELA(:,i) = imread(nome);
        DATA(:,i) = JANELA(y:h+y-1,x:w+x-1,i);
    end
end
end
//-----//
//
// Processing

clc();
disp('Start method FUJIL...');

a = size(DATA);
Y = zeros(a(1,1),a(1,2));

for b = 1:a(1,3)-1

```

```

        Y = ((abs(DATA(:,:,b) - DATA(:,:,b+1)))/(DATA(:,:,b) + DATA(:,:,b+1)
+ 1)) + Y;
    end

    Y = Y / (max(max(Y)));
    //Y = mat2gray(Y,[0,255]);

//Plotting graphs
    scf(0);
    clf(0);
    colormap gray;
    imagesc(Y);
    axis equal;
    title('Fujii Method:');

    scf(1);
    clf(1);
    colormap gray;
    imagesc(DATA(:,:,1));
    axis equal;
    title('Image Preview:');

// Directory functions
    //cd('C:\biospeckle\fsbl\');

// Recording results
    gravar = address + 'fujii_scilab.bmp';
    imwrite(Y,gravar);

// Training time
    stopOfTheClock = getdate(); //stops the clock
    etr = etime(stopOfTheClock,initiationOfTheClock); //calculates the time
elapsed
    disp("");
    disp('Training time: ' + string(etr/60) + ' minutes. ');
    disp('ENDED!!!');
    sleep(5000);

// =====
endfunction

```

ANEXO 7 – Rotina do Método de Diferenças Generalizadas (DG)

```

function [Y] = gd(address,numImages,windows,x,y,h,w)
//
// Generalized Difference (GD) Technique
// Developed by: Junio Moreira / Roberto Alves Braga Júnior
//
// BSLD (Library Speckle Laser Dynamic) version 1.0
// 30 of september of 2013
// Review: 28 of october of 2013
//
// Federal University of Lavras - UFLA
//
// =====
// Main Program
// =====
//
// Generalized Difference Technique - GD
// In: ARIZAGA, R. et al. Display of the local activity using dynamical speckle
// patterns. Optical Engineering, Redondo Beach, v. 41, n. 2, p. 287-294,
// June 2002.
//
/// Input:
// DATA are the speckle data
//
// Output:
// Y is the GD image
//
//-----//
//
// Clear memory
    clc();
    clear all;

// Set free the memory
    stacksize('max');

// Start Time
    initiationOfTheClock = getdate();

// Set the directory of the Images

```

```

cd(address);

// Identification of the images -- see the format of the image with only numbers.
j = imread ('1.bmp');
k = size(j);
line = k(1,1);
column = k(1,2);

// Define the size of the avalized image <0> the whole image / <1> the partion of
the image
//
if windows == 0
    disp('Processing start!');
    disp('Wait...');
    DATA = zeros(line,column,numImages);
    for i = 1:numImages
        nome = [string(i)'.bmp'];
        DATA(:,i) = imread(nome);
    end

elseif windows == 1
    disp('Processing start!');
    disp('Wait...');
    JANELA = zeros(line,column,numImages);
    DATA = zeros(h,w,numImages);

    for i = 1:numImages
        nome = [string(i)'.bmp'];
        JANELA(:,i) = imread(nome);
        DATA(:,i) = JANELA(y:h+y-1,x:w+x-1,i);
    end
end
//-----//
//
// Processing

clc();
disp('Start method GENERALIZED DIFFERENCE TECHNIQUE (GD)...');

a = size(DATA);
Y = zeros(a(1,1),a(1,2));

```

```

for b = 1:a(1,3)-1
    for c = 1:a(1,3)-b
        Y = (abs(DATA(:,b) - DATA(:,b+c))) + Y;
    end
end

Y = Y / (max(max(Y)));
//Y = mat2gray(Y,[0,255]);

