

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

**Efeito Estocástico em *Speckle* Dinâmico**

SILVESTRE RODRIGUES  
Engenheiro Agrícola

CAMPINAS  
Abril 2007

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

**Efeito Estocástico em *Speckle* Dinâmico**

Tese submetida à Faculdade de  
Engenharia Agrícola da Universidade  
Estadual de Campinas para obtenção  
do título de Doutor em Engenharia  
Agrícola na área de concentração  
Máquinas Agrícolas

Autor: Silvestre Rodrigues  
Orientador: Prof. Dr. Inácio Maria Dal Fabbro  
Co-orientador: Prof. Dr. Roberto Alves Braga Júnior

CAMPINAS  
Abril 2007

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE -  
UNICAMP

R618e      Rodrigues, Silvestre  
              Efeito estocástico em *Speckle* dinâmico / Silvestre  
              Rodrigues.--Campinas, SP: [s.n.], 2007.

              Orientadores: Inácia Maria Dal Fabbro, Roberto  
              Alves Braga Júnior  
              Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de  
              Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

              1. Processamento de imagens. 2. Sementes -  
              Qualidade. 3. Feijão – Sementes - Viabilidade. 4.  
              Sementes - envelhecimento. I. Dal Fabbro, Inácio  
              Maria. II. Braga Júnior, Roberto Alves. III.  
              Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de  
              Engenharia Agrícola. IV. Título.

Título em Inglês: Stochastic Effects on Dynamic Speckle

Palavras-chave em Inglês: Image, Seed, Senescence

Área de concentração: Máquinas Agrícolas

Titulação: Doutor em Engenharia Agrícola

Banca examinadora: Mikiya Muramatsu, Paulo Régis Caron Ruffino, Antonio  
Carlos de Oliveira Ferraz e Antonio José da Silva Maciel

Data da defesa: 17/04/2007

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Agrícola

## **EPÍGRAFE**

"O coração do homem traça o seu caminho, mas o SENHOR lhe dirige os passos"

Provérbios 16:9

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais, Helvecio Rodrigues e Maria Luzia da Silva Rodrigues, e aos meus irmãos e irmãs,

Dedico.

## AGRADECIMENTO

A DEUS, pela graça da vida.

À UNICAMP, pelo apoio financeiro através do Programa BIG, imprescindível para a realização deste trabalho.

À Universidade Federal de Rondônia, pela liberação para o término deste trabalho.

Ao Professor Inácio Maria Dal Fabbro, pela amizade, carinho e pelos ensinamentos ao longo desses anos.

Ao professor Roberto Alves Braga Júnior, pela co-orientação, amizade e ensinamentos.

Ao professor Antônio Carlos de Oliveira Ferraz, pela orientação no Programa Intrutor Graduado, à professora Marlene Rita de Queiroz e ao Professor Armando Kazuo Fujii, pela amizade.

Aos professores Héctor Jorge Rabal e Mikiya Muramatsu, pelo auxílio e sugestões no desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores Paulo Régis C. Ruffino e Pedro José Catuogno, pela colaboração nos fundamentos matemáticos.

Ao professor Giovanni Francisco Rabelo, pela amizade.

Ao professor Antônio José da Silva Maciel, pelo incentivo e pelas valiosas sugestões na condução deste trabalho de pesquisa.

Ao Henri Rodrigues Zurmely e à Michele Carvalho Silva, pelo auxílio no desenvolvimento do programa para cálculo da entropia.

À Coordenadoria da Pós-Graduação da FEAGRI, na pessoa do Professor Jose Euclides Stipp Paterniani, à secretária Marta Aparecida R Vechi, à Rosângela Gomes e à Ana Paula Montagner, pela dedicação e presteza.

Às alunas Gabriela Munhoz e Beatriz Rebola, pela ajuda nos ensaios de *biospekle*.

Aos amigos Márcio Roque, Wellington Roque, Marcel Murayama, Ney Sidou, Douglas Bizari, Anderson, Renata Zurmely, Evandro Correa, Leandro Almeida, Leandro Mores, Armando Monteiro, Éder Pereira Gomes e Laura Simões, pela agradável convivência em Campinas.

À minha família, em especial a Meiry Luciane Costa, pelo constante apoio nas horas mais difíceis.

## SUMÁRIO

EPÍGRAFE .....	iv
DEDICATÓRIA .....	v
AGRADECIMENTO .....	vi
SUMÁRIO .....	viii
LISTAS DE TABELAS .....	x
LISTAS DE FIGURAS, GRÁFICOS E MATRIZES .....	xi
LISTAS DE EQUAÇÕES .....	xvii
RESUMO. ....	xx
ABSTRACT. ....	xxi
I. INTRODUÇÃO. ....	1
II. OBJETIVOS. ....	3
2.1 Geral. ....	3
2.2 Específico .....	3
III. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA. ....	4
3.1 Speckle .....	4
3.2 <i>Speckle</i> Dinâmico. ....	7
3.3 Interação do Laser com Materiais Biológicos. ....	8
3.4 Tratamentos de Padrão .....	9
3.5 Modelo Padrão Digital.....	11
3.6 Variáveis Aleatórias .....	13
3.6.1 Teoria do caos e teoria de probabilidade .....	14
3.6.2 Entropia .....	15
3.6.3 Movimento Browniano.....	20
3.6.4 Rudimentos do Cálculo Estocástico. ....	21
3.6.5 Ruído Branco .....	27
3.7 Métodos de Análise do <i>Speckle</i> Dinâmico .....	28
3.7.1 “Momento de Inércia” .....	28
3.7.2 Método de Diferenças Generalizadas .....	32
3.7.3 Método de Fujii .....	35
3.7.4 Método de LASCA.....	36
3.7.5 Método <i>Wavelets</i> .....	36
3.8 – Aplicações .....	39
3.8.1 Vitalidade Sementes .....	39
3.8.2 Vitalidade de tecidos vegetais .....	39
3.8.3 <i>Biospeckle</i> e propriedades mecânicas do tecido vegetal .....	40
3.8.4 Secagem de Pinturas Industriais. ....	40
3.8.5 Espermograma .....	41
3.8.7 Umidade do Solo .....	41
IV MATERIAL E MÉTODOS.....	42
4.1 – Interpretação matemática das Padrão STS .....	42
4.1.1 - Determinação do teor de água nas sementes a serem ensaiadas .....	42
4.1.2 Simulação do movimento browniano em sistema particulado imerso em campo magnético com variação de frequência .....	44
4.1.3 Simulação do movimento browniano a partir de Padrão de STS .....	45



4.1.4- Definição do sistema laser, captura e tratamento dos padrões .....	45
V. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
5.1 Quantificação de Padrão por entropia .....	47
5.2 Simulação do movimento browniano com o sistema particulado .....	52
5.3 Simulação do movimento browniano com Padrão STS .....	58
VI. CONCLUSÕES.....	70
VII. TRABALHOS FUTUROS. ....	71
VII BIBLIOGRAFIA .....	72
ANEXOS .....	78

## LISTAS DE TABELAS

	Número e Descrição	Pág.
<b>Tabela 1</b>	Valores médios de “Momento de Inércia” (MI) obtidos na análise do <i>biospeckle</i> (imagens MOC) de sementes de feijão ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L), em diferentes níveis de umidade.	48
<b>Tabela 2</b>	Valores médios de Entropia obtidos na análise do <i>biospeckle</i> (imagens MOC) de sementes de feijão ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L), em diferentes níveis de umidade.	48
<b>Tabela 3</b>	Valores médios de Entropia (imagens STS) obtidos na análise do <i>biospeckle</i> de sementes de feijão ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L), em diferentes níveis de umidade.	49
<b>Tabela 4</b>	Quadro de análise de variância para os valores de entropia obtidos da média dos tratamentos.	49
<b>Tabela 5</b>	Quadro de análise de variância para os valores de momento de inércia obtidos da média dos tratamentos.	49
<b>Tabela 6</b>	Valores de momento de inércia relativos às diferentes frequências.	53

## LISTAS DE FIGURAS, GRÁFICOS E MATRIZES

Número e Descrição	Pág.
Figura 1: Padrão de um speckle formado ao iluminar uma superfície com micro relevo	6
Figura 2: Diagrama de um sistema de processamento de imagens	10
Figura 3: Transformação de imagens contínuas em sinais digitais	11
Figura 4a: Padrão fictícia de um material de alta atividade	19
Figura 4b: Padrão fictícia de um material de baixa atividade	19
Figura 5: Movimento de uma esfera de resina de raio 0,53 $\mu\text{m}$	21
Figura6: Padrão de uma semente de feijão a 27% bu	29
Figura 7: Padrão de uma semente de feijão a 11% bu	29
Figura 8: Padrão de uma semente de feijão a 13% bu	29
Figura 9: Padrão de uma semente de feijão a 15% bu	29
Figura 10a: Padrão de MOC sem envelhecimento artificial	31
Figura 10b: Padrão de MOC com 48 horas de envelhecimento artificial	31
Figura 10c: Padrão de MOC com 96 horas de envelhecimento artificial	31
Figura 10d: Padrão de MOC com 120 horas de envelhecimento artificial	31
Figura 10e: Padrão de MOC com 168 horas de envelhecimento artificial	31
Figura 10f: Padrão de MOC com 216 horas de envelhecimento artificial	31
Figura 11a: Representação de Padrão de diferenças generalizadas	33
Figura 11b: Representação de Padrão de diferenças generalizadas	33
Figura 11c: Representação de Padrão de diferenças generalizadas	33
Figura 12: Representação de Padrão de diferenças generalizadas.	33

Figura 13a: Resultado de diferenças generalizadas de uma semente de feijão	34
Figura 13b: Resultado de diferenças generalizadas de uma semente de soja	34
Figura 13c: Resultado de diferenças generalizadas de uma semente de milho	34
Figura 13d: Resultado de diferenças generalizadas de uma semente de algodão	34
Figura 13e: Resultado de diferenças generalizadas de uma semente de café	34
Figura 14: Padrão gerado pelo método de Fujii	35
Figura 15: Esquema do indutor	44
Figura 16: <i>Set up</i> de iluminação e captura de Padrão	46
Figura 17a: Representação gráfica e equação de regressão linear dos valores de entropia de sementes de feijão em diferentes umidades para a repetição 1	51
Figura 17b: Representação gráfica e equação de regressão linear dos valores de entropia de sementes de feijão de diferentes umidades para a repetição 2	51
Figura 17c: Representação gráfica e equação de regressão linear dos valores de entropia de sementes de feijão em diferentes níveis de umidade para a repetição 3	51
Figura 18a: Representação gráfica e equação de regressão linear dos valores de <i>Momento de Inércia</i> de sementes de feijão em diferentes umidades para a repetição 1	51
Figura 18b: Representação gráfica e equação de regressão linear dos valores de <i>Momento de Inércia</i> de sementes de feijão em diferentes umidades para a repetição 2	51
Figura 18c: Representação gráfica e equação de regressão linear dos valores de <i>Momento de Inércia</i> de sementes de feijão em diferentes umidades para a repetição 3	52
Figura 19a. Padrão de MOC – Sistema particulado sem a presença de campo magnético	54
Figura 19b: Padrão de STS formada ao iluminar glicerina com partículas de aço na presença de campo magnético	54
Figura 20a. Padrão de MOC – Sistema particulado com campo magnético de 0,5 hertz	54

Figura 20b: Padrão de STSMOC formada ao iluminar glicerina com partículas de aço na presença de campo magnético na faixa de 0,5 Hertz	54
Figura 21a: Padrão de MOC formada ao iluminar glicerina com partículas de aço na presença de campo magnético na faixa de 1,0 Hertz	55
Figura 21b: Padrão de STS formada ao iluminar glicerina com partículas de aço na presença de campo magnético na faixa de 1,0 Hertz	55
Figura 22a: Padrão de MOC formada ao iluminar glicerina com partículas de aço na presença de campo magnético na faixa de 2,0 Hertz	55
Figura 22b: Padrão de STS formada ao iluminar glicerina com partículas de aço na presença de campo magnético na faixa de 2,0 Hertz	55
Figura 23a: Padrão de MOC formada ao iluminar glicerina com partículas de aço na presença de campo magnético na faixa de 5,0 Hertz	56
Figura 23b: Padrão de STS formada ao iluminar glicerina com partículas de aço na presença de campo magnético na faixa de 5,0 hertz	56
Figura 24a: Padrão de MOC formada ao iluminar glicerina com partículas de aço na presença de campo magnético na faixa de 10,0 Hertz	56
Figura 24b: Padrão de STS formada ao iluminar glicerina com partículas de aço na presença de campo magnético na faixa de 10,0 hertz	56
Figura 25a: Padrão de MOC formada ao iluminar glicerina com partículas de aço na presença de campo magnético na faixa de 20,0 Hertz	57
Figura 25b: Padrão de MOC – Sistema particulado com campo magnético de 20,0 hertz	57
Figura 26: Fotografia das partículas de aço com aumento de 50X	57
Figura 27a: Simulação do movimento browniano do Padrão de STS, formadas ao iluminar semente de feijão <i>Phaseolus vulgaris</i> L., com umidade próxima a 11% bu	59
Figura 27b: Efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de STS, geradas de uma semente de feijão <i>Phaseolus vulgaris</i> L., com umidade próxima a 11% bu	60
Figura 27 c. Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de MOC, geradas de uma semente de feijão <i>Phaseolus vulgaris</i> L., com umidade próxima a 11% bu	60

Figura 28a: Simulação do movimento browniano do Padrão de STS, formadas ao iluminar semente de feijão <i>Phaseolus vulgaris</i> L., com umidade próxima a 13% bu	60
Figura 28b: Efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de STS, geradas de uma semente de feijão <i>Phaseolus vulgaris</i> L., com umidade próxima a 13% bu	61
Figura 28 c. Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de MOC, geradas de uma semente de feijão <i>Phaseolus vulgaris</i> L., com umidade próxima a 13% bu	61
Figura 29a: Simulação do movimento browniano do Padrão de STS, formadas ao iluminar semente de feijão <i>Phaseolus vulgaris</i> L., com umidade próxima a 15% bu	61
Figura 29b: Efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de STS, geradas de uma semente de feijão <i>Phaseolus vulgaris</i> L., com umidade próxima a 15% bu	62
Figura 29c. Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de MOC, geradas de uma semente de feijão <i>Phaseolus vulgaris</i> L., com umidade próxima a 15% bu	62
Figura 30a: Simulação do movimento browniano do Padrão de STS, formadas ao iluminar semente de feijão <i>Phaseolus vulgaris</i> L., com umidade próxima a 117% bu	62
Figura 30b: Efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de STS, geradas de uma semente de feijão <i>Phaseolus vulgaris</i> L., com umidade próxima a 17% bu	63
Figura 30c. Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de MOC, geradas de uma semente de feijão <i>Phaseolus vulgaris</i> L., com umidade próxima a 17% bu	63
Figura 31a: Simulação do movimento browniano do Padrão de STS, formadas ao iluminar semente de feijão <i>Phaseolus vulgaris</i> L., com umidade próxima a 19% bu	63
Figura 31b: Efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de STS, geradas de uma semente de feijão <i>Phaseolus vulgaris</i> L., com umidade próxima a 19% bu	64
Figura 31c. Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de MOC, geradas de uma semente de feijão <i>Phaseolus vulgaris</i> L., com umidade próxima a 19% bu	64
Figura 32a: Simulação do movimento browniano do Padrão de STS, formadas ao iluminar semente de feijão <i>Phaseolus vulgaris</i> L., com umidade próxima a 21% bu	64

Figura 32b:. Efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de STS, geradas de uma semente de feijão <i>Phaseolus vulgaris</i> L., com umidade próxima a 21% bu	65
Figura 32c. Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de MOC, geradas de uma semente de feijão <i>Phaseolus vulgaris</i> L., com umidade próxima a 21% bu	65
Figura 33a: Simulação do movimento browniano do Padrão de STS, formadas ao iluminar semente de feijão <i>Phaseolus vulgaris</i> L., com umidade próxima a 23% bu	65
Figura 33b:. Efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de STS, geradas de uma semente de feijão <i>Phaseolus vulgaris</i> L., com umidade próxima a 23% bu	66
Figura 33c. Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de MOC, geradas de uma semente de feijão <i>Phaseolus vulgaris</i> L., com umidade próxima a 23% bu	66
Figura 34a: Simulação do movimento browniano do Padrão de STS, formadas ao iluminar semente de feijão <i>Phaseolus vulgaris</i> L., com umidade próxima a 25% bu	66
Figura 34b: Efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de STS, geradas de uma semente de feijão <i>Phaseolus vulgaris</i> L., com umidade próxima a 25% bu	67
Figura 34c. Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de MOC, geradas de uma semente de feijão <i>Phaseolus vulgaris</i> L., com umidade próxima a 25% bu	67
Figura 35a: Simulação do movimento browniano do Padrão de STS, formadas ao iluminar semente de feijão <i>Phaseolus vulgaris</i> L., com umidade próxima a 27% bu	67
Figura 35b:. Efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de STS, geradas de uma semente de feijão <i>Phaseolus vulgaris</i> L., com umidade próxima a 27% bu	68
Figura 35c. Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de MOC, geradas de uma semente de feijão <i>Phaseolus vulgaris</i> L., com umidade próxima a 27% bu	68
Figura 36a: Simulação do movimento browniano do Padrão de STS, formadas ao iluminar semente de feijão <i>Phaseolus vulgaris</i> L., com umidade próxima a 29% bu	68
Figura 36b:. Efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo	69

ImageJ das Padrão de STS, geradas de uma semente de feijão *Phaseolus vulgaris* L., com umidade próxima a 29% bu

Figura 36c. Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de MOC, geradas de uma semente de feijão *Phaseolus vulgaris* L., com umidade próxima a 29% bu

69



## LISTAS DE EQUAÇÕES

Nº	Descrição	Equações	Pág.
1	Decomposição da intensidade luminosa <i>de uma padrão monocromática</i>	$f(x,y) = i(x,y).r(x,y)$	11
2	Intensidade luminosa decomposta em componentes de <i>iluminação de uma padrão colorida</i>	$f(x,y) = fR(x,y) + fG(x,y) + fB(x,y),$	11
3	Entropia de uma variável discreta aleatória	$H(X) = -\sum_{i=1}^N P_i \cdot \ln p_i$	17
4	Entropia de grupo de amostras de tamanhos iguais	$H(V) = -\sum_{i=1}^N \frac{1}{N} \cdot \ln \frac{1}{N} = -\ln\left(\frac{1}{N}\right)$	17
5	Entropia das amostras	$H(U) = -\sum_{i=1}^l W_i \cdot \ln W_i$	17
6	Entropia de uma amostragem regular $U_t$	$H(U_l) = -\sum_{l=1}^L \left(\frac{1}{L}\right) \cdot \ln\left(\frac{1}{L}\right)$	18
7	Equação diferencial que interpreta uma equação integral estocástica	$dX_t = \mu(t, X_t)dt + \sigma(t, X_t)dW_t$	22
8	Integrais de Lebesgue e de Ito	$X_t = X_{t_0} + \int_{t_0}^t \mu(s, X_s)ds + \int_{t_0}^t \sigma(s, X_s)dW_s$	22
9	Ponto inicial da definição de integral de Itô	$\int_0^T g(s)dW(s) = \sum_{k=0}^{n-1} g(t_k)[W(t_{k+1}) - W(t_k)]$	23
10	Equação que define a função $g$ , constante em cada subintervalo	$E\left[\int_0^T g(s)dW(s)\right] = 0$	23
11	Equação que define a função $g$ , constante em cada subintervalo	$E\left[\left(\int_0^T g(s)dW(s)\right)^2\right] = \int_0^T E[g^2(s)]ds$	23
12	Propriedade distribuição normal	$E[\Delta W] = 0,$	23
13	Propriedade distribuição normal	$E[(\Delta W)^2] = \Delta t$	23

14	Propriedade distribuição normal	$\text{Var}(\Delta W(t)) = \Delta t$	23
15	Propriedade distribuição normal	$\text{var}((\Delta W(t))^2) = 2(\Delta t)$	23
16	Propriedade distribuição normal	$\int_0^T (dW)^2 = t,$	24
17	Fórmula de Itô para operacionalizar a solução de equações diferenciais estocásticas	$X_t = X_{t_0} + \int_{t_0}^t \mu(s, X_s) ds + \int_{t_0}^t \sigma(s, X_s) dW_s$	24
18	Caracterização de $f$ como uma função adequada como um processo de Ito	$\int_0^T g(s) dW(s) = \sum_{k=0}^{n-1} g(t_k) [W(t_{k+1}) - W(t_k)]$	24
19	Expressão que caracteriza a variação quadrática de $X$	$\langle X, X \rangle_t := \lim_{ \pi \rightarrow 0 } \sum_{i=1}^n (X_{t_{i+1}} - X_{t_i})^2$	24
20	Modelo de Orstein-Uhlenbek que caracteriza o movimento browniano.	$dX_t = -aX_t dt + b dW_t,$	25
21	Fórmula de Ito para movimento browniano.	$X_t = e^{-at} X_0 + e^{-at} \int_0^t e^{-as} b dW_u$	25
22	Segundo modelo Ito para movimento browniano.	$dX_t = \mu X_t dt + \sigma X_t dW_t,$	25
23	Fórmula de Ito para chegar ao processo $X$	$X_t = X_0 \exp \left[ \left( \mu - \frac{\sigma^2}{2} \right) t + \sigma W_t \right]$	26
24	Modelo empregado para caracterizar o movimento browniano.	$dX_t = -\mu(X_t - X_0) dt + \sigma X_t dW_t,$	26
25	Matriz de ocorrências	$\text{MOC} = [N_{ij}]$	30
26	Módulo de dispersão de intensidades ou momento de inércia ( <b>MI</b> )	$MI = \sum_{ij} M_{ij} (i - j)^2$	32
27	Diferenças generalizadas	$I(x, y) = \Sigma  I_k(x, y) - I_{k+1}(x, y) $	32

28	Método de Fujii	$I(x, y) = \Sigma \left  \frac{I_k(x, y) - I_{k+1}(x, y)}{I_k(x, y) + I_{k+1}(x, y)} \right $	35
29	Wavelet mãe	$\psi_{a,b}(t) =  a ^{-1/2} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$	37
30	Expansão da <i>wavelet</i>	$S(t) = \sum_{j=0}^{\infty} \sum_k C_j(k) \psi_{j,k}(t) = \sum_{j=0}^{\infty} r_j(t)$	37
31	Energia média do <i>wavelet</i>	$E_j^{(i)} = \frac{1}{N_j} \sum_{k=0}^{(L/2)-1}  C_{k,j,i} ^2$	38
32	Energia total	$E_{total}^{(i)} = \sum_{j=0} E_j^{(i)}$	38
33	Energia relativa	$Pj^{(i)} = \frac{E_j^{(i)}}{E_{total}^{(i)}}$	38
34	Entropia de Shanon	$S_{WT}^{(i)} = \sum_{j=0} Pj^{(i)} \cdot \ln[Pj^{(i)}]$	34
35	Porcentagem de quebra	$P(\%) = \frac{100 X (Ui - Uf)}{(100 - Uf)}$	43

## RESUMO.

Este trabalho tem por objetivo contribuir para o desenvolvimento de uma metodologia de análise de vitalidade de tecidos vivos, por meio de um modelo estocástico destinado a interpretar e quantificar Padrão associadas ao fenômeno conhecido como *biospeckle* ou *speckle* dinâmico, e geradas a partir da interação de luz coerente com materiais biológicos ou com sistemas particulados passíveis de fenômenos dinâmicos, à semelhança do movimento browniano. O *biospeckle* é formado pela mudança do padrão de interferência quando a luz coerente incide no tecido biológico ou no sistema particulado, gerando Padrão que podem ser observadas e apropriadamente capturadas. O material biológico tanto quanto o sistema particulado exibem transformações superficiais e internas ao longo do tempo, apresentando-se à luz coerente como uma rede de difração dinâmica. Através de tratamento digital das Padrão coletadas para retratação do fenômeno, é possível diferenciar níveis de atividades biológicas nos tecido em estudo. A análise de Padrão associadas ao *biospeckle* apresenta um comportamento típico estocástico, sugerindo um estudo estatístico probabilístico do comportamento da padrão, seja por movimento browniano, entropia ou outro modelo aplicável a fenômenos aleatórios. Para o estudo desses fenômenos, este trabalho abordou a viabilidade de sementes, senescência de tecidos biológicos, além de uma simulação de movimento browniano com sistemas particulados. Os resultados mostraram que as Padrão geradas pelo método **STS** (Spatial Temporal Speckle) se comportam de maneira totalmente aleatória, sendo difícil eleger um modelo que possa quantificar essas Padrão. Ao contrário, nas Padrão geradas pelo método **MOC** (Matriz de Ocorrência), o efeito “caos” observado nas Padrão anteriores é minimizado, tornando-se então passíveis de serem quantificadas pela entropia, que gerou um padrão semelhante ao apresentado pelo método denominado “Momento de Inércia”.