//Plotting graphs
scf(0);
clf(0);
colormap gray;
imagesc(Y);
axis equal;
title('GD Method:');

scf(1);
clf(1);
colormap gray;
imagesc(DATA(:,1));
axis equal;
title('Image Preview:');

// Directory functions
//cd('C:\biospeckle\fsbl\');

// Recording results
gravar = address + 'gd_scilab.bmp';
imwrite(Y,gravar);

// Training time
stopOfTheClock = getdate(); //stops the clock
etr = etime(stopOfTheClock,initiationOfTheClock); //calculates the time
elapsed
disp("");
disp("Training time: " + string(etr/60) + ' minutes. ');
disp('ENDED!!!');
sleep(5000);

// =====
endfunction

```

ANEXO 8 – Rotina do Método de Desvio Padrão (SD)

```

function [Y] = sd(address,numImages,windows,x,y,h,w)
//
// Algorithm Standard Deviation Technique
// Developed by: Junio Moreira / Roberto Alves Braga Júnior
//
// BSLD (Library Speckle Laser Dynamic) version 1.0
// 30 of september of 2013
// Review: 28 of october of 2013
//
// Federal University of Lavras - UFLA
//
// =====
// Main Program
// =====
//
// In: Cardoso, R.R. ; Braga, R.A. ; Rabal, H.J. Alternative protocols on
//     dynamic speckle laser analysis. SPIE 8413, V International Conference
//     on Speckle Metrology. 2012
//
/// Input:
// DATA are the speckle data
//
// Output:
// Y is the SD image
//
//-----//
//
// Clear memory
    clc();
    clear all;

// Set free the memory
    stacksize('max');

// Start Time
    initiationOfTheClock = getdate();

// Set the directory of the Images
    cd(address);

```

```

// Identification of the images -- see the format of the image with only numbers.
j = imread ('1.bmp');
k = size(j);
line = k(1,1);
column = k(1,2);

// Define the size of the avalized image <0> the whole image / <1> the partion of
the image
//
if windows == 0
    disp('Processing start!');
    disp('Wait...');
    DATA = zeros(line,column,numImages);
    for i = 1:numImages
        nome = [string(i)'.bmp'];
        DATA(:,i) = imread(nome);
    end

elseif windows == 1
    disp('Processing start!');
    disp('Wait...');
    JANELA = zeros(line,column,numImages);
    DATA = zeros(h,w,numImages);

    for i = 1:numImages
        nome = [string(i)'.bmp'];
        JANELA(:,i) = imread(nome);
        DATA(:,i) = JANELA(y:h+y-1,x:w+x-1,i);
    end
end
end
//-----//
//
// Processing

clc();
disp('Start method SD...');

a = size(DATA);
Y = zeros(a(1,1),a(1,2));

for b = 1:a(1,1)

```

```

    for c = 1:a(1,2)
        for d = 1:a(1,3)
            X(1,d) = DATA(b,c,d);
        end
        Y(b,c) = abs(std2(X));
    end
end

Y = Y / (max(max(Y)));
//Y = mat2gray(Y,[0,255]);

//Plotting graphs
scf(0);
clf(0);
colormap gray;
imagesc(Y);
axis equal;
title('SD Method:');

scf(1);
clf(1);
colormap gray;
imagesc(DATA(:,:,1));
axis equal;
title('Image Preview:');

// Recording results
gravar = address + 'sd_scilab.bmp';
imwrite(Y,gravar);

// Training time
stopOfTheClock = getdate(); //stops the clock
etr = etime(stopOfTheClock,initiationOfTheClock); //calculates the time
elapsed
disp("");
disp('Training time: ' + string(etr/60) + ' minutes. ');
disp('ENDED!!!');
sleep(5000);

// =====
endfunction

```

**ANEXO 9 – Rotina do Método de Contraste aplicado em um conjunto de
imagens**

```

function [Y] = contrast_conj(address,numImages,h,w)
//
// Algorithm Contrast Technique
// Developed by: Junio Moreira / Roberto Alves Braga Júnior
//
// BSLD (Library Speckle Laser Dynamic) version 1.0
// 30 of september of 2013
// Review: 28 of october of 2013
//
// Federal University of Lavras - UFLA
//
// =====
// Main Program
// =====
//
// In: Cardoso, R.R. ; Braga, R.A. ; Rabal, H.J. Alternative protocols on
// dynamic speckle laser analysis. SPIE 8413, V International Conference
// on Speckle Metrology. 2012
//
// Output:
// Y is the set of values of the contrast of an image
//
//-----//
//
// Clear memory
    clc();
    clear all;

// Set free the memory
    stacksize('max');

// Start Time
    initiationOfTheClock = getdate();

// Set the directory of the Images
    cd(address);

```

```

// Identification of the images -- see the format of the image with only numbers.
j = imread ('1.bmp');
k = size(j);
line = k(1,1);
column = k(1,2);

DATA = zeros(line,column,numImages);

// Begin
disp('Processing start!');
disp('Wait...');

for i = 1:numImages
    nome = [string(i)+''.bmp'];
    DATA(:,i) = imread(nome);
end
//-----//
//
// Processing
//
clc();
disp('Start CONTRAST method...');

a = size(DATA);
Y = zeros(a(1,3),1);
Z = zeros(h,w);

for b = 1:numImages
    for c = 1:h:a(1,1)-h
        for d = 1:w:a(1,2)-w+1
            Z(:,c) = DATA(c:c+h-1,d:d+w-1,b);
            //z(c:c+h-1,d:d+w-1) = (std2(Z)/(mean2(Z)+1));
            z(c:c+h-1,d:d+w-1) = 1 - (std2(Z)/(mean2(Z)+1));
        end
    end
    Y(b,1) = mean2(z);
    disp ('O Contraste da ' + string(b) + ' Imagem é-> ' + string(Y(b,1)));
end

// Directory Functions
//cd('C:\biospeckle\fsbl\');

```

```
// Recording results
    gravar = address + 'contrast_conj_scilab.txt';
    fprintfMat(gravar, Y);

// Training time
    stopOfTheClock = getdate(); //stops the clock
    etr = etime(stopOfTheClock,initiationOfTheClock); //calculates the time
elapsed
    disp("");
    disp("Training time: " + string(etr/60) + ' minutes. ');
    disp('ENDED!!!');
    sleep(5000);

// =====
endfunction
```

ANEXO 10 – Rotina do Método de Contraste

```

function [X,Y] = contrast(address,h,w)
//
// Algorithm Contrast Technique
// Developed by: Junio Moreira / Roberto Alves Braga Júnior
//
// BSLD (Library Speckle Laser Dynamic) version 1.0
// 30 of september of 2013
// Review: 28 of october of 2013
//
// Federal University of Lavras - UFLA
//
// =====
// Main Program
// =====
//
// In: RABAL, H. J.; BRAGA, R. A. Dynamic laser speckle and applications.
Boca
// Raton: CRC, 2008. 304 p.
//
// Output:
// Y is the Constrast image
// X is the value of the contrast
//
//-----//
//
// Clear memory
    clc();
    clear all;

// Set free the memory
    stacksize('max');

// Start Time
    initiationOfTheClock = getdate();

// Set the directory of the Images
    cd(address);

// Identification of the images -- see the format of the image with only numbers.

```

```

DATA = imread ('1.bmp');
a = size(DATA);
line = a(1,1);
column = a(1,2);
preview = zeros(line,column);