**Palavras Chaves:** Imagens, sementes, senescência.

## **ABSTRACT.**

This research work had the objective of contributing to the development of a methodology applicable to biological tissues vitality analysis by means of a stochastic model. The conceived and tested model is able to interpret as well as to quantify the *biospeckle* images generated on living tissues. The *biospeckle* or dynamic *speckle* phenomenon is generated from the interaction of a coherent light with living tissues or with body surface exhibiting certain kinds of activities. In other words, the *biospeckle* phenomenon is observed when interfering patterns generated by the incidence of coherent light on a surface exhibiting some kind of dynamic or biological activities change at certain rate. Biological tissues, as well as particles in suspension exhibit dynamic activities, similar to brownian motion, acting as a dynamic diffraction grid to the coherent light. By capturing and processing *biospeckle* images it is possible to differentiate levels of biological or dynamic activities in the body under study. Dynamic *speckle* image analysis presents a typical stochastic behavior, suggesting a probabilistic statistical study of image behavior, as brownian motion, entropy or other kind of model associated to random phenomenon. Toward that sense, seed viability analysis, vegetative tissue senescence, as well as brownian motion simulation tests had been carried out. Results indicate that **STS** (Spatial Temporal Speckle) images show random behavior, impeding quantitative analysis. In opposition, **MOC** (Matrix Occurrence) images or occurrence matrix, where the chaos effect is minimized, are susceptible to quantifying analysis, similarly to the “*moment of inertia*” method.

**Key words:** Image, seed, senescence.

## I. INTRODUÇÃO.

O uso de luz coerente na avaliação da atividade biológica de tecidos vivos ou no estudo da dinâmica de sistemas particulados se baseia no fenômeno conhecido por *biospeckle* ou *speckle* dinâmico. Esse fenômeno pode ser notado quando um feixe de luz coerente se dispersa ao incidir sobre uma superfície que exhibe algum tipo de atividade dinâmica.

O *speckle* dinâmico é comumente notado na interação de laser com sementes (RODRIGUES, 2003; BRAGA JÚNIOR, 2000), frutos (RABELO, 2000), amostras de solos (SHIMABUKURO et al., 2005), atividade microbiológica, amostras de sangue (ALANIS et al., 1993), fluxo sangüíneo (DAINTY, 1970, ASAKURA et al., 1981; OULAMARA et al., 1999; RUTH, 1987), amostras de espermatozoides (NASCIMENTO, 2005), camadas de pintura (SILVA, 2000), corrosão de metais (MURAMATSU, 1998), dentre outros.

Segundo BRAGA JÚNIOR (2000), a identificação de áreas com níveis de atividades diferentes dentro de uma mesma semente é importante, pois informa o percentual de danos que podem atestar sua qualidade ou viabilidade. As atividades dinâmicas associadas ao *biospeckle* têm sido intensamente estudadas, surgindo propostas para a quantificação desse fenômeno. A análise do nível de atividade em material biológico se baseia nas Padrões geradas pelo Spatial Temporal do *Speckle* (STS), proposto por OULAMARA et al. (1999), e gerado a partir da manipulação das diversas Padrões obtidas da interação da superfície em estudo com luz laser. Se o objeto difusor se modifica, os grãos individuais do padrão de *speckle* também se alteram, permitindo supor que as Padrões do *speckle* dinâmico contêm informações importantes sobre a cinética dos corpúsculos em observação. Esse fenômeno é muitas vezes denominado de “boiling speckle” devido ao fato de sua aparência visual ser similar a um líquido em ebulição, podendo também ser descrito como um “fervilhamento” luminoso. Por ser dinâmico e aleatório, a padrão gerada pelo *biospeckle* deve ser analisada com técnicas de processamento de Padrão e tratamento estatístico, uma vez que a observação visual permite apenas a identificação da existência do fenômeno, mas não permite quantificá-lo (RABAL et al., 1998).

A complexidade envolvida na constituição e na atividade biológica, normalmente, gera uma situação que impede o desenvolvimento de um modelo matemático que explique o fenômeno ora denominado *biospeckle*. Porém, sabe-se que o *biospeckle* exhibe características semelhantes aos fenômenos que se enquadram em modelos estocásticos (RABELO, 2000).

Diante do exposto, o presente trabalho analisou o potencial dos modelos estocásticos disponíveis para desenvolver um modelo particular aplicável ao *biospeckle*. O processo de gerar esse modelo matemático envolveu Padrão de tecido vegetal com distintos níveis de atividade biológica e um sistema particulado de glicerina e partículas de aço.

## **II. OBJETIVOS.**

### **2.1 Geral.**

Verificar a influência da aleatoriedade dos *pixels* que compõem as Padrão de **STS**, bem como quantificar essas Padrão.

### **2.2 Específico.**

Quantificar Padrão de *biospeckle* por modelos baseados na entropia probabilística em sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), com diferentes teores de água.

Verificar a influência do movimento browniano em Padrão de **STS**, a partir da suspensão de partículas de aço com diâmetro reduzido em glicerina.



### III. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.

#### 3.1 Speckle

O termo *speckle* foi introduzido no início da década de 60, época em que foram iniciadas a construção e a operação dos primeiros lasers (SILVA, 2000). Quando um feixe de luz coerente, por exemplo o laser, incide sobre uma superfície rugosa, isto é, com irregularidades superficiais de magnitude comparável ao comprimento de onda da luz incidente, pode-se observar, sobre um plano distante da superfície, a formação de um padrão de aspecto granular, devido à interferência da luz espalhada em todas as direções. A esse padrão granular, em que a intensidade luminosa (irradiância) varia espacialmente de maneira aleatória, dá-se o nome de *speckle* (SILVA, 2000). O *speckle* é um padrão aleatório resultante da interferência de raios de luz coerentes espalhados numa superfície rugosa, cuja dimensão é comparável ao comprimento de onda da luz. Diz-se que uma luz é espacialmente coerente quando, entre dois pontos conhecidos de sua trajetória, há uma relação entre a distância percorrida pela luz e a diferença de fase (fase em relação à fase no ponto inicial) nos pontos considerados. Diz-se também que uma luz é temporalmente coerente quando há uma relação entre o tempo entre dois instantes distintos e a diferença de fase da luz nesses instantes. A diferença de fase responsável por esse padrão de interferência depende da diferença de caminho ótico entre as ondas geradas por variações de profundidade na superfície. Os dois padrões *speckle* de um mesmo objeto, gerados antes e depois de um pequeno deslocamento, interferem mutuamente na região de uma câmera **CCD** de alta resolução. A abertura do sistema ótico (lente) é tal que o tamanho médio de um “grão” do *speckle* seja da ordem de um “*pixel*” do sensor da câmera **CCD**. Inicialmente, o sistema grava um padrão de *speckle* resultante da interferência entre a onda objeto e a onda referência (RABELO, 2000). Quando o objeto é deslocado, ocorre alteração do *speckle*, que também pode ser gravado pelo sistema. Esses padrões podem ser superpostos pelo sistema eletrônico, gerando um terceiro padrão de interferência com a forma de um “*moiré*” ou mapa de franjas de dimensões macroscópicas.

A diferença de fases entre padrões *speckle* depende da diferença do caminho ótico entre as ondas provenientes desses diferentes pontos espaciais. As técnicas interferométricas comumente empregadas em mecânica experimental têm como principais virtudes o fato de

não serem destrutivas e o de não necessitarem de contato, além de possuírem altas sensibilidades, quando comparadas aos processos mecânicos convencionais (JONES, 1999).

Dentre as técnicas interferométricas existentes, a técnica de *speckle* se destaca por exibir uma ampla faixa de sensibilidade e por não ter exigências rigorosas quanto à resolução do meio de gravação. Essa característica permitiu que a técnica evoluísse do filme fotográfico convencional para o “mundo digital” das câmeras **CCDs** e do computador, incorporando assim as modernas formas de processamento de padrão, além da automação na obtenção de resultados (ALBERTAZZI, 1993).

O *speckle*, por permitir uma visualização em tempo real, é considerado muito mais versátil do que a principal técnica interferométrica afim conhecida como holografia (JONES e WYKES, 1989), uma vez que as faixas de variação das direções e magnitudes da sensibilidade são muito mais amplas e a exigência quanto à resolução do meio de gravação é muito menos severa. Por conta da baixa exigência relativa à resolução, a técnica de *speckle* pode se utilizar de câmeras de vídeo ou mesmo câmeras **CCDs**, como meios de gravação. Isto permite que as Padrão sejam digitalizadas e processadas diretamente no computador. A esta técnica de *speckle* automatizada, dá-se o nome de DSPI (*Digital Speckle Pattern Interferometry*), cujo significado é Interferometria Digital de Padrões de *Speckle*.

BRIERS(1993) afirma que o padrão de “*speckle*” observado é resultante da superposição de dois diferentes padrões: os *speckles* grandes, provenientes do espalhamento superficial, fortemente dependentes do ângulo de incidência, modulados por *speckles* pequenos, gerados pela luz refletida pelo interior do material que apresenta uma dependência muito fraca do ângulo de incidência. XU *et al.* (1995) demonstraram que os *speckle* resultantes de espalhamento interno apresentam um tamanho médio menor do que aqueles produzidos por espalhamento superficial. Isso se explica pelo fato de o feixe laser se expandir ao penetrar o material.

O efeito *speckle* é um dos principais fenômenos resultantes da interação de uma iluminação coerente com uma superfície opticamente rugosa. Por efeito *speckle*, entende-se um fenômeno de interferência de ondas mutuamente coerentes com uma variação ao acaso de fase. O resultado deste tipo de interferência é uma distribuição da intensidade da luz estacionária no tempo, mas aleatória no espaço (PIRES, 2003).

Os picos individuais de intensidade representando pequenas manchas claras ou escuras são chamados de *speckle*. O agrupamento desses *speckles* é usualmente chamado de padrão de *speckle* (Figura 1). O termo superfície opticamente rugosa significa um micro-relevo tal que a altura dos picos individuais é comparável ou maior do que o comprimento de onda da luz usada para iluminação da superfície. Esta condição é válida, de modo geral, para superfícies de elementos estruturais reais de engenharia, quando uma radiação de laser visível é utilizada na iluminação.

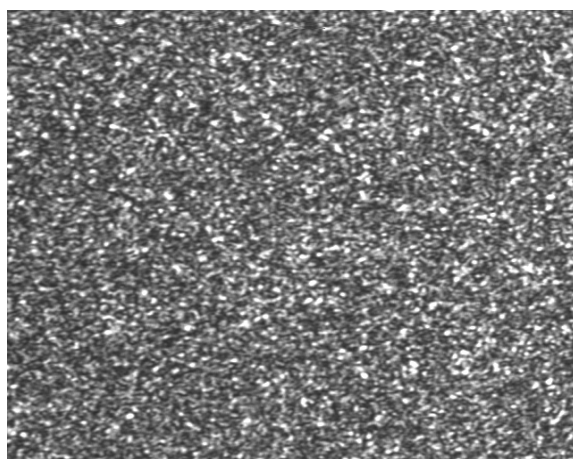


Figura 1. Padrão de um *speckle* gerado ao iluminar uma superfície exibindo micro relevo.

Quando uma superfície é iluminada, pode-se considerar que cada ponto absorve e reemite a luz, atuando como uma fonte de ondas esféricas semelhantes às ondas secundárias de Huygens. A amplitude complexa das ondas espalhadas em qualquer ponto do espaço é dada pela soma das amplitudes das contribuições de cada ponto na superfície. A amplitude total tem um valor que varia entre zero e um máximo determinado pela magnitude e fase das amplitudes individuais. À medida que se varia a posição de um ponto de observação pertencente ao campo de luz espalhada pela superfície, a amplitude resultante e, conseqüentemente, a intensidade apresentam um valor resultante aleatório. Esta variação aleatória de intensidade é que gera o padrão de *speckle* do objetivo iluminado.

O fato de poder trabalhar com o computador associado ao sistema ótico permite um ganho muito grande na automação da visualização e obtenção de resultados e, principalmente, nas alternativas de simulação dos sistemas de interesse.

### 3.2 *Speckle* Dinâmico.

A utilização do *speckle* na área biológica tem sido uma nova linha de grande potencial, sendo que ainda nem todas as aplicações foram desenvolvidas completamente, bem como ainda não se conseguiu mapear todas as reais viabilidades (RABAL et al., 1998). O *speckle* dinâmico, quando proveniente de material biológico, é também conhecido como *biospeckle*, termo que explica bem o que se deseja denominar. Por outro lado, apesar de existir uma tradução tanto para *speckle* (granulado) como para *speckle* dinâmico (fervilhamento), os termos originais são notórios e, portanto, adotados também neste trabalho. O termo *biospeckle* é definido como sendo a figura de interferência formada ao incidir o laser em um processo dinâmico e observar o chamado fenômeno do fervilhamento. Esse processo dinâmico pode ser uma pintura sendo seca (SILVA,2000), a transmissão de calor em uma chapa (BRAGA JÚNIOR, 2000) ou a atividade de um organismo vivo (RODRIGUES, 2003).

A bioatividade faz com que a luz retorne do material biológico, ocorrendo contribuição do exterior e interior do mesmo, e o padrão de interferência varie de acordo com a movimentação de todas as moléculas presentes nesse material. Essa modificação pode ser frenética ou mais lenta, representando a atividade do material biológico (XU et al., 1995).

As Padrão devem ser então obtidas com a maior taxa de aquisição possível para acompanhar a mudança de direção das dispersões, forçando a necessidade, em alguns casos, de um equipamento de aquisição mais rápida de Padrão. Como várias Padrão serão obtidas para o acompanhamento do movimento, faz-se necessária também uma maior capacidade de memória. Outro limite que deve ser considerado é o limite gerado pelo ruído dos equipamentos e pelo objeto iluminado. Com relação ao equipamento, BERGKVIST (1997) avaliou o nível de ruído gerado pelos vários equipamentos que compõem uma montagem experimental para a coleta das Padrão, tendo concluído que a taxa sinal ruído está na faixa de 1000 vezes, suficiente para um estudo de nível de atividade. O ruído gerado pelo material biológico iluminado pode mascarar os resultados e ainda é indefinido. Esse ruído deve ser determinado para garantir resultados de nível de atividade mais confiáveis. ROMERO (1999) conseguiu separar o ruído produzido pela montagem experimental, mostrando por

meio do espectro de frequências que os módulos desses ruídos são menores que o do sinal proveniente do material biológico.

Por ser dinâmico, o *biospeckle* deve ser analisado com técnicas de processamento de Padrão e tratamento estatístico, uma vez que a observação visual permite apenas a identificação da existência do fervilhamento, mas não permite quantificá-lo (BRAGA JUNIOR, 2000).

### **3.3 Interação do Laser com Materiais Biológicos.**

Os materiais biológicos apresentam uma característica peculiar em relação aos outros materiais, uma vez que os mesmos, segundo BERGKVIST (1997), apresentam-se como meios de grande dispersão da luz. E, dessa forma, esses materiais apresentam uma grande complexidade no que se refere à interação da luz com seus diversos constituintes, amplificada pela complexa movimentação interna. Trabalhos realizados na área de biologia têm mostrado que o movimento ocorrido no interior das células se deve essencialmente ao contínuo movimento de cloroplastos e de movimentos aleatórios de partículas de minérios (OLAMURA, 1989; BRIERS, 1993). Em um material biológico há diversos movimentos internos: trocas gasosas, metabolismo e movimentação de nutrientes nas células. Esses movimentos sofrem influência do movimento browniano cuja intensidade é maior na direção das fibras (SAKAMOTO, 2007).

Uma das técnicas usadas para mensurar essa movimentação é a espectroscopia *doppler* e microscopia, porém, MURAMATSU (1996) ressalta que existem certas dificuldades na aplicação destas técnicas para mensurar o grau de deterioração de espécimes vivos. O mesmo autor cita ainda que a primeira técnica é muito boa para medir fluxo direcional, como o do sangue, mas apresenta dificuldades de aplicação para movimentos de partículas em direções aleatórias. Já a microscopia eletrônica necessita seccionar o objeto interferindo em seu processo vital, sendo, portanto, um processo destrutivo. MURAMATSU (1996) afirma que a técnica de correlação de *speckle* tem se mostrado uma excelente alternativa aos métodos anteriores para estudo da atividade biológica para revelar o movimento aleatório intercelular, além de ser um teste não destrutivo e em tempo real. Essa movimentação, proveniente da

atividade metabólica, pode ser maior ou menor, dependendo do estado de maturação, crescimento ou deterioração do material biológico, bem como da quantidade de água, temperatura e iluminação (RODRIGUES, 2003). A complexa constituição dos tecidos biológicos acaba sendo a base para um intrincado funcionamento biológico que dificulta a relação causa-efeito.

A água é um constituinte básico dos materiais biológicos e, segundo BERGKVIST (1997), não absorve a luz do laser de He-Ne a 632 nm na faixa visível. Por outro lado, em uma semente, a quantidade de água está relacionada com a intensidade do processo metabólico. Em experimentos e de forma intuitiva, observa-se que o teor de água está relacionado com a transmissão da luz pelo material biológico, especificamente a semente.

### **3.4 Tratamentos de Padrão**

O tratamento das informações na forma de Padrão é de grande importância atualmente. As técnicas de processamento de Padrão têm inúmeras aplicações nos campos da televisão, da eliminação de degradações em Padrão fotográficas, no processamento de sinais de radar, no reconhecimento de padrões de padrão, nas Padrão adquiridas por satélite, no processamento de Padrão médicas, na robótica (visão de máquinas), na inspeção automática de processos industriais, entre outras.

O Processamento Digital de Padrão (**PDI**) não é uma tarefa simples, na realidade envolve um conjunto de tarefas interconectadas (Figura 2). Tudo se inicia com a captura de uma padrão, que, normalmente, corresponde à iluminação refletida na superfície dos objetos, realizada através de um sistema de aquisição (QUEIROZ, 2001). Após a captura por um processo de digitalização, uma padrão precisa ser representada de forma apropriada para tratamento computacional. As Padrão podem ser representadas em duas ou mais dimensões. O primeiro passo efetivo de processamento é comumente conhecido como pré-processamento, envolvendo passos como a filtragem de ruídos introduzidos pelos sensores e a correção de distorções geométricas causadas pelo sensor.

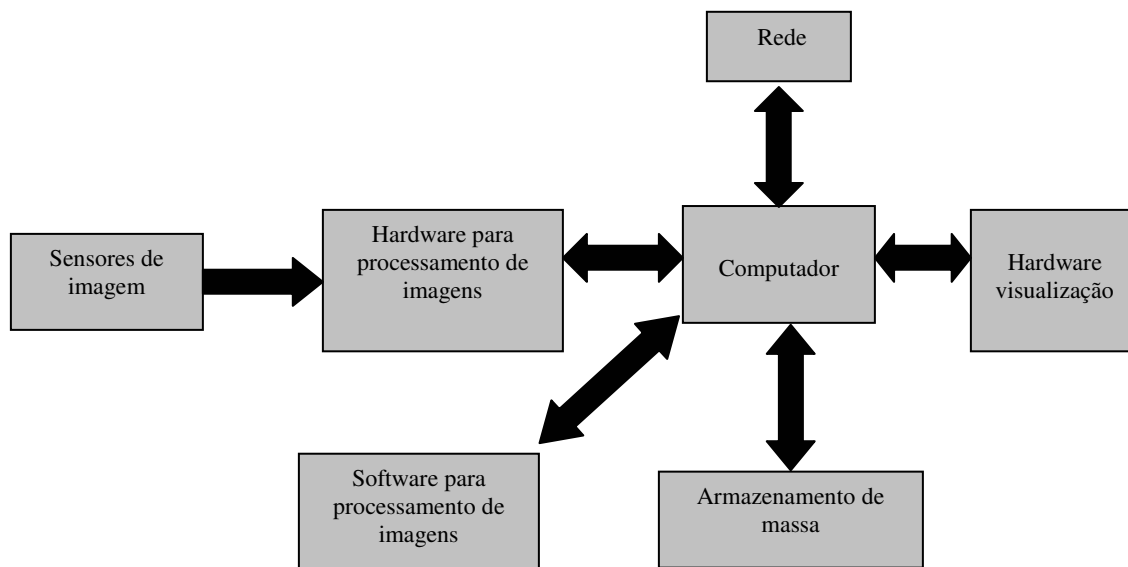


Figura 2. Diagrama de um sistema de processamento de padrão. Fonte: QUEIROZ, 2001

Uma cadeia maior de processos é necessária para a análise e identificação de objetos. Primeiramente, as características ou os atributos das Padrão precisam ser extraídos, tais como as bordas, texturas e vizinhanças. Outra característica importante é o movimento. Em seguida, os objetos precisam ser separados do plano de fundo (*background*), sendo necessário identificar, através de um processo de segmentação, características constantes e descontinuidades. Esta tarefa pode ser simples, se os objetos forem facilmente destacados da padrão de fundo, mas, normalmente, este não é o caso, sendo necessárias técnicas mais sofisticadas como regularização e modelagem. Essas técnicas usam várias estratégias de otimização para minimizar o desvio entre os dados de uma padrão e um modelo que incorpora conhecimento sobre os objetos desta mesma padrão. Idêntica abordagem matemática pode ser utilizada para outras tarefas que envolvam restauração e reconstrução. A partir da forma geométrica dos objetos, resultante da segmentação, podem-se utilizar operadores morfológicos para analisar e modificar essa forma, bem como extrair informações adicionais do objeto, que podem ser úteis na sua classificação. A classificação é considerada como uma das tarefas de mais alto nível e tem como objetivo reconhecer, verificar ou inferir a identidade dos objetos a

partir das características e representações obtidas pelas etapas anteriores do processamento. Como último comentário, deve-se observar que, para problemas mais difíceis, são necessários mecanismos de retro-alimentação (*feedback*) entre as tarefas, de modo a ajustar parâmetros como aquisição, iluminação e ponto de observação, para que a classificação se torne possível. Esse tipo de abordagem também é conhecido como visão ativa. Em um cenário de agentes inteligentes, fala-se de ciclos de ação-percepção (LOPES, 2005).

### 3.5 Modelo Padrão Digital

Uma padrão monocromática é uma função bidimensional contínua  $f(x,y)$ , na qual  $x$  e  $y$  são coordenadas espaciais e o valor de  $f$  em qualquer ponto  $(x,y)$  é proporcional à intensidade luminosa (brilho ou nível de cinza) no ponto considerado. Como os computadores não são capazes de processar Padrão contínuas, mas apenas *arrays* de números digitais, é necessário representar Padrão como arranjos bidimensionais de pontos. Cada ponto na grade bidimensional que representa a padrão digital é denominado elemento de padrão ou pixel (Figura 3).

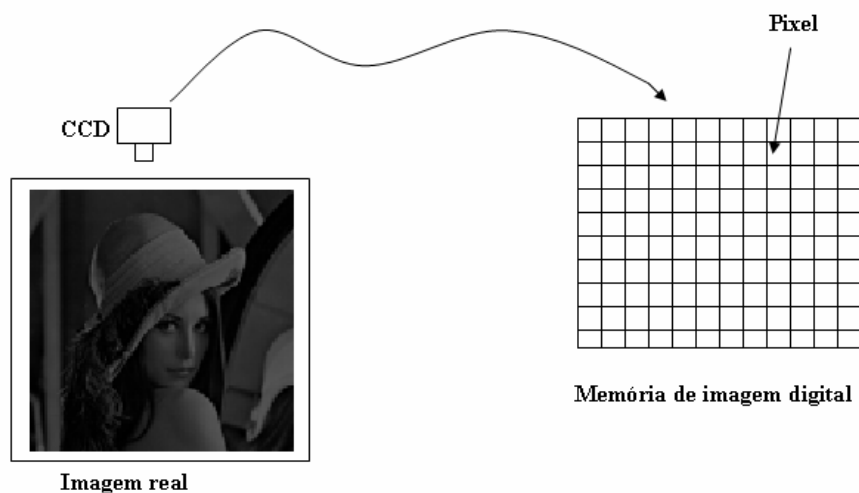


Figura 3. Transformação de Padrão contínuas em sinais digitais. Fonte: QUEIROZ, 2001

A intensidade luminosa no ponto  $(x,y)$  pode ser decomposta em: (i) componente de *iluminação*,  $i(x,y)$ , associada à quantidade de luz incidente sobre o ponto  $(x,y)$ ; e a



componente de reflectância,  $r(x,y)$ , associada à quantidade de luz refletida pelo ponto  $(x,y)$  (GONZALEZ et al., 2002).

O produto de  $i(x,y)$  e  $r(x,y)$  resulta em:

$$f(x,y) = i(x,y).r(x,y) \quad (1)$$

em que  $0 < i(x,y) < \infty$  e  $0 < r(x,y) < 1$ ,

sendo  $i(x,y)$  dependente das características da fonte de iluminação, enquanto  $r(x,y)$  é dependente das características das superfícies dos objetos. Em uma padrão digital colorida no sistema RGB, um *pixel* pode ser visto como um vetor cujas componentes representam as intensidades de vermelho, verde e azul de sua cor. A padrão colorida pode ser vista como a composição de três Padrão monocromáticas:

$$f(x, y) = fR(x,y) + fG(x,y) + fB(x,y), \quad (2)$$

em que  $fR(x,y)$ ,  $fG(x,y)$ ,  $fB(x,y)$  representam, respectivamente, as intensidades luminosas das componentes vermelha, verde e azul da padrão, no ponto  $(x,y)$ .

Câmeras digitais usam um dispositivo chamado **CCD** (*Charge Coupled Detector*) que atua como se fosse o filme fotográfico. Alcançam resoluções de 640x480 até milhões de *pixels*. Os *Line Scan CCDs* são usados para altas resoluções, com alta linearidade, alta banda dinâmica e *readout* lento, e possuem qualidade excepcional. Mais recentemente surgiram algumas câmeras que utilizam **CMOS** (*Complementary Metal-Oxide Semiconductor*) como sensores. A grande vantagem é a viabilidade industrial, pois utilizam a mesma tecnologia de semicondutores tradicionais para produção em baixo custo. Em sistema de cor **RGB**, a calibração pode ser feita exatamente como um scanner, mas a qualidade da padrão depende de fatores externos, como iluminação do objeto (BAXES, 1994). Câmeras digitais funcionam

exatamente como câmeras tradicionais, mas possuem alguns parâmetros a mais e os outros parâmetros são mapeados de forma diferente no processo de captura (BAXES, 1994).

O sensor de **CCD** possui uma determinada sensibilidade. Se muito sensível, pode incluir muito ruído, se pouco sensível, precisará de muita luz. Além disso, depende do tipo de iluminação ambiente.

### **3.6 Variáveis Aleatórias**

Um objeto pesado abandonado a alguns metros no solo, a partir do repouso, atingirá o chão num ponto situado verticalmente abaixo do ponto onde foi solto. Repetindo esse ensaio, não importa quantas vezes, constata-se que o objeto cairá sempre no mesmo ponto. Por outro lado, se se considerar um objeto leve como uma pequena folha de papel no lugar do objeto pesado, e repetindo inúmeras vezes os mesmo ensaios, ver-se-á que a folha atingirá o solo em pontos distintos, apesar de ser solta do mesmo ponto, e mesmo na ausência completa de ventos. A forma planar da folha associada ao seu pequeno peso aumenta consideravelmente o atrito com o ar, tornando seu movimento irregular. O primeiro ensaio, com um objeto pesado, é um fenômeno previsível, enquanto o segundo, com a folha de papel, é um fenômeno aleatório. A princípio pode-se pensar que um fenômeno aleatório, como a queda de folhas de papel descrito acima, não possui uma regularidade e, portanto, não seria passível de um estudo sistemático. Entretanto, após uma reflexão mais detalhada, verifica-se que é possível, de fato, observar uma regularidade em fenômenos aleatórios. Examinando a queda de uma folha repetidas vezes ou, de modo equivalente, observando a queda seqüencial de inúmeras folhas idênticas, pode-se perceber que o monte de folhas caídas no chão adquire certa forma. Considerando uma outra seqüência de folhas que caem, constata-se que a forma do outro monte será idêntica à anterior, desde que o número de folhas seja suficientemente grande. Qualquer seqüência de folhas que caem ao chão, a partir de um mesmo ponto, dará origem a montes de folhas com a mesma forma. É essa a regularidade que se pode observar nesse fenômeno aleatório. A teoria das probabilidades e seus desdobramentos, a teoria dos processos estocásticos e a dinâmica constituem a linguagem apropriada para a descrição dos fenômenos

aleatórios. Elas estão apoiadas em dois conceitos fundamentais: o conceito de probabilidade e o conceito de variável aleatória (TOMÉ e OLIVEIRA, 2001). A definição de probabilidade se faz construindo o conjunto de todos os possíveis resultados de uma determinada experiência, agrupando-os em subconjuntos mutuamente excludentes. Se a cada um destes subconjuntos for atribuído um número real não negativo tal que a soma deles seja igual à unidade, então ocorrerá uma distribuição de probabilidade definida sobre o conjunto dos possíveis resultados. Deve-se ressaltar que essa definição é bem geral e, portanto, insuficiente para a determinação da distribuição da probabilidade associada a casos específicos. A determinação da distribuição de probabilidade que se deve atribuir aos resultados de uma experiência específica constitui um problema fundamental que deve ser resolvido pela construção de uma teoria ou de um modelo que descreva a experiência (TOMÉ e OLIVEIRA 2001). O conceito de probabilidade, assim como o de qualquer outra grandeza física, possui dois aspectos: um relativo à sua definição e o outro à sua interpretação. Para a maioria das grandezas físicas, os dois aspectos estão diretamente relacionados. Entretanto, isso não acontece com a noção de probabilidade. A interpretação de probabilidade não segue diretamente de sua definição. Interpreta-se a probabilidade de certo resultado como frequência de ocorrência desse resultado (TOMÉ e OLIVEIRA, 2001).

### **3.6.1 Teoria do caos e teoria de probabilidade**

A teoria do caos para a física e a matemática é a uma das maneiras de explicar o funcionamento de sistemas complexos e dinâmicos. Isso significa que, para um determinado resultado, serão necessárias a ação e a interação de inúmeros elementos de forma aleatória

Os fenômenos ditos "caóticos" são aqueles em que não há previsibilidade como o gotejar de uma torneira. Nunca se sabe a frequência com que as gotas de água caem e não se pode determinar uma equação para descrevê-la. As variações climáticas e as oscilações da bolsa de valores também são caóticas. Atualmente, com o desenvolvimento da Matemática e das outras ciências, a teoria do caos surgiu com o objetivo de compreender e dar resposta às flutuações erráticas e irregulares que se encontram na natureza.

Nas últimas décadas, depois de um árduo trabalho, matemáticos e físicos elaboraram teorias para explicar o caos. Hoje sabe-se muito a respeito de fenômenos imprevisíveis, e já é possível ver os resultados. Por exemplo, em 1997, dois americanos conseguiram encontrar uma fórmula para prever aplicações financeiras e com isso ganharam o Prêmio Nobel de Economia. O caos tem aplicações em todas as áreas.

Uma lei básica da teoria do caos afirma que a evolução de um sistema dinâmico depende crucialmente de suas condições iniciais. O comportamento do sistema dependerá então da sua situação "de início". Se o mesmo sistema for analisado sob outras condições iniciais, logicamente ele assumirá outros caminhos, mostrando-se totalmente diferente do anterior.

A teoria do caos é conceituada como um campo avançado e moderno da matemática que está cada vez mais se difundindo. Ela não é uma teoria de desordem, mas busca no aparente acaso uma ordem intrínseca determinada por leis precisas. Diversos processos aparentemente casuais apresentam certa ordem, como por exemplo: o clima, o quebrar das ondas do mar, crescimento populacional, arritmias cardíacas, flutuação do mercado financeiro etc. Segundo ZARNOWIEKA (1990), as investigações modernas em caos, iniciadas na década de 1960, conduziram a um achado incrível em que funções matemáticas simples podem modelar um sistema tão complicado como uma cachoeira.

Os princípios da teoria do caos foram usados com sucesso para descrever e explicar fenômenos naturais e artificiais diversos, predizendo apreensões epilépticas, mercados financeiros, *Modeling* de sistemas de manufatura, fazendo previsões de tempo etc. Padrão geradas por programas computacionais são alguns exemplos dos princípios que norteiam a teoria do caos.

### **3.6.2 Entropia**

O conceito de entropia foi introduzido por Clausius, na segunda metade do século XIX, com a finalidade de conciliar a teoria de Carnot sobre o funcionamento das máquinas térmicas, formulada no contexto da hipótese do calórico, com as idéias correntes sobre a

equivalência mecânica entre calor e trabalho. As leis da termodinâmica, resumidas num enunciado magistral, "energia do mundo é constante, mas a entropia do mundo tende a um valor máximo", transpuseram as revoluções da física no século XX, fornecendo instrumentos básicos para a nova física do século XXI. Mas como se coadunam as leis reversíveis da mecânica, clássica ou quântica, com uma função entropia que aumenta com o fluir do tempo? Em boa medida, a resposta tem sido dada pela definição estatística da entropia, ou seja, pela utilização conjunta das leis da mecânica e da teoria das probabilidades. No século XIX, Gibbs já tinha percebido que "impossibilidade de um decréscimo não compensado da entropia é uma improbabilidade". Pretende-se aqui ilustrar a definição estatística de entropia através de modelos simples, como um sistema estocástico de bolas numeradas em duas urnas, introduzidas por Paul e Tatiana Ehrenfest.

Segundo a física, entropia seria o estado de desordem ou desorganização de um sistema. Assim, a entropia crescente levaria a uma desorganização crescente. Conforme diz o Segundo Princípio da Termodinâmica em Física, a entropia do universo tende a crescer. Em termos práticos, tudo que se constrói tende a se destruir, a se desfazer.

A segunda lei da Termodinâmica determina o sentido da evolução dos processos termodinâmicos. Essa lei pode ser formulada em termos da entropia. A entropia de um sistema isolado nunca decresce: não se altera nos processos reversíveis e aumenta nos processos irreversíveis que ocorrem dentro do sistema. O estado de equilíbrio termodinâmico do sistema é o estado de máxima entropia.

O aumento da entropia em processos irreversíveis é muito importante para dar sentido ao próprio conceito de entropia. A energia e a entropia de um sistema isolado não variam se o sistema evolui reversivelmente. Por definição, em qualquer estágio de um processo reversível, o sistema deve estar em um estado de equilíbrio termodinâmico. E como leva certo tempo para que o sistema, uma vez perturbado, atinja um novo estado de equilíbrio termodinâmico, um processo só pode ser completamente reversível se ele se desenvolver muito lentamente. Isso, obviamente, nunca acontece. Por outro lado, a energia se conserva e a entropia sempre aumenta nos processos irreversíveis que ocorrem num sistema isolado. A propriedade de conservação da energia, sendo inerente a um sistema isolado, quaisquer que sejam os processos, reversíveis ou não, pelos quais passa o sistema, mostra que a energia não pode indicar o sentido da evolução de tais processos. Mas o aumento da entropia nos processos

irreversíveis, aumento esse também inerente a um sistema isolado, mostra que a entropia pode indicar, sim, o sentido da evolução de tais processos: o estado inicial pode ser diferenciado do estado final porque este tem, necessariamente, maior entropia. A entropia de uma variável discreta aleatória  $\mathbf{X}$  é definida como:

$$H(\mathbf{X}) = -\sum_{i=1}^N P_i \cdot \ln p_i \quad (3)$$

em que

$N$  é o número total de possíveis resultados de  $\mathbf{X}$  e

$p_i$  é a probabilidade associada ao  $i$ ésimo resultado,

$$i = 1, 2, \dots, n$$

$H(\mathbf{X})$  pode ser interpretado como a quantidade de incerteza que existe sobre o valor de  $\mathbf{X}$  e/ou a quantidade média de informações recebidas quando o valor de  $\mathbf{X}$  é observado.

Considerando-se uma variável aleatória discreta  $\mathbf{V}$ , definida em um domínio espacial  $\mathbf{D}$ , tal que todos os  $N$  valores possíveis de  $\mathbf{V}$  ( $v_1, v_2, \dots, v_N$ ) estejam associadas a um grupo de amostras de tamanhos iguais que compõem o domínio  $\mathbf{D}$ , a entropia  $H(\mathbf{V})$  é definida como:

$$H(\mathbf{V}) = -\sum_{i=1}^N \frac{1}{N} \cdot \ln \frac{1}{N} = -\ln\left(\frac{1}{N}\right) \quad (4)$$

Se cada resultado possível de  $\mathbf{X}$  tem igual probabilidade de ocorrência, então  $H(\mathbf{V})$  é máximo. Para qualquer outro grupo de pesos desiguais,  $H(\mathbf{V}) < -\ln(1/N)$ . Considere uma amostragem limitada  $\mathbf{U}$  de  $\mathbf{V}$ , com  $L$  amostras  $u_l$ , em que  $l = 1, 2, \dots, L$  e sendo  $L < N$ , a entropia das amostras de  $\mathbf{U}$  pode ser medida como:

$$H(\mathbf{U}) = -\sum_{i=1}^L W_i \cdot \ln W_i \quad (5)$$

Se  $\mathbf{U}$  é escolhido através de um espaçamento regular amostral, tal que os  $\mathbf{w}_l$  sejam iguais a  $1/L$ , a entropia dessa amostragem regular  $\mathbf{U}_t$  é:

$$H(\mathbf{U}_t) = -\sum_{l=1}^L \left(\frac{1}{L}\right) \cdot \ln\left(\frac{1}{L}\right) \quad \begin{cases} = -\ln\left(\frac{1}{L}\right) \\ < -\ln\left(\frac{1}{N}\right) \end{cases} \quad (6)$$

Portanto, busca-se um grupo ótimo de pesos  $\mathbf{w}_l$ , tal que  $\mathbf{H}(\mathbf{V}) - \mathbf{H}(\mathbf{U}_c)$  seja máximo. Na prática, essa diferença pode ser maximizada através da minimização de  $\mathbf{H}(\mathbf{U}_c)$ , usando as mesmas condições apresentadas no Método da Célula Móvel, ou seja, os pesos  $\mathbf{w}_l$  são diretamente proporcionais à área de influência da amostra  $\mathbf{u}_l$ . Usa-se o mecanismo de células móveis para encontrar o grupo ótimo de pesos que minimizem  $\mathbf{H}(\mathbf{U}_c)$  (SOUZA, 2001).

Como exemplo, citam-se as Padrão fictícias representadas pelas Figuras 4a e 4b. Nestes exemplos, o número máximo de *pixel* é 5, sendo o preto representado pelo zero e o branco pelo número 4. A Equação 3 foi utilizada para calcular o nível de desorganização das Figuras 4a e 4b. Quanto maior a entropia, mais desorganizada está a padrão. Numa padrão de um material obtido pela técnica do *Biospeckle*, quanto maior a “desorganização” da padrão, maior será a atividade, conseqüentemente, maior a entropia.

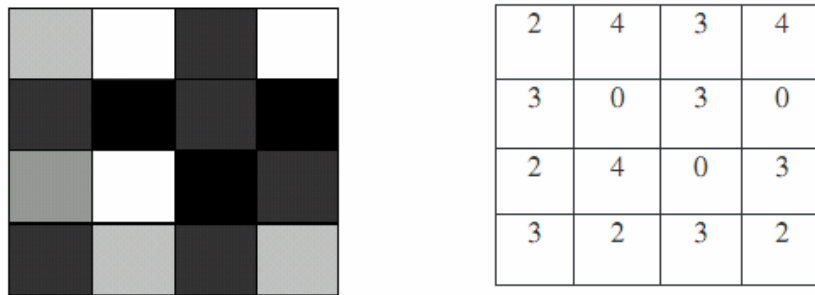
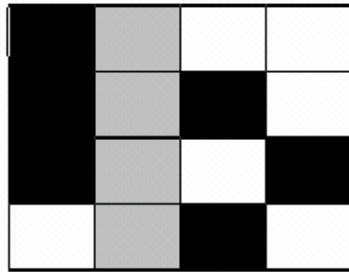


Figura 4a. Padrão fictícia de um material com alta bioatividade

$$H' = -\sum_{i=1}^s P_i \log P_i \Rightarrow H = 1,583$$



0	2	4	4
0	2	0	4
0	2	4	0
4	2	0	4

Figura 4b. Padrão fictícia de um material com baixa bioatividade

$$H' = -\sum_{i=1}^s P_i \log P_i \Rightarrow H = 0,939$$



### 3.6.3 Movimento Browniano.

Em 1828, o botânico escocês Robert Brown observou que o grão de pólen suspenso em um líquido movimentava-se irregularmente. Interpretando este movimento, concluiu que era devido à colisão entre as moléculas do líquido e os grãos de pólen (OKSENDAL, 1991).

Dá-se o nome de “Movimento Browniano”, ao movimento descrito por uma agitação irregular, em todas as direções, de algumas partículas suspensas em um meio fluido. GOUY (1888) mostrou que fatores externos como campos magnéticos fortes não afetam o movimento browniano. Reafirmou que a causa do movimento é a agitação molecular.

Hoje em dia, este processo estocástico, por sua riqueza de propriedades, serve de modelo na descrição de flutuações que ocorrem nos mais diversos tipos de sistemas.

O caminho que uma partícula browniana percorre é irregular e imprevisível, não sendo possível descrever rigorosamente essa trajetória. Espera-se um tempo infinitamente longo para que a partícula percorra todo o plano, sem deixar de passar por nenhum conjunto aberto. Outro fato curioso é que, quando se olha mais de perto este movimento, observa-se uma trajetória com as mesmas características das anteriores. Isto é, suas propriedades microscópicas são iguais às suas propriedades macroscópicas. Variações lineares deste movimento são muito utilizadas para definir ruídos em sistemas dinâmicos estocásticos, pois sua aleatoriedade descreve de maneira satisfatória muitas perturbações evidenciadas em fenômenos que descrevem tais sistemas (KARATZAS, 1991). A Figura 5 apresenta o movimento de uma esfera de resina. Os pontos pretos são aqueles pontos medidos da posição da esfera após 30 segundos.

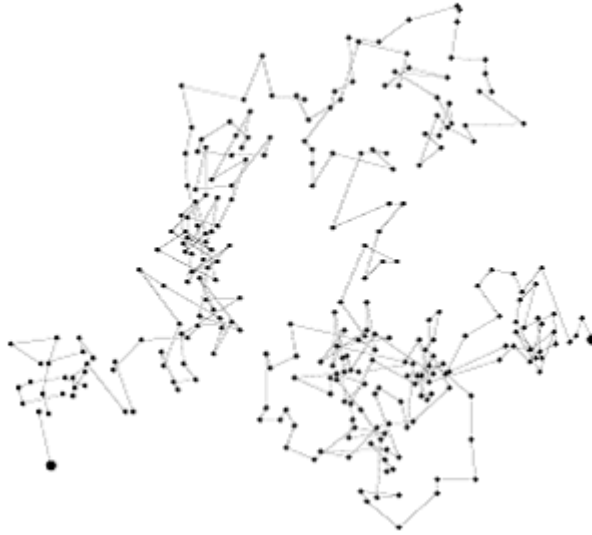


Figura 5. Movimento de uma esfera de resina de raio 0,53  $\mu\text{m}$ . Fonte: PERRIN, 1913.