//-----//
//
// Processing

clc();
disp('Start CONTRAST method...');

a = size(DATA);
Y = zeros(a(1,1),a(1,2));
Z = zeros(h,w);
contraste = zeros(floor(a(1,1)/h),floor(a(1,2)/w));
x = 1;
y = 1;
preview(:, :) = DATA (:, :);

for b = 1:h:a(1,1)-h
    for c = 1:w:a(1,2)-w+1
        Z(:, :) = DATA(b:b+h-1,c:c+w-1);
        //Y(b:b+h-1,c:c+w-1) = (std2(Z)/(mean2(Z)+1));
        Y(b:b+h-1,c:c+w-1) = 1 - (std2(Z)/(mean2(Z)+1));
        contraste(x,y) = 1 - (std2(Z)/(mean2(Z)+1));
        y = y+1;
    end
    x = x+1;
    y = 1;
end

// Directory Functions
//cd('C:\biospeckle\fsbl\');

// Percentage of method Saturation
disp('Final Results Percentage method Contrast: ');
disp('Matriz of value Contrast --> ');
disp(contraste);

// Calculating the contrast final

```

```
disp('Final Results Constrast method: ');
X = mean2(Y);
disp('Value of Contrast --> ');
disp(X);

//Plotting graphs
scf(0);
clf(0);
colormap gray;
imagesc(Y(:,:));
title('Constrast Method!');
colorbar;
axis equal;

scf(1);
clf(1);
//colormap gray;
imagesc(preview(:,:));
title('Image Preview:');
axis equal;

// Recording results
gravar = address + 'contrast_scilab.bmp';
imwrite(Y,gravar);

// Training time
stopOfTheClock = getdate(); //stops the clock
etr = etime(stopOfTheClock,initiationOfTheClock); //calculates the time
elapsed
disp("");
disp('Training time: ' + string(etr/60) + ' minutes. ');
disp('ENDED!!!');
sleep(5000);

// =====
endfunction
```

ANEXO 11 – Rotina do Método de Homogeneidade

```

function [Y] = thsp(DATA,R,S)
//
// Time History Speckle Patterns - THPS
// In: OULOMARA, G.; TRIBILLON, J.; DUVERNOY, J. Biological activity
// measurements
// on botanical specimen surfaces using a temporal decorrelation effect of
// laser speckle. Journal of Moderns Optics, London, v. 36, n. 2, p. 136-179,
// Feb. 1989.
//
// and: XU, Z.; JOENATHAN, C.; KHORANA, B. M. Temporal and spatial
// proprieties of
// the time varying speckles of botanical. Optical Enginnering, Virginia,
// v. 34, n. 5, p. 1487-1502, May 1995.
//
// Input:
// DATA are the speckle data
// R is the parameter of analysis:
// if R is equal 1, you choose the line of images to make THSP
// and if R is equal 2 you choose the columns of images to make THSP
// and if R is equal 3 you choose the thsp random
// S is the line, column or size used to make the time history speckle patterns
//
// Output:
// Y is the time history speckle patterns image
//
// =====
// Begin
//
a = size(DATA);

if R == 1 then
    Y = zeros(a(1,2),a(1,3));
    for b = 1:a(1,3)
        Y(:,b) = DATA(S,:,b);
    end
elseif R == 2 then
    Y = zeros(a(1,1),a(1,3));
    for b = 1:a(1,3)
        Y(:,b) = DATA(:,S,b);
    end
end

```

```

    end
elseif R == 3
    matriz_ists = zeros (2,a(1,2));
    Y = zeros(S,a(1,3));
    for b = 1:S
        ists1 = ceil((rand(1,1))*a(1,1));
        ists2 = ceil((rand(1,1))*a(1,2));
        matriz_ists (1,b) = ists1;
        matriz_ists (2,b) = ists2;
        for c = 1:a(1,3)
            Y(b,c) = DATA(ists1,ists2,c);
        end
    end
else
    error('Error in the THSP image')
end

endfunction
// =====

function [Y] = moc(DATA)
//
// Cooccurrence Matrix Analysis - MOC
// In: ARIZAGA, R. et. al. Speckle time evolution characterization by the
// co-occurrence matrix analysis. Optics and Laser Technology, Amsterdam,
// v. 31, n. 2, p. 163-169, 1999.
//
// Input:
// DATA are the THSP data
//
// Output:
// Y is the Occurrence Matrix Construction
//
// =====
// Begin
//
    a = size(DATA);