#### 3.6.4 Rudimentos do Cálculo Estocástico.

O ponto de partida na teoria da probabilidade é a apresentação da terna  $(\Omega, \mathbf{F}, \mathbf{P})$ , conhecida como espaço de probabilidade, na qual:  $\Omega = \{ w_1, w_2, \dots, w_n \}$ : conjunto de resultados de um experimento associado a uma probabilidade  $p_i$  a cada  $w_i$ ;  $\mathbf{F}$ : sigma álgebra de subconjuntos de  $\Omega$ ; isto é, conjunto de informações disponíveis ou informações “medíveis” até certo tempo; e  $\mathbf{P}$ : medida de probabilidade, ou seja, uma aplicação que atribui graus de incerteza aos eventos.

Neste trabalho, o centro das atenções estará focado no chamado movimento browniano ou processo de WIENER (1940), definido por HULL (1993) e REVUZ e YOR (1990). O movimento browniano, ou ainda o processo de Wiener  $W=\{W(t), t \geq 0\}$ , é definido como um processo gaussiano contínuo com incrementos independentes, de tal modo que:

$$W(0)=0, \text{ com prob.1,}$$

$$\mathbf{E}[W(t)]=0,$$

$$\text{var}(W(t)-W(s))=t-s$$

para todo  $0 \leq s \leq t$ . De acordo com essa definição,  $W(t)-W(s)$  tem distribuição gaussiana,  $N(0, t-s)$ , para todo  $0 \leq s \leq t$  e os incrementos  $W(t_2)-W(t_1)$  e  $W(t_4)-W(t_3)$  são independentes para todo  $0 \leq t_1 < t_2 \leq t_3 < t_4$ .

A definição acima é que caracterizará as equações diferenciais estocásticas. Deve-se supor, num dado processo de Wiener  $W=\{W(t), t \geq 0\}$ , cujas componentes  $W_t^1, W_t^2, \dots, W_t^n$  são independentes, que:

$$dX_t = \mu(t, X_t)dt + \sigma(t, X_t)dW_t, \quad (7)$$

com:

$\mu : [t_0, T] \times \mathbf{R}^d \rightarrow \mathbf{R}^d$ , conhecida como coeficiente *drift*, e  
 $\sigma : [t_0, T] \times \mathbf{R}^d \rightarrow \mathbf{R}^{d \times n}$  conhecido como coeficiente de difusão.

A equação diferencial acima pode ser interpretada como uma equação integral estocástica:

$$X_t = X_{t_0} + \int_{t_0}^t \mu(s, X_s)ds + \int_{t_0}^t \sigma(s, X_s)dW_s \quad (8)$$

com o valor inicial  $X_{t_0} \in \mathbf{R}^d$  e, ainda, as duas integrais sendo de Lebesgue e de Itô, respectivamente.

A questão se resume, agora, em dar um significado à integral de Itô. Deve-se observar que para  $\sigma(t, X_t) \equiv \sigma$  constante, a segunda integral de (8) pode ser definida por  $\sigma\{W_t(w) - W_{t_0}(w)\}$ , de forma semelhante a Lebesgue. Este é o ponto inicial da definição da integral de Itô.

Suponha-se a partição  $\pi: 0=t_0 < t_1 < \dots < t_n = T$  tal que, sendo a função  $g$  constante em cada subintervalo, define-se da seguinte forma:

$$\int_0^T g(s) dW(s) = \sum_{k=0}^{n-1} g(t_k) [W(t_{k+1}) - W(t_k)]. \quad (9)$$

Observa-se que  $g(t_k)$  é avaliado na extrema esquerda de  $[t_k, t_{k+1}]$ . Nestas condições, têm-se:

$$\mathbf{E} \left[ \int_0^T g(s) dW(s) \right] = 0 \quad (10)$$

$$\mathbf{E} \left[ \left( \int_0^T g(s) dW(s) \right)^2 \right] = \int_0^T \mathbf{E}[g^2(s)] ds \quad (11)$$

Usando as propriedades bem conhecidas da distribuição normal, obtêm-se os seguintes resultados:

$$\mathbf{E}[\Delta W] = 0, \quad (12)$$

$$\mathbf{E}[(\Delta W)^2] = \Delta t \quad (13)$$

$$\mathbf{var}(\Delta W(t)) = \Delta t \quad (14)$$

$$\mathbf{var}((\Delta W(t))^2) = 2(\Delta t). \quad (15)$$

Assim, pode-se escrever formalmente:

$$\int_0^t (dW)^2 = t \text{ ou, equivalentemente, } (dW)^2 = dt. \quad (16)$$

Fórmula de Itô (unidimensional). Tão importante quanto a fórmula de Taylor, é a fórmula de Itô para operacionalizar a solução de equações diferenciais estocásticas.

Seja  $W=\{W(t), t \geq 0\}$  um movimento Browniano e seja  $\{X_t\}$  um processo de Itô, isto é, um processo da forma:

$$X_t = X_0 + \int_0^t \mu_s ds + \int_0^t \sigma_s dW_s \quad (17)$$

Então  $Y_t=f(t,X_t)$ , com  $f$  sendo uma função adequada, é um processo de Itô, ou seja

$$f(X_t) = f(X_0) + \int_0^t f'(X_s) dX_s + \frac{1}{2} \int_0^t f''(X_s) d\langle X, X \rangle_t \quad (18)$$

Com

$$\langle X, X \rangle_t := \lim_{|\pi \rightarrow 0|} \sum_{i=1}^n (X_{t_{i+1}} - X_{t_i})^2 \quad (19)$$

e  $P$  convergindo para  $\int_0^t |\sigma_s|^2 ds$ , quase sempre. A expressão acima é conhecida como variação quadrática de  $X$ .

Dois modelos se destacam na abordagem de fenômenos que se deseja descrever com o auxílio de um componente estocástico. O primeiro, conhecido como processo Orstein-Uhlenbeck (KARATZAS, 1991), originou-se do bombardeamento molecular “*of a speck of dust*” sob a superfície da água, responsável pelo movimento browniano. Sua formulação seria:

$$dX_t = -aX_t dt + b dW_t, \quad (20)$$

$$X(t_0) = X_0$$

com  $a$  e  $b$  sendo constantes não-negativas e  $W_t$  representando um movimento browniano unidimensional ou processo de Wiener, como também é conhecido (KARATZAS, 1991).

Pode-se mostrar, usando a fórmula de Itô, que a solução de (20) se escreve como:

$$X_t = e^{-at} X_0 + e^{-at} \int_0^t e^{-as} b dW_u \quad t \in [0, T]. \quad (21)$$

Um segundo modelo, de uso corrente, seria:

$$dX_t = \mu X_t dt + \sigma X_t dW_t, \quad (22)$$

$$X(t_0) = X_0$$

com  $\mu \in \mathbb{R}$ ,  $\sigma > 0$  sendo uma constante.

Novamente, usando a fórmula de Itô, é elementar checar que o processo  $X$  é igual a

$$X_t = X_0 \exp \left[ \left( \mu - \frac{\sigma^2}{2} \right) t + \sigma W_t \right] \quad t \in [0, T]. \quad (23)$$

No caso em questão, envolvendo *biospeckle*, considerou-se basicamente esse último modelo, ou seja, foi descrito por:

$$dX_t = -\mu(X_t - X_0)dt + \sigma X_t dW_t, \quad (24)$$

com  $\mu$  e  $\sigma$  sendo constantes não-negativas e representando a média e o desvio-padrão do fenômeno, respectivamente.  $W_t$  representa um movimento browniano unidimensional e  $X_0$  é a solução inicial do processo.

A equação (24) foi solucionada numericamente, utilizando-se um modelo proposto por de YANNIOS (2004). Pode ser também solucionada pelo método de *Montecarlo*, método numérico destinado a solucionar problemas na simulação de variáveis aleatórias

### 3.6.5 Ruído Branco

O ruído é um sinal aleatório, sendo o mais simples sinal aleatório que pode existir. O ruído branco é derivado do movimento browniano. Se a lei de probabilidade for gaussiana, diz-se estar em presença de ruído branco ou gaussiano. *Ruído branco* é por si só um nome extremamente utilizado na literatura, mas devido a um abuso de linguagem, um pouco enganador. Deveria dizer-se *sinal branco*. Na realidade, trata-se de um modelo estatístico que descreve um certo tipo de sinais que têm determinadas propriedades. Quase sempre essas propriedades são indesejáveis num sinal e por isso é denominado *ruído*, daí que quase todos os *sinais brancos* são *ruídos brancos*, justificando o nome.

NUNES(2005) avaliou sua textura apenas com base em seu histograma, apesar de sofrer limitação por não carregar informação sobre a posição relativa dos pixels quando relacionados uns com os outros (GONZALEZ, 2000). Isto porque a textura, além da tonalidade dos pixels, caracteriza-se pelos relacionamentos espaciais entre eles. NUNES (2005) utilizou a textura de uma região multibandas denominada Coeficiente de Variação Espacial (CVE), estando baseado nas medidas de posição e suas variações ou dispersões. Assim, o cálculo do CVE leva em consideração não apenas a distribuição de intensidades, mas também sua distribuição espacial pelas classes de distâncias. O primeiro passo no cálculo do CVE é determinar o conjunto de dados de cada classe de distâncias de cada pixel ao centro.

O CVE quantifica a característica da textura através de medidas estatísticas que descrevem as variações espaciais de intensidade ou cor. Duas medidas são empregadas: uma medida de posição (média) e uma medida de dispersão (desvio-padrão) dos pixels pertencentes à região da padrão. As medidas de posição constituem uma forma mais sintética de apresentar os resultados contidos nos dados observados, pois representam um valor central, em torno do qual os dados se concentram. Mas a utilização de uma medida de posição para substituir um conjunto de dados é insuficiente para sintetizar a informação nele contida, portanto, para sintetizar eficientemente a informação de um conjunto de dados é necessário associar uma medida de posição a uma medida de dispersão, que vai informar como estes dados se comportam em torno da medida de posição empregada.



### 3.7 Métodos de Análise do *Speckle* Dinâmico

#### 3.7.1 “Momento de Inércia”

Atualmente, há várias pesquisas para desenvolver novos métodos de análise de *speckle*. Porém, o mais utilizado pelos pesquisadores é o “Momento de Inércia” quando se deseja uma quantificação das informações requeridas da mudança do padrão de *speckle* formado durante uma observação. Para ser analisado, é necessário avaliar Padrão sucessivas, sendo a quantidade determinada pelo equipamento de aquisição de Padrão, sendo, na maioria das vezes, utilizadas 512 Padrão que são registradas ao longo do tempo. De cada padrão é selecionada uma linha no espaço formando o modelo do padrão do *speckle* dinâmico o **STS** (manipulação de diversas Padrão obtidas na superfície do objeto iluminado). Com cada linha, uma nova padrão composta de **512x512** pixels é então constituída. No **STS** (Spatial Temporal Speckle), as colunas representam diferentes pontos no objeto e suas linhas, o estado de intensidade. A atividade da amostra aparece como mudanças de intensidade na direção horizontal. Caso ocorra algum movimento na superfície do material iluminado, a mudança será transmitida para a figura do *speckle* formado, e, conseqüentemente, a linha observada será diferente da anterior. Essa é uma forma de avaliar o nível de atividade em um material biológico, pois se o resultado apresentar uma figura completamente distorcida (Figura 6), é sinal de que o movimento está muito intenso. Por outro lado, se a figura formada for composta por linhas bem definidas (Figura 7), significa que não está ocorrendo mudança na formação do *speckle* de uma padrão para outra.

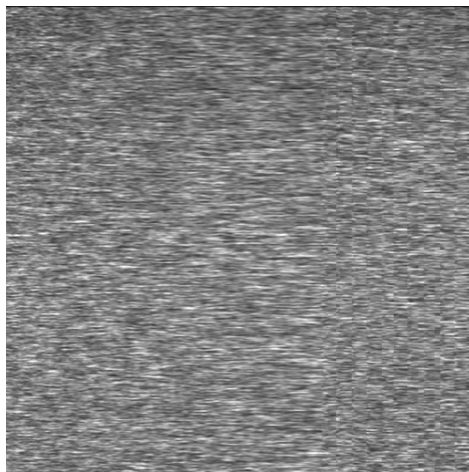


Figura 6. Padrão STS de uma semente de feijão a 27% bu.

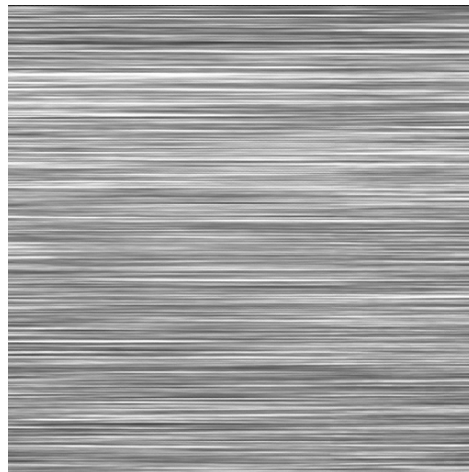


Figura 7. Padrão STS de uma semente de feijão a 11% bu.

O STS é uma forma representativa do estado do fenômeno avaliado quando ele foi registrado. Visualizando duas Padrão de materiais de atividades bem próximas não se pode identificar pelas Padrão qual possui maior atividade( Figuras 8 e 9). Assim, tomam-se em mãos programas computacionais para quantificar essas Padrão.

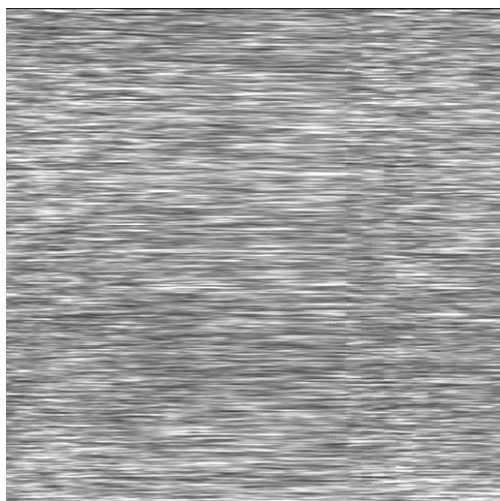


Figura 8. Padrão STS de uma semente de feijão a 13% bu.

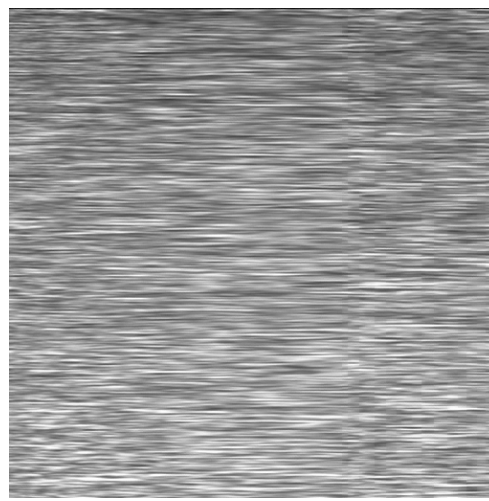


Figura 9. Padrão STS de uma semente de feijão a 15% bu.

As informações de uma padrão podem ser caracterizadas por seu nível de intensidade ("gray level"), sua distribuição espacial e sua distribuição de probabilidades ou histograma. O

histograma de uma padrão representa a frequência relativa da ocorrência de vários níveis de intensidade na padrão. De acordo com JAIN(1989), os histogramas são técnicas poderosas para reconhecimento de Padrão.

OLAMARA *et al.* (1989) propuseram a primeira aproximação para caracterizar a evolução temporal de um grão de *speckle*. Esse processo se inicia com a aquisição da nova padrão formada no padrão **STS**.

A atividade da amostra aparece como mudanças nas intensidades no eixo horizontal da padrão construída de forma que em uma amostra que apresenta baixa atividade, a variação do “*speckle*” é lenta e, conseqüentemente, o padrão **STS** apresenta linhas paralelas bem definidas como uma cortina tipo persiana.

Uma matriz de ocorrência pode caracterizar o padrão **STS**. A entrada é o número **N** de ocorrências de certa intensidade **i**, que é imediatamente seguida por uma intensidade de valor **j**. Este é um caso particular do chamado “nível espacial de cinza em matrizes de dependências”. Ele é freqüentemente utilizado para caracterizar texturas em Padrão. No caso espacial, sua diagonal principal está relacionada com regiões homogêneas e elementos não nulos distantes da mesma. A matriz de ocorrências (**MOC**) é definida pela equação 25:

$$MOC=[N_{ij}] \quad (25)$$

No caso de *biospeckle*, a variável de interesse é o tempo. Então os **Ns** valores envolvidos são as ocorrências de certo valor de cinza **i**, seguido no próximo intervalo de tempo por um valor **j** do padrão **STS** descrito acima, e em uma matriz de **256x256** (em que de 0 a 255 tem-se a faixa de intensidades codificadas em 8 bits) que faz o cômputo de todas as ocorrências. Uma vez montado um padrão **MOC**, observa-se a diagonal principal, relacionada com intensidades que não variaram no tempo, enquanto fora da mesma aparecem as ocorrências que caracterizam uma mudança no tempo. Assim, com a **MOC**, é possível analisar o nível de alteração do *speckle* observado no tempo, pois, quanto mais afastado da diagonal principal estiver a ocorrência, maior a mudança na intensidade do nível **i** para o nível **j**. Essa

observação pode ser facilitada com a representação gráfica das ocorrências, como pode ser constatado nas Figuras 10 a, b, c, d, e, f.

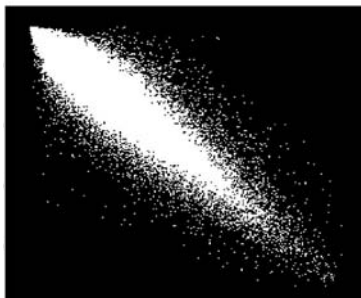


Figura 10a: Padrão de MOC obtido ao iluminar sementes de feijão *Phaseolus vulgaris* L. sem submetê-las ao envelhecimento artificial. Fonte: RODRIGUES et al., 2005.



Figura 10b: Padrão de MOC obtido ao iluminar sementes de feijão *Phaseolus vulgaris* L. submetidas ao envelhecimento artificial por 48 horas. Fonte: RODRIGUES et al., 2005



Figura 10c: Padrão de MOC obtido ao iluminar sementes de feijão *Phaseolus vulgaris* L. submetidas ao envelhecimento artificial por 96 horas. Fonte: RODRIGUES et al., 2005



Figura 10d: Padrão de MOC obtido ao iluminar sementes de feijão *Phaseolus vulgaris* L. submetidas ao envelhecimento artificial por 120 horas. Fonte: RODRIGUES et al., 2005



Figura 10e: Padrão de MOC obtido ao iluminar sementes de feijão *Phaseolus vulgaris* L. submetidas ao envelhecimento artificial por 168 horas. Fonte: RODRIGUES et al., 2005

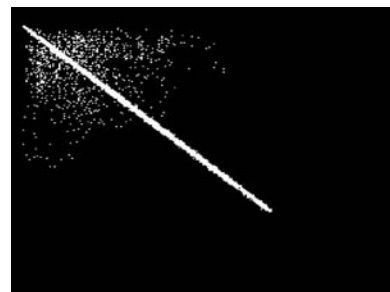


Figura 10f: Padrão de MOC obtido ao iluminar sementes de feijão *Phaseolus vulgaris* L. submetidas ao envelhecimento artificial por 216 horas. Fonte: RODRIGUES et al., 2005

A fim de obter um valor numérico que permita quantificar as diferenças entre duas Padrão distintas, pode ser aplicado o conceito de momento de segunda ordem. Esse cálculo é aplicado na matriz de ocorrências em relação à sua diagonal principal na direção das linhas,

constituindo o módulo de dispersão de intensidades (**MDI**) que é referido na literatura também como momento de inércia (**MI**).

A quantificação consiste no somatório dos produtos dos valores de intensidade da matriz pelo quadrado da distância entre cada elemento da matriz e a diagonal principal. A equação (26) representa a operação do módulo de dispersão de intensidades.

$$MI = \sum_{ij} M_{ij} (i - j)^2 \quad (26)$$

Em que:

**MI** – “Momento de Inércia”

**i** – linha

**j** – coluna

### 3.7.2 Método de Diferenças Generalizadas

O método de diferenças generalizadas permite indicar as áreas que apresentam diferentes níveis de atividades relacionadas à mudança do padrão de *speckle* observado.

O método é baseado no trabalho com Padrão obtidas após iluminar o material, identificando a intensidade luminosa de cada *pixel* que a compõe, sendo essa intensidade expressa por **I(x,y)**, em que (**x,y**) são as coordenadas da padrão. Somando-se diferenças de intensidade entre uma padrão e a sua subsequente, o resultado será uma nova padrão e um clareamento dos *pixels* no local onde ocorreu uma maior variação de intensidade do *pixel* apresentado pelas Padrão.

$$I(x, y) = \sum |I_k(x, y) - I_{k+1}(x, y)| \quad (27)$$

em que:

**k**- número de Padrão

**I** - intensidade

**x,y** - *pixels* subsequentes

Um exemplo do funcionamento do Método de Diferenças Generalizadas pode ser visto a seguir, em que o mesmo será aplicado para as três Padrão fictícias consecutivas, Figuras 11a, 11b e 11c, formando uma quarta padrão, Figura 12.

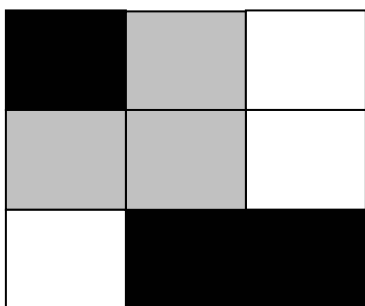


Figura 11a

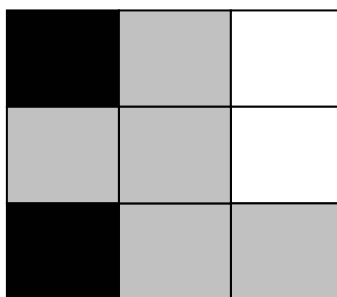


Figura 11b

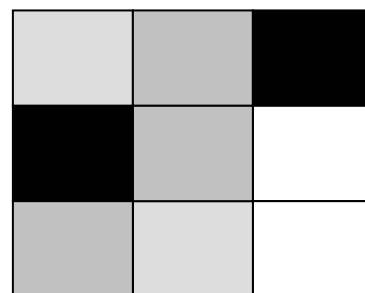


Figura 11c

Figuras 11a, b, c. Representação de três padrões capturados ao longo do tempo para obter uma pelo método de Diferenças Generalizadas.

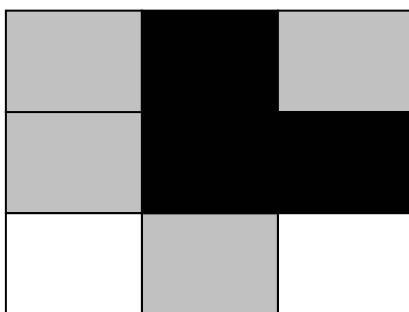


Figura 12. Representação de um padrão formado pelo método de Diferenças Generalizadas.

Trabalhos como o de RODRIGUES(2002) analisaram o efeito da iluminação laser em diferentes sementes (feijão, milho, soja, algodão e café), contribuindo para o desenvolvimento da tecnologia laser como instrumento de análise da atividade das sementes, identificando áreas com diferentes atividades dentro de uma mesma semente, bem como as áreas mortas. O fenômeno do speckle dinâmico, produzido pela iluminação de material biológico pelo laser, apresenta-se como uma potencial metodologia para a quantificação e determinação de áreas

com diferentes atividades biológicas em uma semente. As Figuras 13a, 13b, 13c, 13d e 13e apresentam Padrão de diferenças generalizadas de sementes de feijão, milho, soja, algodão e café, respectivamente. Pelas Padrão, podem-se observar áreas em que há maior atividade nas sementes.

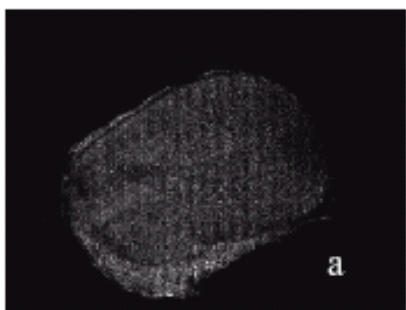


Figura 13a. Resultado padrão de Diferenças Generalizadas de uma semente de feijão. Fonte: RODRIGUES et al., 2002.

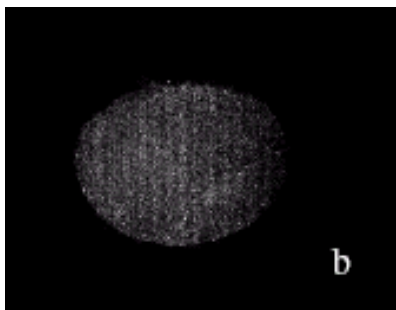


Figura 13b. Resultado padrão de Diferenças Generalizadas de uma semente de soja. Fonte: RODRIGUES et al., 2002.

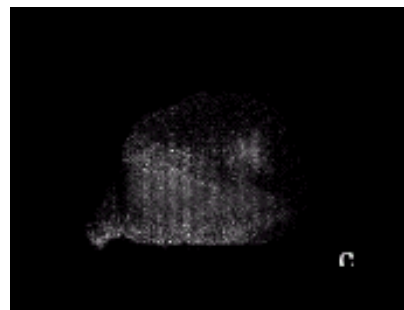


Figura 13c. Resultado padrão de Diferenças Generalizadas de uma semente de milho. Fonte: RODRIGUES et al., 2002.



Figura 13d. Resultado de padrão Diferenças Generalizadas de uma semente de algodão. Fonte: RODRIGUES et al., 2002.

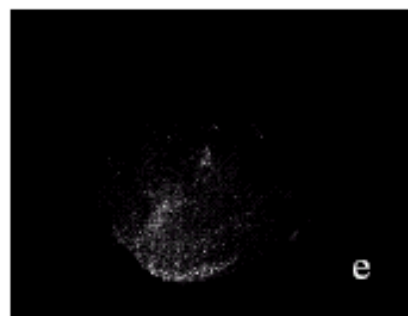


Figura 13e. Resultado de Diferenças padrão Generalizadas de uma semente de café. Fonte: RODRIGUES et al., 2002.

### 3.7.3 Método de Fujii

A metodologia utilizada pelo Método de Fujii baseia-se na mesma filosofia adotada para o Método de Diferenças Generalizadas, apenas com uma mudança no tratamento da padrão, na qual ocorre uma ponderação das diferenças (FUJII et al. & AIZU et al., 1991). A equação (28) mostra como funciona esta ponderação.

$$I(x, y) = \Sigma \left| \frac{I_k(x, y) - I_{k+1}(x, y)}{I_k(x, y) + I_{k+1}(x, y)} \right| \quad (28)$$

Para pequenas intensidades, o efeito das diferenças fica maior do que para intensidades maiores. A Figura 14 apresenta um exemplo de aplicação do método de Fujii em uma batata com pequenas áreas inertes sobre as amostras.

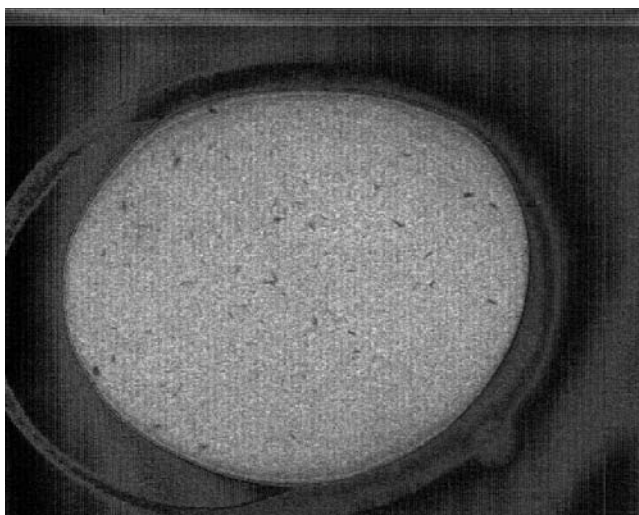


Figura14. Padrão gerado pelo método de Fujii de uma amostra de batata. Fonte: RODRIGUES et al., 2005.



### 3.7.4 Método de LASCA

O método *Laser Speckle Contrast Analysis* (LASCA) foi proposto por BRIERS e WEBSTER (2003). O método LASCA indica a atividade avaliando o contraste espacial local  $\sigma/I$  do *speckle* nas janelas 7x7 nas Padrão em tempo-integrado. No trabalho proposto por BRIERS E WEBSTER (2003),  $\sigma$  representa o desvio-padrão (espacial) da intensidade  $I$  no padrão do *speckle* e  $I$  seu valor médio. O resultado é atribuído a seu *pixel* central. Este método é uma técnica na qual não se necessita de equipamento caro ou poder computacional muito pesado, sendo, porém, a definição espacial reduzida.

PAJUELO( 2003) obteve bons resultados com o método de LASCA. O referido autor obteve Padrão com o método de LASCA trabalhando com maçãs e aplicando um impacto nas mesmas. Pelo método de LASCA, antes e 1,0 hora após o material sofrer um impacto, o padrão LASCA mostra uma região mais escura na posição do impacto. O método de Diferenças Generalizadas não mostra os danos sofridos pelo material em um curto espaço de tempo.

### 3.7.5 Método *Wavelets*

A teoria da informação interpretada segundo a entropia foi introduzida por SHANNON(1948). De acordo com essa teoria, a entropia é uma medida da ordem ou desordem em um sistema dinâmico. Pela entropia não é necessário assumir uma distribuição. A entropia espectral sendo definida a partir do espectro da série de potência de Fourier (POWELL, 1979) mostra uma aproximação natural para quantificar o grau de ordem de um sinal complexo, indicando o nível de espalhamento de um espectro de um sinal de potência. Uma atividade regular, como um tom, mostra um pico no domínio da frequência. Essa concentração do espectro da frequência num único pico corresponde a um valor baixo da entropia. Num outro extremo, uma atividade de ruído não regular mostrará componentes num largo espectro no domínio da frequência, indicando alta entropia. As condições estacionárias para se aplicar à transformada de Fourier (FT) não estão asseguradas no **THSP**. Para trabalhar com essas limitações da entropia envolvendo o tempo, pode-se definir uma

representação segundo os parâmetros tempo-frequência do sinal, tal como o faz a transformada *wavelet* (**WT**) (BLANCO, 1998). A transformada *wavelet* discreta (**DWT**) não assume propriedades estacionárias do sinal (BLANCO, 1995). Portanto, enquanto a entropia baseada em **WT** reflete o grau de ordem/desordem do sinal, pode também prover informações adicionais sobre o processo dinâmico associado ao sinal (ROSSO, 2001). A análise levada a cabo pela metodologia do *wavelet* irá caracterizar um sinal por meio da distribuição da amplitude numa base apropriada. Se a base exibir propriedades ortogonais, a função tempo poderá ser decomposta de forma única e essa decomposição poderá ser invertida (DAUBECHIES, 1992). A **WT** é a representação de um sinal **S(t)** por meio de seu produto interno juntamente com um conjunto de um grupo de funções *wavelets*. Uma família wavelet **wab** é um conjunto de funções geradas por dilatações e translações de uma única admissível *wavelet* mãe **w(t)**:

$$\psi_{a,b}(t) = |a|^{-1/2} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (29)$$

A teoria de análises de múltipla resolução mostra que não se perdem informações se os coeficientes contínuos da *wavelet* são amostrados num conjunto de pontos esparsos no plano escala-tempo conhecido como *dyadic grid* (grid = grade --- *dyadic*). Se o sinal é tomado como sendo dado por um conjunto de valores amostrados correspondentes a uma grade do tempo uniforme *grid* **S = {s0(n), n = 1, . . . , M}**, executando a decomposição nos níveis **N = log2(M)**, a expansão da *wavelet* será:

$$S(t) = \sum_{j=0}^{\infty} \sum_k C_j(k) \psi_{j,k}(t) = \sum_{j=0}^{\infty} r_j(t) \quad (30)$$

Em que **Cj(k)** pode ser interpretado como erros residuais locais entre aproximações sucessivas de sinais nas escalas **j** e **j + 1** e **rj(t)** seria o sinal residual na escala **j** contendo

informações correspondentes às escalas  $j$  e  $j + 1$  e  $\mathbf{rj(t)}$ . O conceito de energia está associado às noções usuais derivadas da teoria de Fourier. A energia a cada nível de resolução  $j = 1, \dots, N$ . ( $N = \log_2$  (comprimento de sinal)) será a energia do sinal detalhado. Para estudar a evolução temporal do *biospeckle*, as ruas do **SSP** são divididas em janelas temporais de comprimento  $L$  e para cada segmento  $I$  ( $i = 1, \dots, NT$ , com  $NT = \text{comprimento de sinal}/L$ ). A equação (31) é empregado para obter a energia média do *wavelet* do sinal para cada janela de tempo  $i$ .

$$E_j^{(i)} = \frac{1}{N_j} \sum_{k=0}^{(L/2)-1} |C_{k,j,i}|^2 \quad \text{com } I = 1, \dots, NT, \quad (31)$$

Em que  $N_j$  representa o número de coeficientes do *wavelet* em um nível de resolução  $j$  incluído no intervalo de tempo  $i$ . A energia total no intervalo  $i$  poderá ser obtida por:

$$E_{total}^{(i)} = \sum_{j=0} E_j^{(i)} \quad (32)$$

A energia relativa do wavelets da fileira da janela  $i$  do padrão **STS** será dada por:

$$P_j^{(i)} = \frac{E_j^{(i)}}{E_{total}^{(i)}} \quad (33)$$

A equação (34) de BLANCO et al.(1995) é empregada para avaliar a entropia de Shanon. O valor obtido é relativo ao ponto central da janela.

$$S_{WT}^{(i)} = \sum_{j=0} P_j^{(i)} \cdot \ln[P_j^{(i)}] \quad (34)$$

Em consequência, se o comportamento em conjunto varia, as séries de intensidade podem ser caracterizadas pelo valor do tempo de entropia envolvido, podendo esse parâmetro ser considerado uma descrição do *biospeckle*. A entropia do *wavelet* **SWT** da série de tempo do fenômeno *speckle* de uma padrão **STS** é também de um conjunto de eixos (*frames*) em que a atividade do *biospeckle* varia de acordo com a região.

### **3.8 – Aplicações**

#### **3.8.1 Vitalidade Sementes**

BRAGA JÚNIOR(2000) verificou a possibilidade do uso da técnica de *biospeckle* em sementes, para monitorar a atividade biológica, e RODRIGUES et al.(2002) verificaram a possibilidade de diferenciar sementes de diferentes espécies em um mesmo grau de umidade. Os trabalhos de vitalidade de sementes contribuíram para o desenvolvimento da tecnologia laser como instrumento de análise de material biológico. Em tecnologia de sementes há uma intensa motivação em desenvolver novas tecnologias para sua análise, pois os testes existentes são lentos, subjetivos e não automáticos. O fenômeno *biospeckle* vem sendo a melhor tecnologia estudada para a análise de sementes, pois é um teste rápido, sem interferência humana e pode ser totalmente automatizado.

#### **3.8.2 Vitalidade de tecidos vegetais**

ENES(2004) e RODRIGUES(2003) procuraram diferenciar tecidos vivos de tecidos mortos em sementes de feijão, visando a contribuir para o desenvolvimento de uma metodologia para análise de vigor e viabilidade em sementes. O processo consiste basicamente na análise do *biospeckle*, que é um fenômeno ótico de interação da luz coerente com o material biológico. O material biológico iluminado pela luz coerente apresenta transformações superficiais e de constituição interna ao longo do tempo, apresentando-se como uma rede de

difração dinâmica. Por meio de tratamento digital de Padrão coletadas para retratação do fenômeno, é possível diferenciar níveis de atividade biológica em sementes, podendo também servir como método de análise de vigor e viabilidade. A contribuição deste trabalho é no sentido de estabelecer um modelo dessa interação e isolar as variáveis que interferem nos resultados, mostrando que é possível separar tecido vivo de tecido morto de forma controlada, para então, ser possível separá-los em uma semente.

### **3.8.3 *Biospeckle* e propriedades mecânicas do tecido vegetal**

O monitoramento de qualidade de laranjas, segundo RABELO(2000), pode basear-se na resposta do fruto à excitação mecânica e na interpretação de um fenômeno ótico que ocorre ao incidir luz coerente sobre o fruto. Os padrões de espalhamento da luz em laranjas foram medidos pela quantificação da variação temporal do *speckle*. Para quantificação dessa variação, a função autocorrelação temporal e a matriz de ocorrências foram utilizadas. Dessas, foram obtidos dois parâmetros: os cumulantes estatísticos, calculados a partir da função autocorrelação, e o módulo de dispersão de intensidades, calculado a partir da matriz de ocorrência. Essas variáveis foram consideradas indicadoras de qualidade e foram comparadas como outras variáveis tais como sólidos solúveis e acidez total titulável (RABELO, 2000).

### **3.8.4 Secagem de Pinturas Industriais.**

No estudo do processo de secagem de pinturas baseado no fenômeno do *speckle* dinâmico, busca-se medir o tempo de secagem de pinturas utilizando algoritmos computacionais distintos, operando sobre as intensidades contidas nos arquivos de Padrão digitalizados de *speckle* dinâmico. O primeiro algoritmo estabelece os coeficientes de correlação temporal entre intensidades obtidas em instantes diferentes, permitindo uma avaliação da evolução temporal do processo de secagem (SILVA, 2000).

### **3.8.5 Espermograma**

Neste trabalho, o autor avaliou três espécies de sêmen: ovino, equino e canino com a finalidade de desenvolver uma metodologia para sua análise. A variável quantitativa utilizada na inferência da atividade do material foi o “momento de inércia” das Padrão do biospeckle e foi comparado com avaliações de microscopia. Os resultados apontaram o biospeckle como uma importante ferramenta de metrologia da atividade em meio fluido (NASCIMENTO, 2005).

### **3.8.7 Umidade do Solo**

O trabalho em solo teve como objetivo verificar a possibilidade do uso do laser para determinar sua umidade. Os resultados indicam um potencial significativo em usar a técnica do *biospeckle* como mais um parâmetro indicador de umidade do solo. Entretanto, deve-se enfatizar que o solo é um sistema muito complexo cujo espaço de poroso é ocupado por matéria orgânica, planta enraizada e microorganismos. Todos estes componentes interferem no speckle dinâmico ( SHIMABUKURO et al., 2005).

## IV MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 – Interpretação matemática das Padrão STS

Os ensaios experimentais destinados a gerar padrões **STS** foram levados a cabo no Laboratório de Processamento de Produtos Agrícolas, no Laboratório de Laser e Ótica do Departamento de Engenharia e no Laboratório de Sementes do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras, no laboratório de Ótica do Instituto de Física da Universidade de São Paulo, bem como no Laboratório de Botânica do Instituto de Biologia da Universidade Estadual de Campinas. Esse ensaio experimental foi conduzido nas seguintes etapas:

- determinação do teor médio de água nas sementes a serem ensaiadas;
- obtenção das padrões **STS** a partir da simulação de movimento browniano pelo sistema particulado;
- simulação de movimento browniano a partir de padrões **STS**; e
- definição do *setup* de exposição ao laser e captura e quantificação das Padrão por **MI** (“momento de inércia”) e por entropia.

#### 4.1.1 - Determinação do teor de água nas sementes a serem ensaiadas

Os padrões de **STS** e **MOC** gerados pela técnica do *biospeckle* aplicada a sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) foram tratadas pelo programa “CAPTURA” desenvolvido pelo Laboratório NEOLaser-UFLA. As sementes foram colhidas 30 dias antes do preparo das espécimes, obtidas segundo a metodologia proposta por BRASIL (1992).

A fim de elevar o teor de água das sementes, foram separadas 9 amostras de 50g cada uma. Em seguida, foram colocadas em uma caixa *higrostat* totalmente vedada, com circulação forçada de ar interno, contendo ao fundo nitrato de potássio PA, até que deixasse de absorver água.

Para obter os diversos teores de água de cada tratamento, as amostras foram acrescidas, a partir da umidade inicial do lote, de uma quantidade de água, variando em média 2% de base úmida (b.u) de uma amostra para outra. Conhecendo-se o teor de água inicial das amostras, encontraram-se os demais teores de água aproximados, por pesagem. À medida que as sementes atingiam o peso pré-estabelecido, eram retiradas da caixa *higrostat* e armazenadas em sacos plásticos e, logo em seguida, colocadas em recipiente de alumínio e guardadas em uma câmara fria a 10°C. O limite de absorção de água pelas sementes está associado ao uso de nitrato de potássio destinado a aumentar a umidade relativa do ar após a estabilização do peso das amostras na caixa *higrostat*. As amostras destinadas a atingir um teor de água mais elevado foram retiradas da caixa *higrostat* e levadas a um germinador. Essas sementes, ao atingir o peso previamente determinado, foram armazenadas em câmara fria, de acordo com os procedimentos descritos anteriormente.

A equação (35) permite obter o peso da amostra em função da umidade desejada.

$$P(\%) = \frac{100X(U_i - U_f)}{(100 - U_f)} \quad (35)$$

em que:

**P(%)** - Peso;

**U<sub>i</sub>** - umidade inicial da amostra; e

**U<sub>f</sub>** - umidade final que se deseja alcançar.

Pela equação (35), consegue-se um valor em porcentagem que, multiplicado pelo peso inicial da amostra, resulta na quantidade de água que deve ser adicionada às amostras, a fim de obter a umidade final desejada.

Dos 50g iniciais de sementes de cada amostra, retiraram-se sete sementes para exposição ao laser, sendo as demais utilizadas para determinar o real teor de água em cada amostra, seguindo a metodologia proposta por BRASIL (1992).



#### 4.1.2 Simulação do movimento browniano em sistema particulado imerso em campo magnético com variação de frequência

Esse sistema particulado foi composto de certa quantidade de limalhas de ferro de diâmetro inferior a  $1,0\ \mu\text{m}$ , em suspensão em glicerina na proporção de 15 ml de glicerina por 2 gramas de partículas. O sistema assim preparado foi colocado em um recipiente plástico de dimensões 60 X 30 X 10 mm, agitado manualmente por 1 minuto e a seguir deixado em repouso por 60 minutos, após o qual o sistema foi exposto ao laser. Primeiramente, obtiveram-se Padrão do sistema sem a presença de campo magnético para que fosse observada apenas a influência do movimento browniano. Foi estabelecida uma seqüência de frequências de 0,5; 1; 2; 5; 10 e 20 hz para obter oscilação no campo magnético. O interesse maior em submeter o sistema particulado de glicerina e partículas de Fe a um campo magnético de frequência variável está associado à geração de uma variável adicional de movimento além do já existente movimento browniano. A Figura 15 ilustra o arranjo experimental proposto e empregado para excitar as partículas de aço em suspensão em glicerina. O esquema de ensaios foi assim composto por um gerador de sinais capaz de produzir sinais de baixa frequência de marca Anritsu – MG 3625 A, um freqüencímetro marca Minita , modelo MF- 7240, bem como um eletroímã.

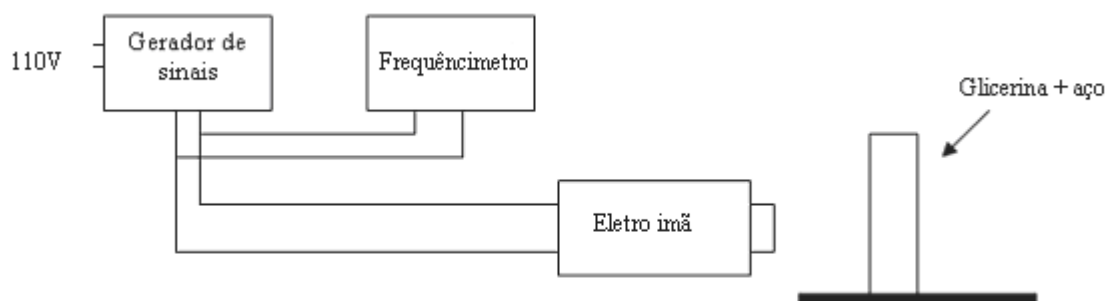


Figura 15. Arranjo experimental mostrando o sistema particulado e o dispositivo destinado a gerar campo magnético variável. Freqüencímetro, sistema particulado (glicerina + partículas de aço), eletroímã, 110 volts.

### 4.1.3 Simulação do movimento browniano a partir de Padrão de STS

Nesta etapa do trabalho, consideraram-se algumas das propriedades de *martingales*. O processo  $\{X_t, 0 \leq t \leq \infty\}$  é dito ser *martingale* se  $E[X_{t+1} | \mathcal{F}_t] = X_t$  ou seja, mesmo com a variável aleatória browniana, a condição final deve ser igual à condição inicial. Considerou-se que os dados sejam normais.

Utilizaram-se padrões **STS** de sementes feijão com diferentes teores de água e padrões de **STS** obtidos a partir da exposição do sistema particulado ao laser. Os padrões foram processados pelo programa **IMAGEJ** para obtenção das médias de pixel ( $\mu$ ) e da variância das Padrão ( $\sigma$ ), cujos valores foram substituídos na equação (24), utilizando  $X_0$  e  $X_t$  da própria padrão **STS** a ser avaliada.

O procedimento acima descrito empregou padrões **STS** gerados a partir da técnica *biospeckle* oriunda de ensaios anteriores (RODRIGUES et al., 2005; RODRIGUES, 2003) além dos padrões gerados a partir do sistema particulado acima apresentado.

Os padrões **STS** gerados foram submetidos ao programa **IMAGEJ**, pelo qual o dispositivo *histogram* gerou um histograma em que a curva de Gauss era formada pelos *pixels* que compõem o padrão, incluindo as médias e desvios-padrão dos mesmos. A equação (24), ou seja,  $dX_t = -\mu(X_t - X_0)dt + \sigma X_t dW_t$ , foi solucionada numericamente, utilizando-se um modelo EULER modificado, proposta por de YANNIOS (2004).