    Y = zeros(256,256);
    for b = 1:a(1,1)
        for c = 1:a(1,2)-1
            d = ((DATA(b,c))+1);

```

```

        e = ((DATA(b,c+1))+1);

        if ((d >= 256) & (e >= 256))
            d = 256;
            e = 256;
        end

        Y(d,e) = Y(d,e)+1;

    end
end

endfunction
// =====

function [Y] = avd(DATA)
//
// Absolute Value of the Differences method - AVD
//
// In: BRAGA, R.A. et al. Evaluation of activity through dynamic laser speckle
// using the absolute value of the differences, Optics Communications, v. 284,
// n. 2, p. 646-650, 2011.
//
// Output:
// Y are the AVD's values.
// Y(1,1) is the value of the AVD Arizaga normalization
// Y(1,2) is the value of the AVD Cardoso normalization
//
// =====
// Begin
//
    Y = zeros(1,2);
    a = size(DATA);

    for b = 1:a(1,1)
        for c = 1:a(1,2)

            norm = sum(DATA(b,:));
            if norm == 0;
                norm = 1;
            end

```

```

Y(1,1) = ((DATA(b,c)*(abs(b-c)))/(norm)) + Y(1,1);

Y(1,2) = ((DATA(b,c)*(abs(b-c)))/(sum(sum(DATA)))) + Y(1,2);

    end
end

endfunction
// =====

function [Y] = im(DATA)
//
// Inertia Moment's - IM
// In: ARIZAGA, R. et. al. Speckle time evolution characterization by the
//   co-occurrence matrix analysis. Optics and Laser Technology, Amsterdam,
//   v. 31, n. 2, p. 163-169, 1999.
//
// and: BRAGA, R.A. ; Cardoso, R.R. ; Bezerra, P.S. ; Wouters, F. ; Sampaio,
//   G.R. ; Varaschin, M.S. . Biospeckle numerical values over spectral image
//   maps of activity. Optics Communications (Print), v. 285, p. 553-561, 2012.
//
// Output:
// Y are the value of the Inertia Moment.
// Y(1,1) is the value of the Inertia Moment without normalization
// Y(1,2) is the value of the Inertia Moment with Arizaga normalization
// Y(1,3) is the value of the Inertia Moment with Cardoso normalization
//
// =====
// Begin
//
Y = zeros(1,3);
a = size(DATA);

for b = 1:a(1,1)
    for c = 1:a(1,2)

        norm = sum(DATA(b,:));
        if norm == 0;
            norm = 1;
        end

        Y(1,1) = ((DATA(b,c)*((b-c)^2))/(256)) + Y(1,1);

```

```

Y(1,2) = ((DATA(b,c)*((b-c)^2))/(norm)) + Y(1,2);

Y(1,3) = ((DATA(b,c)*((b-c)^2))/(sum(sum(DATA)))) + Y(1,3);

    end
end

endfunction
// =====

function [X,Y] = homogeneidade(DATA,h,w)
//
// Homogeneity test
// In: Cardoso, R.R. ; Braga, R.A. ; Rabal, H.J. Alternative protocols on
//     dynamic speckle laser analysis. SPIE 8413, V International Conference
//     on Speckle Metrology. 2012
//
// Output:
// Y is a matrix with the homogeneity values
// Y(1,1) is the homogeneity value using the inertia moment method without
// normalization
// Y(2,1) is the homogeneity value using the inertia moment with Arizaga
// normalization
// Y(3,1) is the homogeneity value using the inertia moment with Cardoso
// normalization
//
// Y(1,2) is the homogeneity value using the AVD technique with Arizaga
// normalization
// Y(2,2) is the homogeneity value using the AVD technique with Cardoso
// normalization
//
// X are images with the spatial variability of the homogeneity
// X(:,,1) is the homogeneity image using inertia moment method without
// normalization
// X(:,,2) is the homogeneity image using inertia moment method with
// Arizaga normalization
// X(:,,3) is the homogeneity image using inertia moment method with
// Cardoso normalization
//
// X(:,,4) is the homogeneity image using AVD technique with Arizaga
// normalization

```