### 4.1.4- Definição do sistema laser, captura e tratamento dos padrões

O esquema experimental empregado constituiu de um laser de He-Ne de 632.8 nm (vermelho) de 30 mw de potência, lente de dispersão de feixe e de um sistema de aquisição digital de Padrão que por sua vez era composto por uma câmara CCD (charge coupled device), por um microcomputador, por um processador de Padrão (Placa Imagenation), e por um aplicativo computacional em C++ para tratamento de Padrão. O arranjo experimental assim descrito está ilustrado na Figura 16.

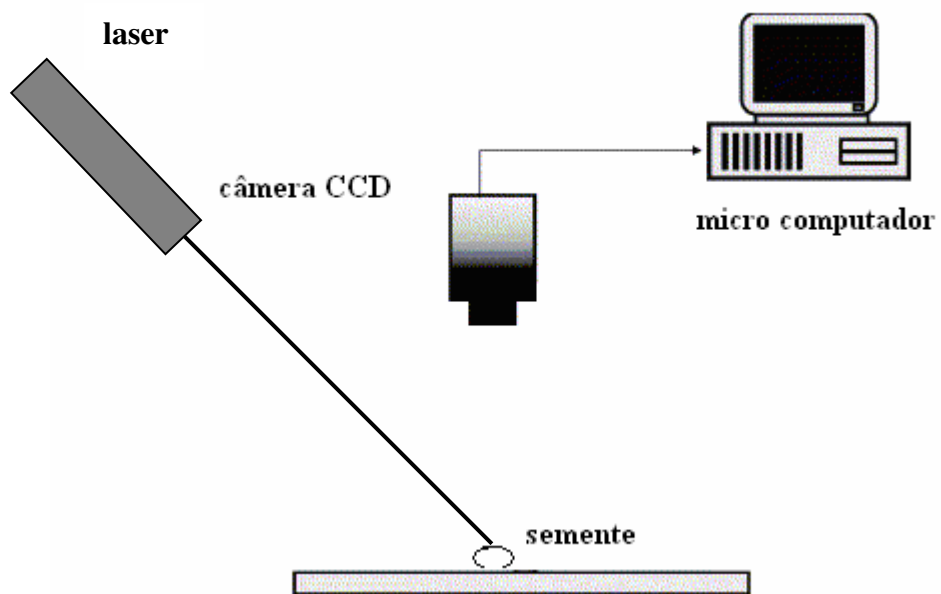


Figura 16. Arranjo experimental de iluminação a laser e captura de Padrão. Câmera CCD, Micro computador, laser, semente de feijão

## V. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Quantificação de Padrão por entropia

A técnica *biospeckle* é uma importante aliada na identificação de atividade de materiais biológicos bem como de sistemas particulados, o que foi comprovado por vários autores (RABELO, 2000; BRAGA JÚNIOR, 2000; SILVA, 2000; RODRIGUES, 2003; NASCIMENTO, 2005; ENES, 2006). Esses autores apresentam a quantificação da bioatividade pelo método denominado “momento de inércia”. Neste trabalho, os resultados apresentados evidenciaram que a técnica *biospeckle*, quando analisada por “momento de inércia”, apresenta valores correspondentes ao nível de atividade de acordo com o padrão do material analisado, demonstrando ser eficaz na quantificação da atividade, conforme mostra a Tabela 1. Pela Tabela 2, nota-se que a entropia teve resposta semelhante à apresentada pelo “momento de inércia”. Comparando-se o desvio-padrão gerado pela análise dos valores obtidos a partir da entropia e do “momento de inércia”, pode-se observar que o desvio-padrão é bem menor quando se usa a entropia (12,65%), comparando-se com o desvio-padrão obtido quando se usa o “momento de inércia” (98,62%) para quantificar as Padrão conforme mostram as Tabelas 3 e 4. Isto demonstra que ocorre uma menor variação dos dados quando quantificados pelo método da entropia.

**Tabela 1.** Valores médios de Momento de Inércia (MI) obtidos na análise do *biospeckle* (Padrão MOC) de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), em diferentes níveis de água

Teor de água % (bu)	“momento de inércia” (MI)
11	7,57a
15,2	15,52ab
16,8	18,91ab
17,24	19,07ab
18,93	21,23ab
20,89	35,97ab
23,44	58,76c
24,62	54,73c
26,60	104,77d
29,70	135,22e

**Tabela 2.** Valores médios de Entropia obtidos na análise do *biospeckle* (Padrão MOC) de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), em diferentes níveis de água.

Teor de água % (bu)	Entropia
11	94,47a
15,2	126,80b
16,8	127,13b
17,24	138,28c
18,93	140,01c
20,89	173,36d
23,44	207,96d
24,62	206,39d
26,60	237,83e
29,70	261,85f

**Tabela 3.** Valores médios de Entropia (Padrão STS) obtidos na análise do *biospeckle* de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), em diferentes níveis de umidade.

Teor de água % (bu)	Entropia
11	2403
15,2	2413
16,8	2398
17,24	2391
18,93	2363
20,89	2381
23,44	2397
24,62	2395
26,60	2397
29,70	2402

**Tabela 4.** Quadro de análise de variância para os valores de entropia obtidos da média dos tratamentos.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamentos	9	567424,70	56742,470751	116,821	0.0000
Repetições	2	69111,92	23037,306792	47,429	0.0000
erro	198	95201,09	485,719885		

CV (%) = 12.65; Número de observações: 210

**Tabela 5.** Quadro de análise de variância para os valores de Momento de Inércia obtidos da média dos tratamentos

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	9	210879,504	23431,056	17,403	0,000
Bloco	2	25094,694	12547,347	9,320	0,0001
Erro	198	266577,347	1346,350		
T. Corrigido	209	502551,5448			

CV (%) = 98,52; Número de observações: 210

A entropia consegue quantificar padrão **STS**, conforme mostra a Tabela 3, porém, os valores encontrados não mostram nenhuma relação com a atividade do material analisado. Os valores de entropia encontrados a partir do padrão **STS** não são condizentes com a atividade do material analisado. Para identificar uma relação entre o teor de água da semente e a entropia de sua padrão, é necessário analisar o padrão **MOC** dessa padrão. A entropia do padrão **MOC** mostrou-se eficaz na quantificação da atividade a partir das Padrão, porém, ao utilizar o padrão **MOC**, podem-se perder informações do padrão **STS**. Essas informações perdidas ainda não foram definidas, ou seja, não se sabe a importância dessas informações. Trabalhos publicados, como o de PASSONI (2004), empregaram padrão **STS** com “filtros”, que na verdade transformam a padrão, diminuindo o componente aleatório existente nessas Padrão. PASSONI (2004) empregou tratamentos das Padrão pela técnica denominada *wavelets* para quantificá-las. Ainda é desconhecida a quantificação de padrão **STS** bruta, sem algum tipo de transformação.

Pelos gráficos apresentados pelas Figuras 17a a 18c, pode-se perceber que a entropia em todos os tratamentos apresentou melhor regressão linear. Isto evidencia que a entropia apresenta vantagens sobre o método de quantificação das Padrão por “momento de inércia”. Porém, esses resultados não desqualificam o método denominado “momento de inércia” na quantificação do fenômeno em pauta, pois esse método retrata bem a atividade do material analisado.

As figuras 17a a 18c apresentam ainda a variação do **MI** e da entropia com a umidade das sementes, os quais aumentam linearmente com a umidade, o que é evidenciado pelo coeficiente de determinação  $R^2$  que varia de **0,791** a **0,9493** para a entropia e de **0,73** a **0,8955** para o “momento de Inércia”. Isso demonstra que existem vantagens no uso da entropia para quantificar Padrão geradas pelo *biospeckle*.

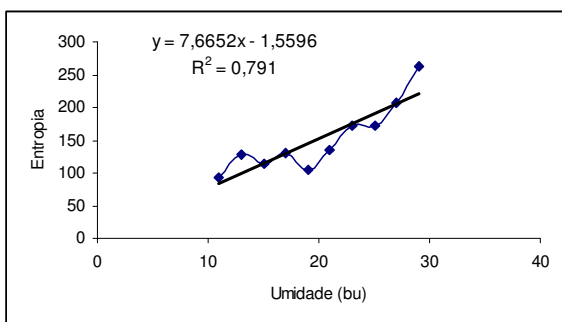


Figura 17a. Representação gráfica e equação de regressão linear dos valores de entropia de sementes de feijão de diferentes umidades para a repetição 1.

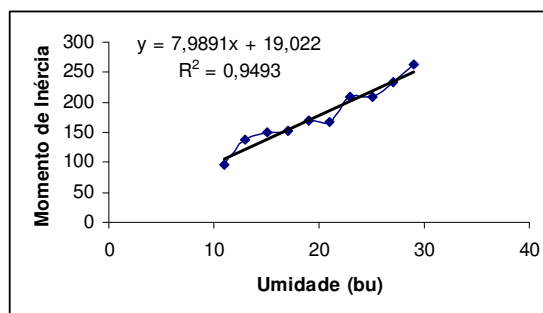


Figura 17b. Representação gráfica e equação de regressão linear dos valores de entropia de sementes de feijão de diferentes umidades para a repetição 2.

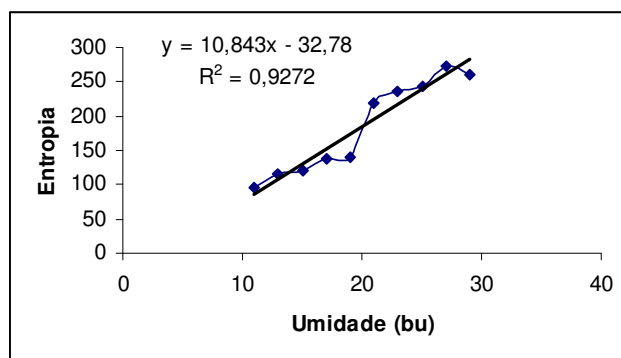


Figura 17c. Representação gráfica e equação de regressão linear dos valores de entropia de sementes de feijão de diferentes umidades para a repetição 3.

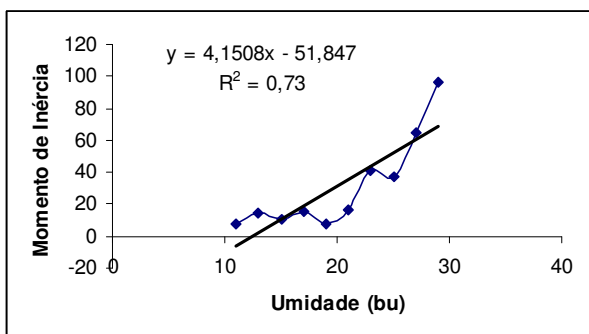


Figura 18a. Representação gráfica e equação de regressão linear dos valores de Momento de Inércia de sementes de feijão de diferentes umidades para a repetição 1.

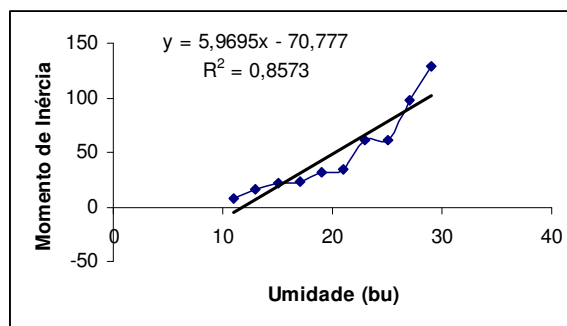


Figura 18b. Representação gráfica e equação de regressão linear dos valores de Momento de Inércia de sementes de feijão de diferentes umidades para a repetição 2.



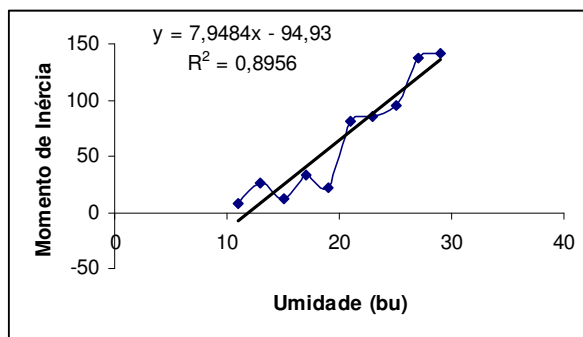


Figura 18c. Representação gráfica e equação de regressão linear dos valores de Momento de Inércia de sementes de feijão de diferentes umidades para a repetição 3.

## 5.2 Simulação do movimento browniano com o sistema particulado

O "momento da inércia" gerou dados que foram coletados em diferentes frequências, conforme está indicado na Tabela 6. As Padrão correspondentes do padrão **MOC** são apresentadas nas Figuras 19a a 25a, podendo ser observada visualmente a diferença entre as Padrão pelos pontos ao longo da diagonal principal da matriz (**MOC**), indicando atividade elevada. Esta é uma indicação forte de que a frequência é um parâmetro importante na determinação do comportamento do padrão **MOC**. O parâmetro do **STS**, figuras 19b a 25b, por si mesmo, não revelou parâmetros de variações visuais significativas, entretanto, ao quantificar as Padrão, o "momento de inércia" evidenciou uma diferença entre frequências inferior a **5,0 hertz**. Acima de **5,0 hertz**, o sistema computacional não consegue mais distinguir o nível de frequência aplicado nas amostras.

A suspensão de partículas de aço pode ser considerada uma boa opção para simular um movimento browniano.

**Tabela 6:** Valores de momento de inércia relativos às diferentes frequências

Frequência (Hertz)	Momento de Inércia
0,0	30,02
0,5	22,98
1,0	38,29
2,0	50,17
5,0	196,05
10,0	198,96
20,0	160,25

Os valores de “momento de inércia” da constante da Tabela 6 mostram que o campo magnético afeta o movimento browniano, gerando um “momento de inércia” crescente. Os resultados apresentados mostram que, para frequências superiores a **5,0 hertz**, o sistema de aquisição de Padrão não consegue mais diferenciar o aumento crescente do movimento provocado pela variação do campo magnético nas partículas.

ENES (2005), ao aferir a frequência de aquisição de Padrão de uma câmara CCD (*Charge Coupled Detector*) utilizando um disco com faixas negras e brancas alternadas, acoplado a um motor com velocidade controlada, encontrou a frequência máxima que a câmara CCD pode capturar Padrão de *biospeckle* sem comprometer a qualidade dos testes. ENES (2006) demonstrou que a velocidade de aquisição da CCD fica abaixo de 6,025 hertz para o modelo em teste.

. O sistema particulado possui algumas limitações, principalmente quanto à forma da partícula de aço, que não exibe forma esférica, nem tampouco uniformidade de dimensões, conforme ilustra a Figura 26. Além disso, haveria uma provável influência da decantação das partículas a ser considerada.

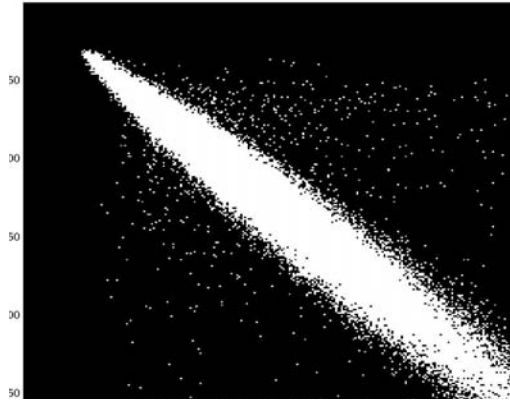


Figura 19a: Padrão MOC formado ao iluminar glicerina com partículas de aço na ausência de campo magnético.

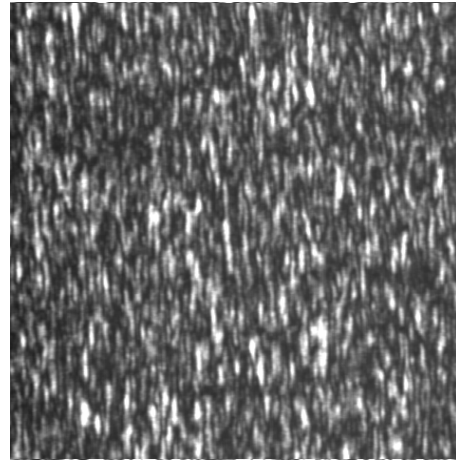


Figura 19b: Padrão STS formado ao iluminar glicerina com partículas de aço na ausência de campo magnético.

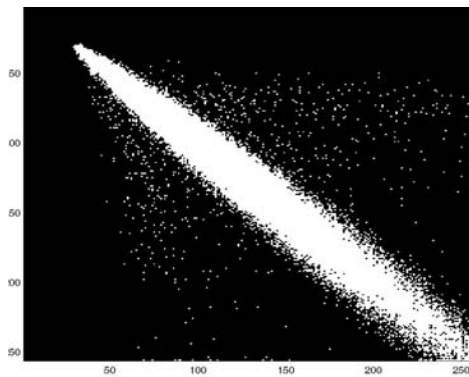


Figura 20a: Padrão MOC formado ao iluminar glicerina com partículas de aço na presença de campo magnético na faixa de 0,5 Hertz

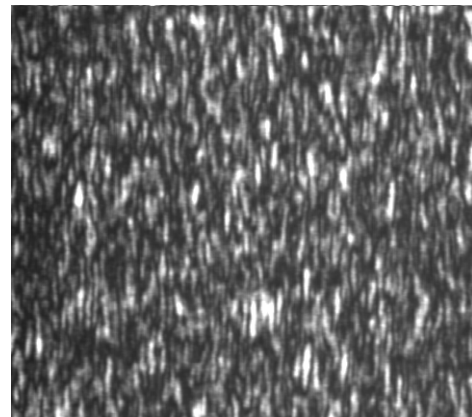


Figura 20b: Padrão de STS formado ao iluminar glicerina com partículas de aço na presença de campo magnético na faixa de 0,5 Hertz

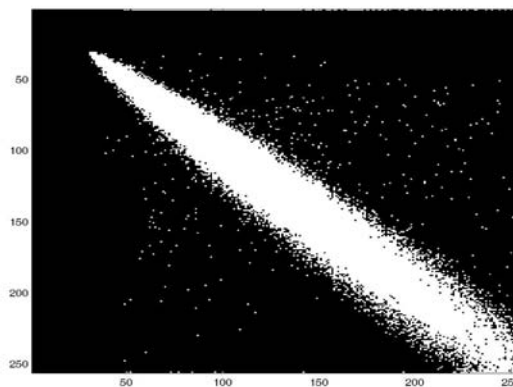


Figura 21a: Padrão de MOC formado ao iluminar glicerina com partículas de aço na presença de campo magnético na faixa de 1,0 Hertz.

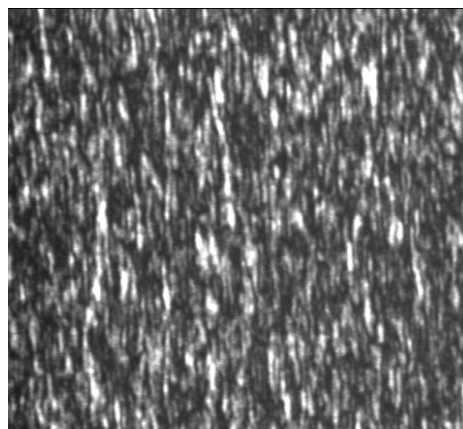


Figura 21b:. Padrão de STS formado ao iluminar glicerina com partículas de aço na presença de campo magnético na faixa de 1,0 Hertz.

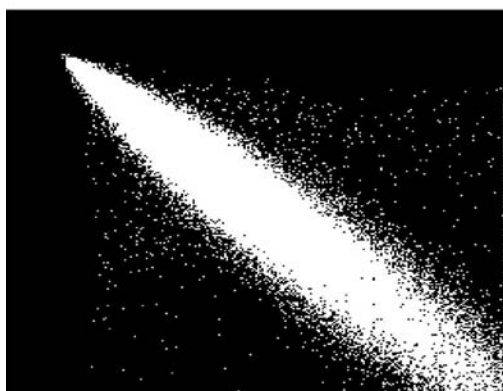


Figura 22a: Padrão de MOC formado ao iluminar glicerina com partículas de aço na presença de campo magnético na faixa de 2,0 Hertz.

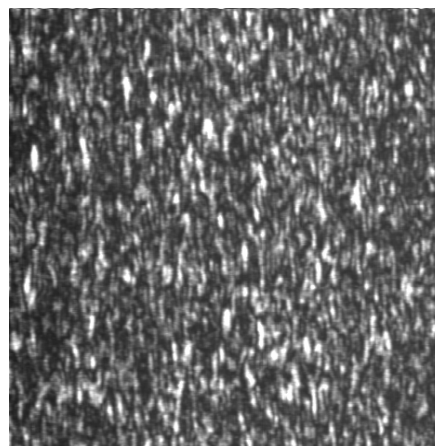


Figura 22b:. Padrão de STS formado ao iluminar glicerina com partículas de aço na presença de campo magnético na faixa de 2,0 Hertz

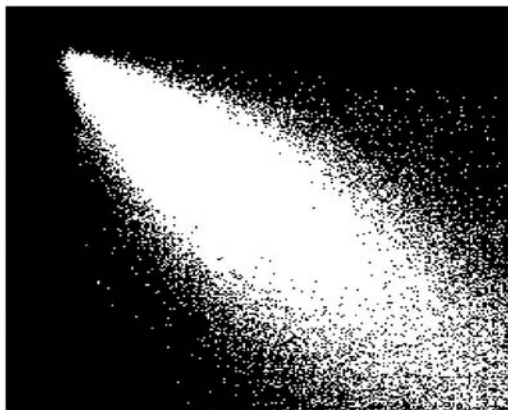


Figura 23a: Padrão de MOC formado ao iluminar glicerina com partículas de aço na presença de campo magnético na faixa de 5,0 Hertz

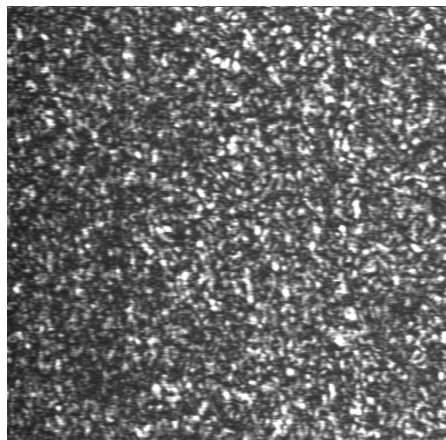


Figura 23b: Padrão de STS formado ao iluminar glicerina com partículas de aço na presença de campo magnético na faixa de 5,0 hertz

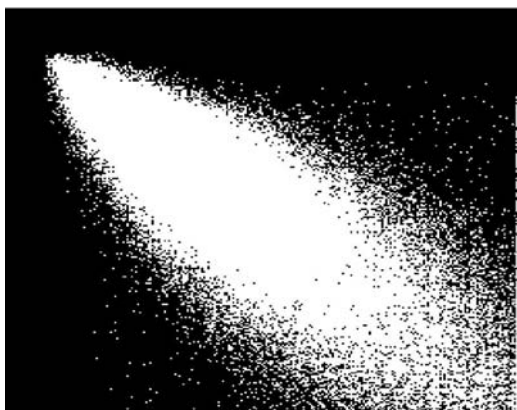


Figura 24a: Padrão de MOC formado ao iluminar glicerina com partículas de aço na presença de campo magnético na faixa de 10,0 Hertz

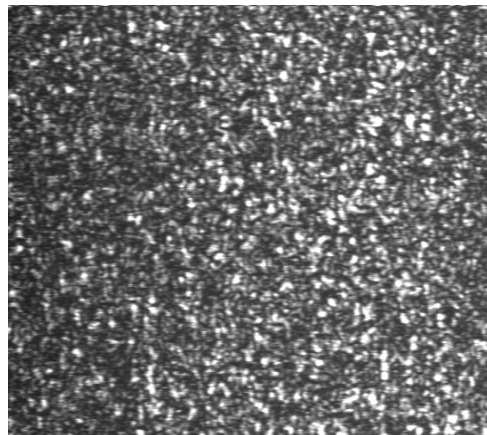


Figura 24b: Padrão de STS formado ao iluminar glicerina com partículas de aço na presença de campo magnético na faixa de 10,0 hertz

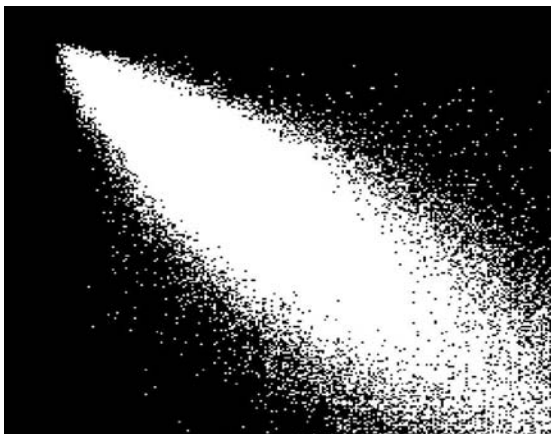


Figura 25a: Padrão de MOC formada ao iluminar glicerina com partículas de aço na presença de campo magnético na faixa de 20,0 Hertz

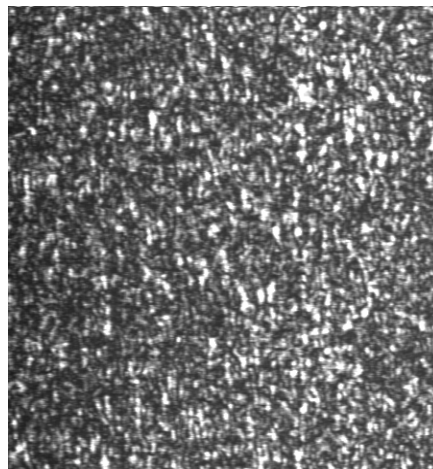


Figura 25b: Padrão de STS formada ao iluminar glicerina com partículas de aço na presença de campo magnético na faixa de 20,0 hertz.

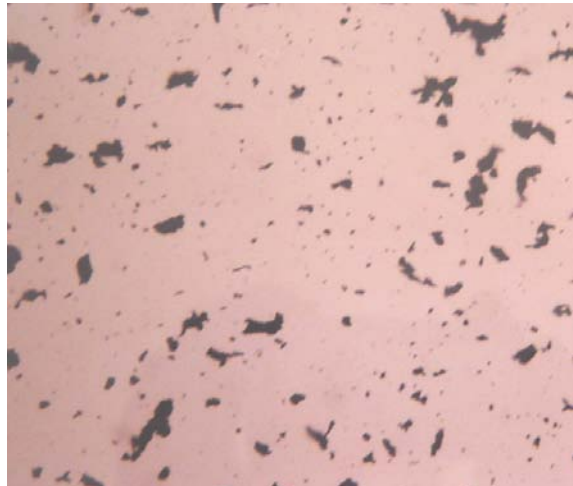


Figura 26. Forma da partícula de aço usada no sistema particulado

### 5.3 Simulação do movimento browniano com Padrão STS

As Padrão (figuras) a seguir foram geradas de Padrão STS e MOC de sementes de feijão com diferentes teores de água, a partir do programa **ImageJ** e pela equação  $dX_t = -\mu(X_t - X_0)dt + \sigma X_t dW_t$  solucionada numericamente, utilizando-se o um modelo EULER modificado, proposta por de YANNIOS (2004) .

A solução de Padrão **STS** geradas de materiais biológicos, quando processadas numericamente, apresentaram padrões de curvas totalmente aleatórias, fato que pode ser observado nas Padrão (27a; 28a, 29a, 30a, 31a, 32a, 33a, 34a, 35a, 36a), não evidenciando nenhum padrão de comportamento, mesmo ao comparar sementes de diferentes teores de água. Quando se toma a derivada do movimento browniano, o ruído gaussiano, pelo programa **ImageJ**, pode ser observado que as curvas apresentadas ao tratar as Padrão de STS mostram a presença de “picos” mais elevados quando a amostra possui maior teor de água, Figuras (27b; 28b, 29b, 30b, 31b, 32b, 33b, 34b, 35b, 36b),. O ruído gaussiano é representado por histograma que leva em consideração a intensidade de cada pixel em relação à distância de um ponto central. O histograma representa a distribuição da intensidade dos pixels que compõem o **STS**. A abscissa representa a distância do pixel em relação a um ponto central e a ordenada representa a intensidade dos pixels. Pegando-se as Padrão de STS e obtendo-se o MOC das Padrão, pode-se observar claramente a relação entre umidade e a forma da curva obtida ao tratar as Padrão MOC pelo programa **ImageJ**. Pode-se ainda dizer que as Padrão **MOC** não retratam o movimento browniano. Quando a análise das Padrão **STS** for pela simulação do movimento browniano, as curvas não trazem informações sobre o material. Porém, ao trabalhar com a derivada do movimento browniano, existem parâmetros para diferenciar níveis de atividades em sementes. Todavia, o que se mostrou mais eficaz foi a análise das Padrão **MOC** (27c; 28c, 29c, 30c, 31c, 32c, 33c, 34c, 35c, 36c),, mas deve-se tomar cuidado, pois não se sabe quais informações são perdidas. Como se sabe, as Padrão **MOC** são obtidas pelas Padrão **STS**. A aplicação de um filtro para diminuir a aleatoriedade é recomendada por PAJUELO (2003). É necessário um estudo mais detalhado das Padrão **STS** para verificar quais informações são perdidas quando os filtros são aplicados. Essas informações podem assumir vital importância na análise da bioatividade de tecidos vegetais ou de sistemas articulados.

As figuras do ANEXO II apresentam resultados da simulação do movimento browniano a partir das Padrão obtidas de ensaios com o sistema particulado. Pode-se observar que as curvas obtidas das Padrão **STS** não obedecem a nenhum padrão, apresentando comportamentos totalmente aleatórios. Caso semelhante é retratado quando se aplica a derivada do movimento browniano nas Padrão **STS**. Mesmo ao aplicar a derivada do movimento browniano nas Padrão **MOC** do ensaio com o sistema particulado, não ocorreu um padrão como ocorreu no material biológico. Houve uma diminuição da aleatoriedade, mas, mesmo assim, não se pode identificar alguma lógica de comportamento. Isto pode ser atribuído à ocorrência de movimento browniano no sistema. O movimento browniano, gerado pela agitação das moléculas do líquido, não é afetado pelo campo magnético, por mais intenso que seja esse campo.

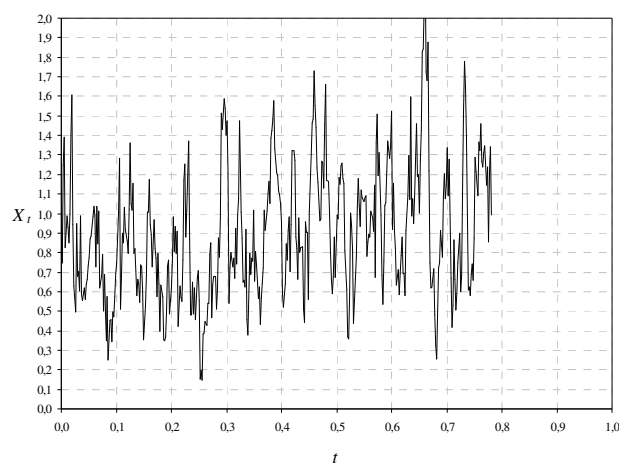


Figura 27a: Simulação do movimento browniano das Padrão de STS, formadas ao iluminar semente de feijão *Phaseolus vulgaris* L., com umidade próxima a 11% bu



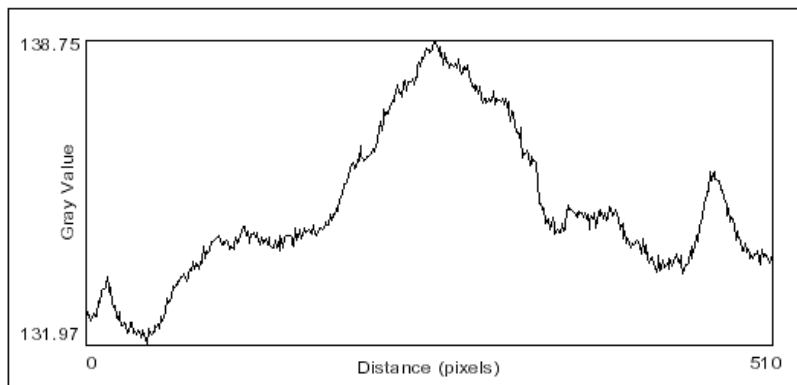


Figura 27b:.. Efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de STS, geradas de uma semente de feijão *Phaseolus vulgaris* L., com umidade próxima a 11% bu

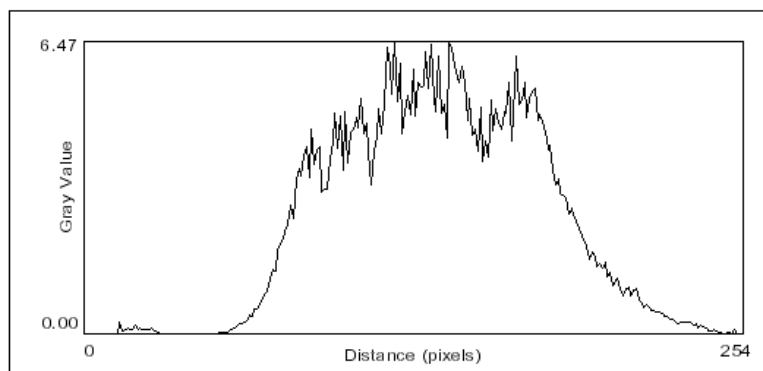


Figura 27 c. Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de MOC, geradas de uma semente de feijão *Phaseolus vulgaris* L., com umidade próxima a 11% bu

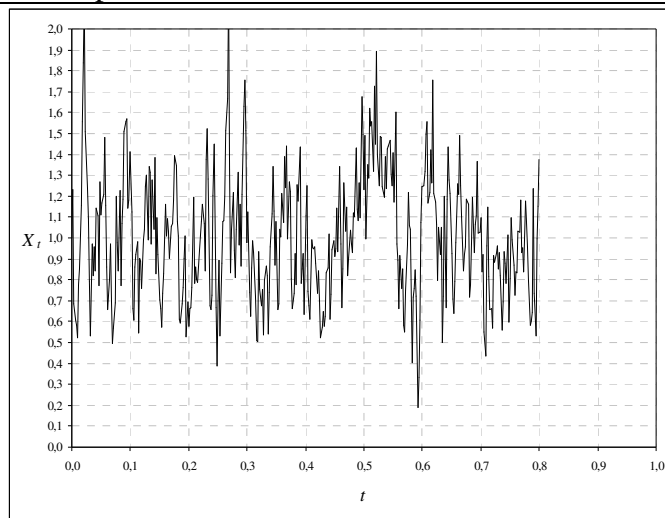


Figura 28a:.. Simulação do movimento browniano das Padrão de STS, formadas ao iluminar semente de feijão *Phaseolus vulgaris* L., com umidade próxima a 13% bu

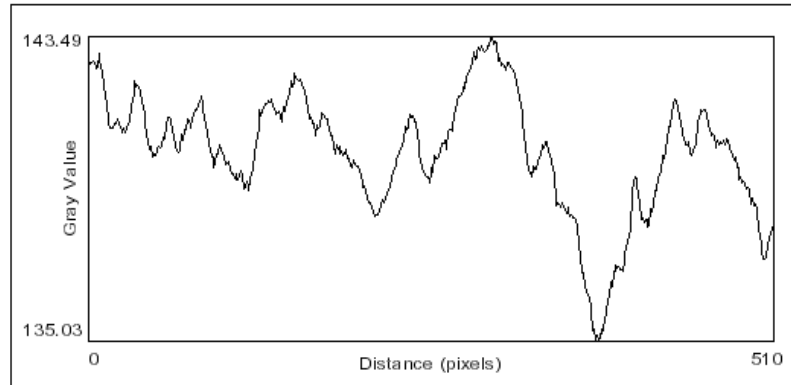


Figura 28 b:. Efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de STS, geradas de uma semente de feijão *Phaseolus vulgaris* L., com umidade próxima a 13% bu.

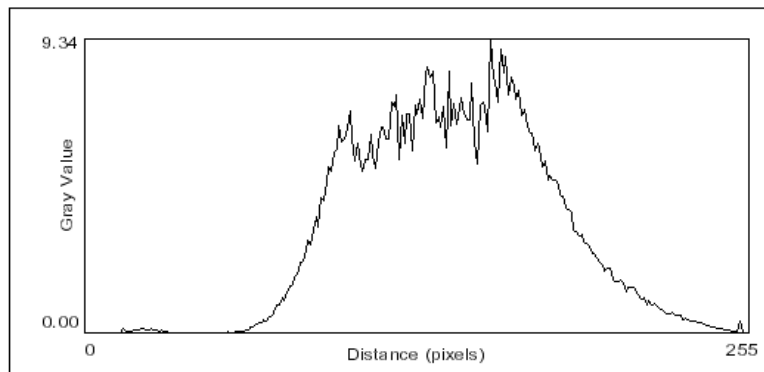


Figura 28 c:. Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de MOC, geradas de uma semente de feijão *Phaseolus vulgaris* L., com umidade próxima a 13% bu.

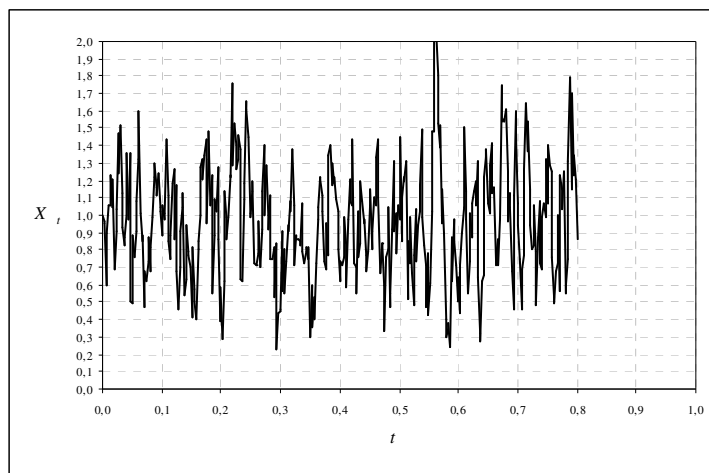


Figura 29 a:. Simulação do movimento browniano das Padrão de STS, formadas ao iluminar semente de feijão *Phaseolus vulgaris* L., com umidade próxima a 15% bu

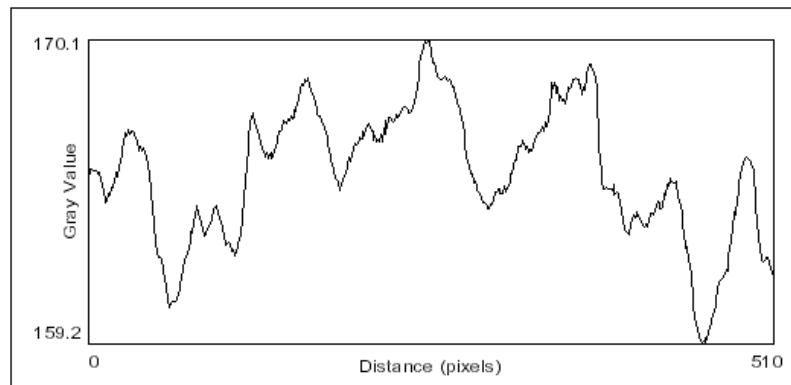


Figura 29 b. Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de STS, geradas de uma semente de feijão *Phaseolus vulgaris* L., com umidade próxima a 15% bu.

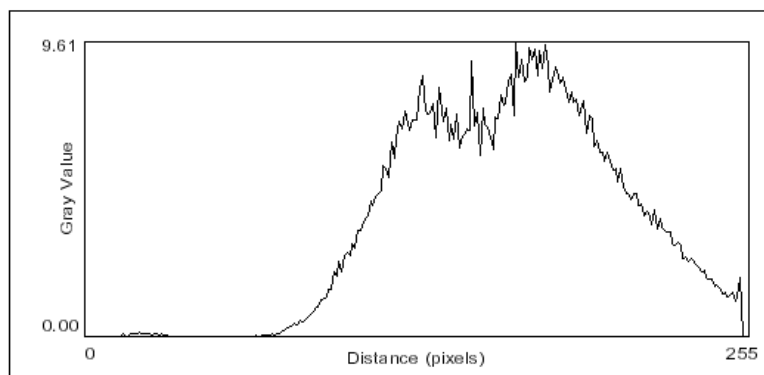


Figura 29 c: Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de MOC, geradas de uma semente de feijão *Phaseolus vulgaris* L., com umidade próxima a 15% bu.

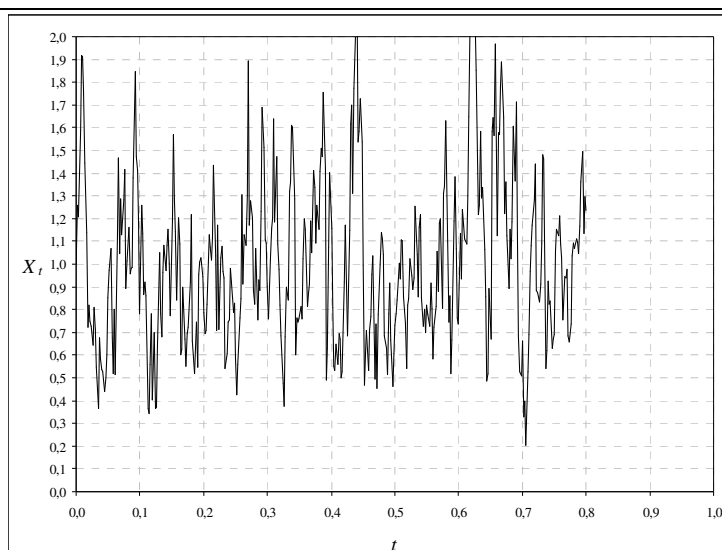


Figura 30 a: Simulação do movimento browniano das Padrão de STS, formadas ao iluminar semente de feijão *Phaseolus vulgaris* L., com umidade próxima a 17% bu

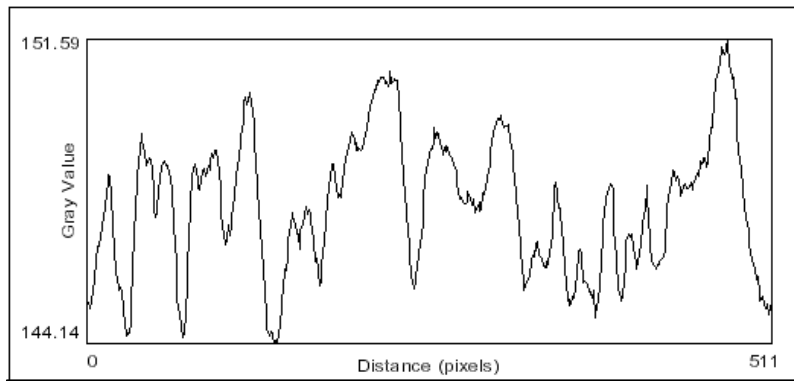


Figura 30 b: Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de STS, geradas de uma semente de feijão *Phaseolus vulgaris* L., com umidade próxima a 17% bu.

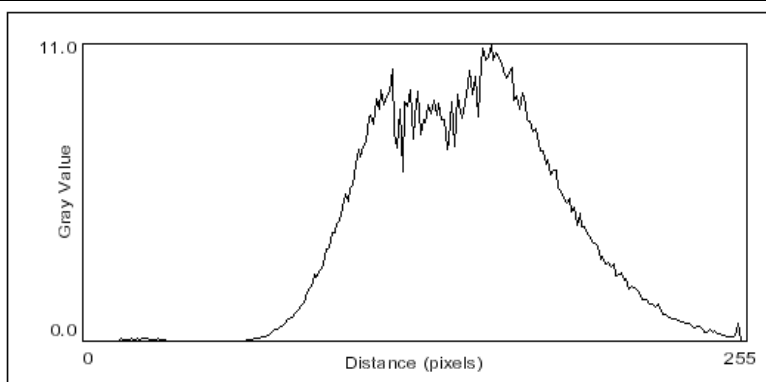


Figura 30 c: Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de MOC, geradas de uma semente de feijão *Phaseolus vulgaris* L., com umidade próxima a 17% bu.

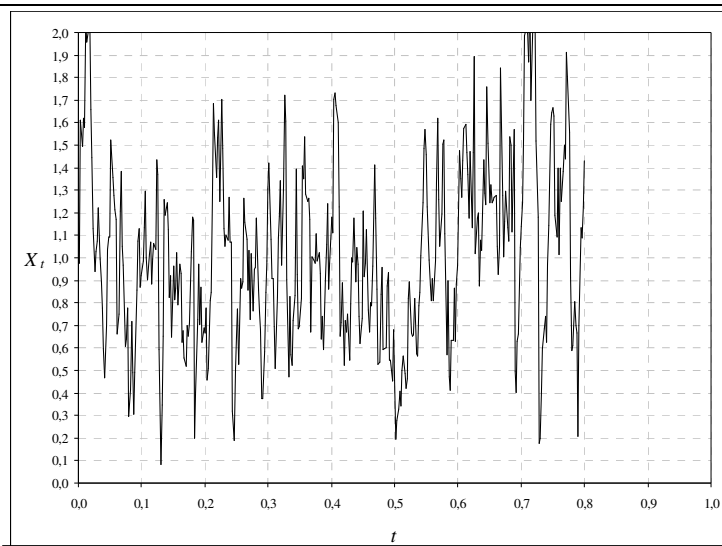


Figura 31 a: Simulação do movimento browniano das Padrão de STS, formadas ao iluminar semente de feijão *Phaseolus vulgaris* L., com umidade próxima a 19% bu

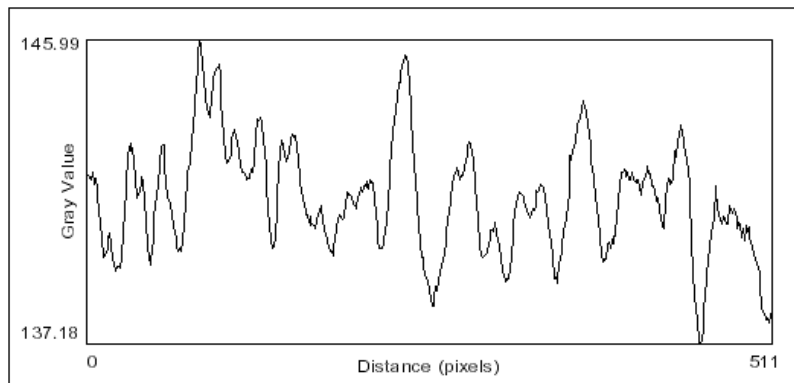


Figura 31 b: Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de STS, geradas de uma semente de feijão *Phaseolus vulgaris* L., com umidade próxima a 19% bu.