```

// X(:,:,5) is the homogeneity image using AVD technique with Cardoso
normalization
//
// =====
// Begin

a = size(DATA);
Y = zeros(3,2);
X = zeros(a(1,1),a(1,2),5);
Z = zeros(h,w,a(1,3));
H = zeros(5,((a(1,1)/h)*(a(1,2)/w)));
i = 1;

for b = 1:h:a(1,1)-h
    for c = 1:w:a(1,2)-w+1
        Z(:, :, :) = DATA(b:b+h-1,c:c+w-1,:);

        [sts] = thsp(Z,1,w/2);
        [ocm] = moc(sts);
        [d] = im(ocm);
        X(b:b+h-1,c:c+w-1,1) = d(1,1);
        X(b:b+h-1,c:c+w-1,2) = d(1,2);
        X(b:b+h-1,c:c+w-1,3) = d(1,3);

        [e] = avd(ocm);
        X(b:b+h-1,c:c+w-1,4) = e(1,1);
        X(b:b+h-1,c:c+w-1,5) = e(1,2);
        H(1,i) = d(1,1);
        H(2,i) = d(1,2);
        H(3,i) = d(1,3);
        H(4,i) = e(1,1);
        H(5,i) = e(1,2);
        i = i+1;
    end
end

// Homogeneity of method MI
Y(1,1) = 100 * (std2(H(1,:))/mean2(H(1,:)));

Y(2,1) = 100 * (std2(H(2,:))/mean2(H(2,:)));

Y(3,1) = 100 * (std2(H(3,:))/mean2(H(3,:)));

```

```

// Homogeneity of method AVD
Y(1,2) = 100 * (std2(H(4,:))/mean2(H(4,:)));

Y(2,2) = 100 * (std2(H(5,:))/mean2(H(5,:)));

endfunction
// =====

function [Y] = homogeneity(address,numImages,h,w)
//
// Algorithm Homogeneity Technique
// Developed by: Junio Moreira / Roberto Alves Braga Júnior
//
// BSLD (Library Speckle Laser Dynamic) version 1.0
// 30 of september of 2013
// Review: 01 of november of 2013
//
// Federal University of Lavras - UFLA
//
// =====
// Main Program
// =====
//
// In: Cardoso, R.R. ; Braga, R.A. ; Rabal, H.J. Alternative protocols on
// dynamic speckle laser analysis. SPIE 8413, V International Conference
// on Speckle Metrology. 2012
//
// Output:
// Y is the Constrast image
// X is the value of the contrast
//
//-----//
//
// Clear memory
clc();
clear all;

// Set free the memory
stacksize('max');

// Start Time

```

```

    initiationOfTheClock = getdate();

// Set the directory of the Images
    cd(address);

// Identification of the images -- see the format of the image with only numbers.
    j = imread ('1.bmp');
    k = size(j);
    line = k(1,1);
    column = k(1,2);

    DATA = zeros(line,column,numImages);

// Begin
    disp('Processing start!');
    disp('Wait...');

    for i = 1:numImages
        nome = [string(i)'.bmp'];
        DATA(:,i) = imread(nome);
    end
//-----//
//
// Processing
//
    HT = 6;
    preview = DATA(:,1);

    clc();
    disp('Start HOMOGENEITY method. ');
    disp('Keep calm, the procedure may take several minutes...')

    [X,Y] = homogeneidade(DATA,h,w);

// Directory Functions
    //cd('C:\biospeckle\fsbl\');

// Homogeneity of method MI
    disp('Final Results IM method: ');

    disp('Homogeneity of IM without normalization --> ');
    disp(Y(1,1));

```

```

disp('Homogeneity of IM with Arizaga normalization --> ');
disp(Y(2,1));

disp('Homogeneity of IM with Cardoso normalization --> ');
disp(Y(3,1));

// Homogeneity of method AVD
disp('Final Results AVD method: ');
disp('Homogeneity of AVD with Arizaga normalization --> ');
disp(Y(1,2));

disp('Homogeneity of AVD with Cardoso normalization --> ');
disp(Y(2,2));

//Plotting graphs
scf(0);
clf(0);
colormap gray;
imagesc(preview(:,:));
axis equal;
title('Preview Image --> ');

if (HT == 1) //Graphical output of IM without normalization
    scf(1);
    clf(1);
    imagesc(X(:,:,1));
    axis equal;
    title('IM without normalization');
    colorbar;
end

if (HT == 2) //Graphical output of IM with Arizaga normalization
    scf(1);
    clf(1);
    imagesc(X(:,:,2));
    axis equal;
    title('IM with Arizaga normalization');
    colorbar;
end

if (HT == 3) //Graphical output of IM with Cardoso normalization

```

```
    scf(1);
    clf(1);
    imagesc(X(:,:,3));
    axis equal;
    title('IM with Cardoso normalization');
    colorbar;
end

if (HT == 4) //Graphical output of AVD with Arizaga normalization
    scf(1);
    clf(1);
    imagesc(X(:,:,4));
    axis equal;
    title('AVD with Arizaga normalization');
    colorbar;
end

if (HT == 5) //Graphical output of AVD with Cardoso normalization
    scf(1);
    clf(1);
    imagesc(X(:,:,5));
    axis equal;
    title('AVD with Cardoso normalization');
    colorbar;
end

if (HT == 6) //Graphical output of values of IM and AVD
    scf(1);
    clf(1);
    imagesc(X(:,:,1));
    axis equal;
    title('IM without normalization');
    colorbar;

    scf(2);
    clf(2);
    imagesc(X(:,:,2));
    axis equal;
    title('IM with Arizaga normalization');
    colorbar;

    scf(3);
```

```
    clf(3);
    imagesc(X(:,:,3));
    axis equal;
    title('IM with Cardoso normalization');
    colorbar;

    scf(4);
    clf(4);
    imagesc(X(:,:,4));
    axis equal;
    title('AVD with Arizaga normalization');
    colorbar;

    scf(5);
    clf(5);
    imagesc(X(:,:,5));
    axis equal;
    title('AVD with Cardoso normalization');
    colorbar;
end

// Training time
stopOfTheClock = getdate(); //stops the clock
etr = etime(stopOfTheClock,initiationOfTheClock); //calculates the time
elapsed
disp("");
disp('Training time: ' + string(etr/60) + ' minutes. ');
disp('ENDED!!!');
sleep(5000);

//=====
endfunction
```

ANEXO 12 – Rotina do Método de Saturação

```

function [S,saturacao,dark] = sat(DATA,h,w)
//
// Sat Method - Sat Method for calculating areas of dark or saturated window
analysis
// In: RABAL, H. J.; BRAGA, R. A. Dynamic laser speckle and applications.
Boca
// Raton: CRC, 2008. 304 p.
//
// Output:
// Y are the value of the calculating areas of dark or saturated window analysis
//
// =====
// Begin
//
a = size(DATA);
S = zeros(a(1,1),a(1,2));
P = 0.5;
MES = 0;
MEI = 15;

saturacao = 0;
dark = 0;

for b = 1:a(1,1)
    for c = 1:a(1,2)

        if (DATA(b,c) >= (255 - MES))
            saturacao = saturacao+1;
        end

        if (DATA(b,c) <= (1 + MEI))
            dark = dark+1;
        end

    end
end

if (saturacao >= (h*w*P)) then
    S(:, :) = 255;

```

```

end

if (dark >= (h*w*P)) then
    S(:, :) = 0;
end

if ((saturacao < (h*w*P)) & (dark < (h*w*P))) then
    S(:, :) = DATA(:, :);
end

if ((saturacao >= (h*w*P)) & (dark >= (h*w*P))) then
    J = ones(a(1,1), a(1,2));
    L = zeros(a(1,1), a(1,2));
    J = tril(J,0);
    L = triu(L,0);
    S = J+L;
end

endfunction

function [Y] = saturation(address,h,w)
//
// Algorithm Contrast Technique
// Developed by: Junio Moreira / Roberto Alves Braga Júnior
//
// BSLD (Library Speckle Laser Dynamic) version 1.0
// 30 of september of 2013
// Review: 01 of november of 2013
//
// Federal University of Lavras - UFLA
//
// =====
// Main Program
// =====
//
/// Saturation Method - Method for calculating areas of dark or saturated window
analysis
// In: RABAL, H. J.; BRAGA, R. A. Dynamic laser speckle and applications.
Boca
// Raton: CRC, 2008. 304 p.
//

```

```

// Output:
// Y are the value of the calculating areas of dark or saturated window analysis
//
//-----//
//
// Clear memory
    clc();
    clear all;

// Set free the memory
    stacksize('max');

// Start Time
    initiationOfTheClock = getdate();

// Set the directory of the Images
    cd(address);

// Identification of the images -- see the format of the image with only numbers.
    DATA = imread ('1.bmp');
    a = size(DATA);
    line = a(1,1);
    column = a(1,2);
    preview = zeros(line,column);

//-----//
//
// Processing

    a = size(DATA);
    Y = zeros(a(1,1),a(1,2));
    Z = zeros(h,w);
    MP_sat = zeros(a(1,1)/h,a(1,2)/w);
    MP_dark = zeros(a(1,1)/h,a(1,2)/w);
    x = 1;
    y = 1;
    preview(:, :) = DATA(:, :);

    clc();
    disp('Start method SATURATION...');

    for b = 1:h:a(1,1)-h

```

```

    for c = 1:w:a(1,2)-w+1
        Z(:,c) = DATA(b:b+h-1,c:c+w-1);
        [d,saturacao,dark] = sat(Z,h,w);
        Y(b:b+h-1,c:c+w-1) = d(:,c);
        MP_sat(x,y) = ((100*saturacao)/(h*w));
        MP_dark(x,y) = ((100*dark)/(h*w));
        y = y+1;
    end
    x = x+1;
    y = 1;
end

// Directory Functions
//cd('C:\biospeckle\fsbl\');

// Percentage of method Saturation
disp('Final Results Percentage method Saturation: ');
disp('Matriz de Percentage Saturation --> ');
disp(MP_sat);

disp('Final Results Percentage method Saturation: ');
disp('Matriz de Percentage Area Dark --> ');
disp(MP_dark);

//Plotting graphs
scf(0);
clf(0);
colormap gray;
imagesc(preview(:,:));
title('Image Preview:');
axis equal;

scf(1);
clf(1);
//colormap gray;
imagesc(Y(:,:));
axis equal;
xtitle('Saturation Method -->','Área Saturada - Vermelho','Área Escura - Azul'
);
title('Saturation Method:');

// Recording results

```

```
Y = uint8(Y);
gravar = address + 'saturation_scilab.bmp';
imwrite(Y,gravar);

// Training time
stopOfTheClock = getdate(); //stops the clock
etr = etime(stopOfTheClock,initiationOfTheClock); //calculates the time
elapsed
disp("");
disp('Training time: ' + string(etr/60) + ' minutes. ');
disp('ENDED!!!');
sleep(5000);

// =====
endfunction
```