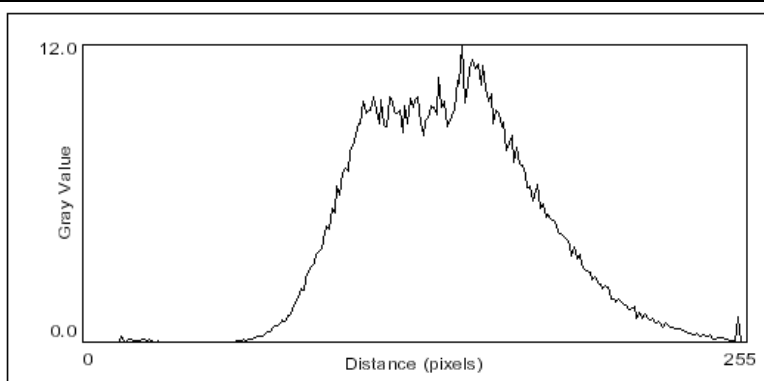


Figura 31 c: Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de MOC, geradas de uma semente de feijão *Phaseolus vulgaris* L., com umidade próxima a 19% bu

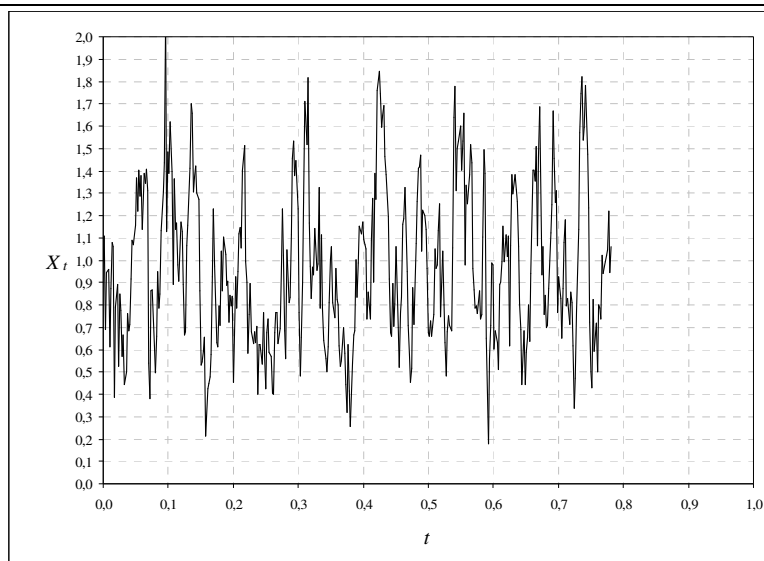


Figura 32 a: Simulação do movimento browniano das Padrão de STS, formadas ao iluminar semente de feijão *Phaseolus vulgaris* L., com umidade próxima a 21% bu

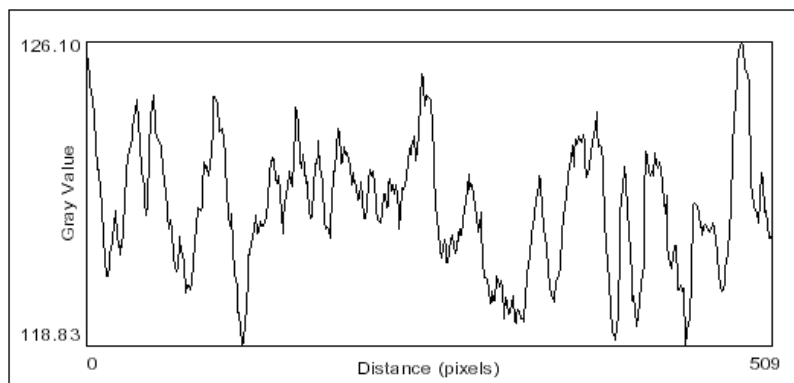


Figura 32 b: Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de STS, geradas de uma semente de feijão *Phaseolus vulgaris* L., com umidade próxima a 21% bu

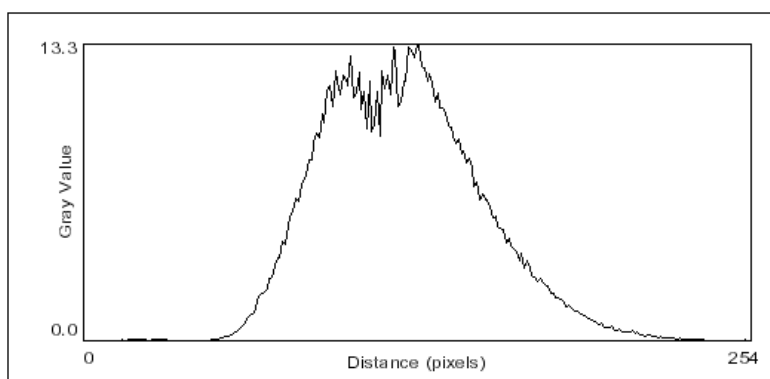


Figura 32c: Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de MOC, geradas de uma semente de feijão *Phaseolus vulgaris* L., com umidade próxima a 21% bu.

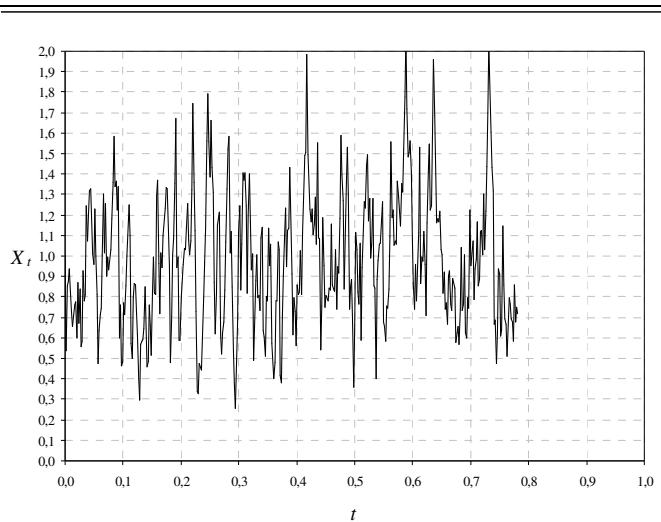


Figura 33 a: Simulação do movimento browniano das Padrão de STS, formadas ao iluminar semente de feijão *Phaseolus vulgaris* L., com umidade próxima a 23% bu

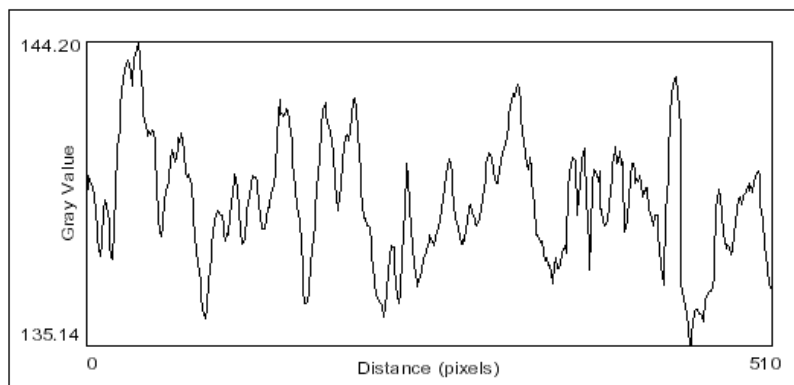


Figura 33 b: Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de STS, geradas de uma semente de feijão *Phaseolus vulgaris* L., com umidade próxima a 13% bu

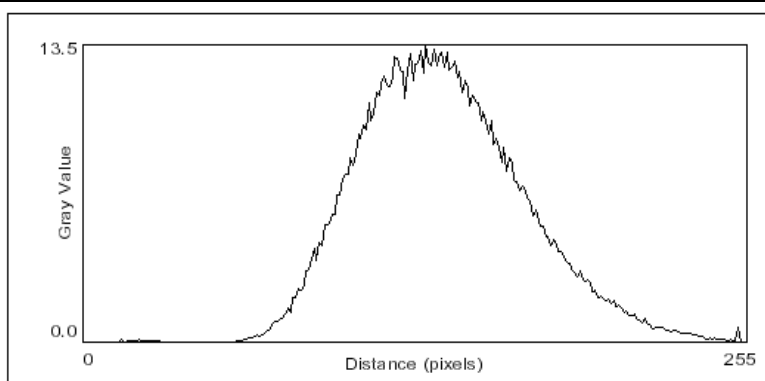


Figura 33 c: Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de MOC, geradas de uma semente de feijão *Phaseolus vulgaris* L., com umidade próxima a 23% bu.

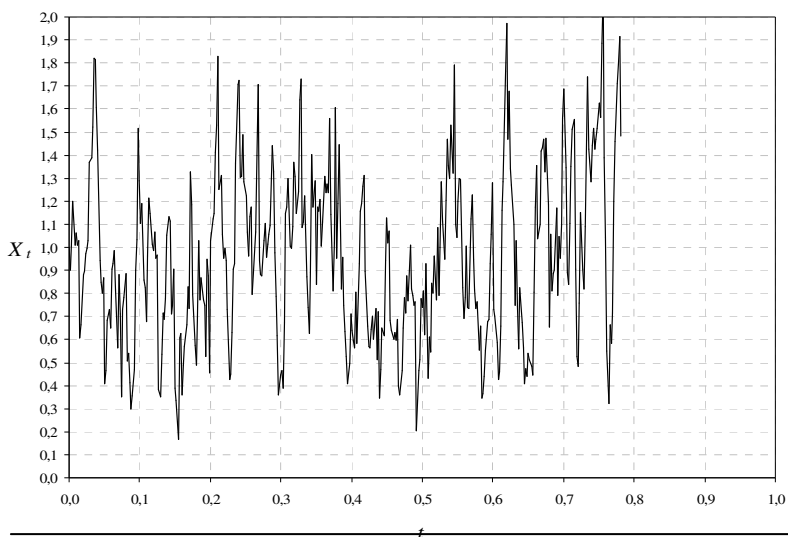


Figura 34 a: Simulação do movimento browniano das Padrão de STS, formadas ao iluminar semente de feijão *Phaseolus vulgaris* L., com umidade próxima a 25% bu

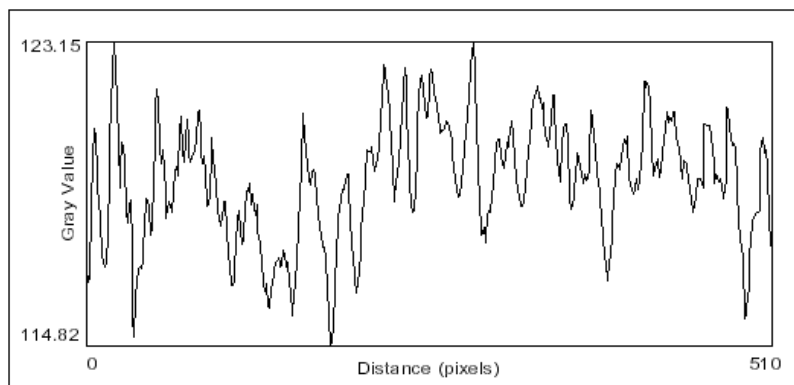


Figura 34 b: Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de STS, geradas de uma semente de Feijão *Phaseolus vulgaris* L., com umidade próxima a 25% bu

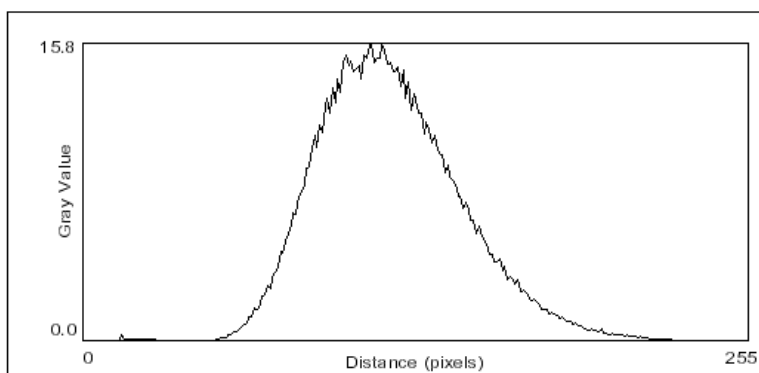


Figura 34 c: Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de MOC, geradas de uma semente de feijão *Phaseolus vulgaris* L., com umidade próxima a 25% bu.

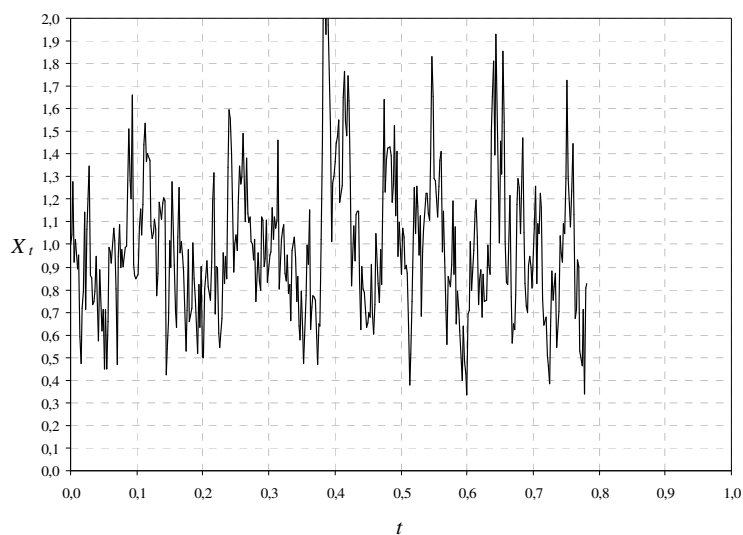


Figura 35 a: Simulação do movimento browniano das Padrão de STS, formadas ao iluminar semente de feijão *Phaseolus vulgaris* L., com umidade próxima a 27% bu



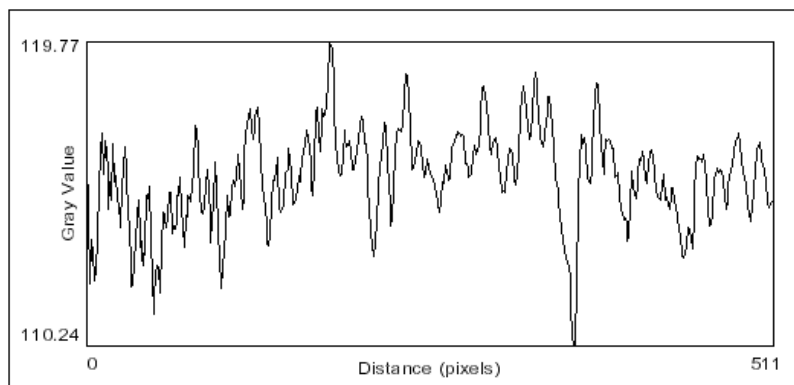


Figura 35 b: Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de STS, geradas de uma semente de feijão *Phaseolus vulgaris* L., com umidade próxima a 27% bu

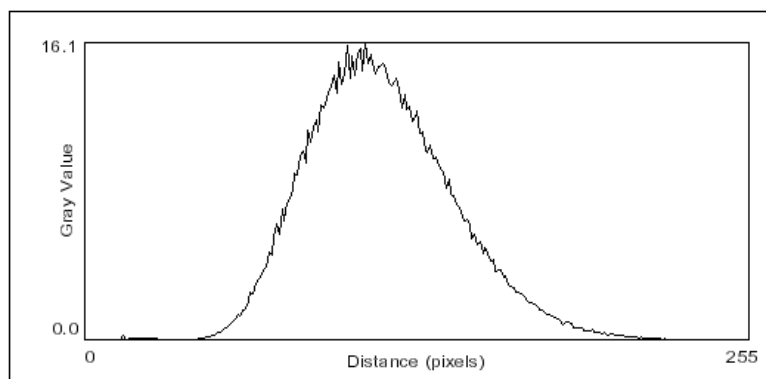


Figura 35 c: Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de MOC, geradas de uma semente de feijão *Phaseolus vulgaris* L., com umidade próxima a 27% bu.

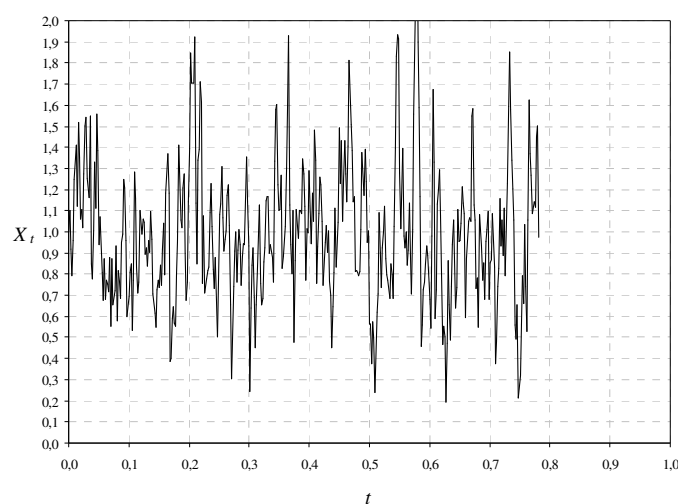


Figura 36 a: Simulação do movimento browniano das Padrão de STS, formadas ao iluminar semente de feijão *Phaseolus vulgaris* L., com umidade próxima a 29% bu

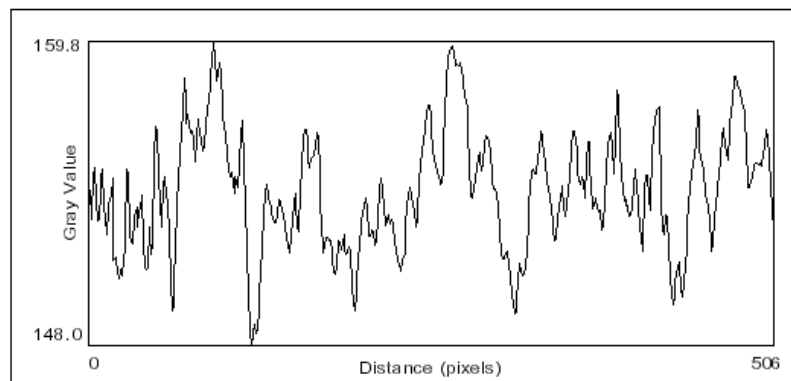


Figura 36 b: Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de STS, geradas de uma semente de feijão *Phaseolus vulgaris* L., com umidade próxima a 29% bu

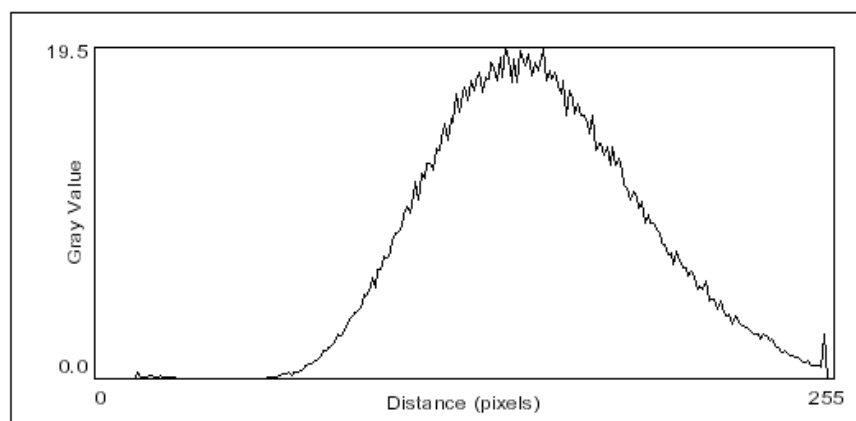


Figura 36 c: Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de MOC, geradas de uma semente de feijão *Phaseolus vulgaris* L., com umidade próxima a 29% bu.

## VI. CONCLUSÕES

Baseado no que foi anteriormente exposto, podem-se extrair as conclusões que se seguem.

Os resultados mostraram que a entropia pode fornecer subsídios à análise de Padrão de *speckle* dinâmico, desde que se trabalhe com Padrão **MOC**. A entropia foi capaz de quantificar Padrão **STS**, porém, os resultados não foram condizentes com os níveis de atividade do material em análise.

As Padrão **STS** revelam uma grande influência da aleatoriedade dos pixels que as compõem, dificultando suas respectivas quantificações.

As Padrão **STS** revelam um comportamento browniano, tornando difícil sua quantificação.

As Padrão **MOC** perdem a aleatoriedade exibida pelo **STS**, porém, não se tem controle das informações perdidas.

Os gráficos exibidos pelo ruído gaussiano de Padrão **MOC** apresentam diferenças distintas entre *biospeckle* de sementes e biospeckle da simulação do movimento browniano no sistema particulado.

## VII. TRABALHOS FUTUROS.

Futuros temas relacionados a este tópico acenam para a ocorrência de frequências mais elevadas, aproximando-se do nível de terahertz. Sistemas particulados ganharão novas perspectivas e ênfase, visto que o controle de frequência permitirá um estudo mais detalhado dos métodos propostos para a quantificação da bioatividade. Também se faz necessária a identificação de sistemas de aquisição de dados capazes de registrar frequências elevadas. As perdas de informações ocorridas na transformação de **STS** para **MOC** deverão ser esclarecidas, bem como devidamente avaliadas. Propostas de modelos baseados em *wavelets*, bem como equacionamentos baseados na entropia e cálculo estocástico terão maior ênfase.

## VII BIBLIOGRAFIA

ALBERTAZZI JR, A. ; SEARA, R. ; ULIANA, P. B. **Filtering Algorithm For Noise Reduction In Phase-Map Images With 2p Phase Jumps.** *Applied Optics*, v. 3, n. 11, p. 2046-2050, 1998.

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

G. A. Baxes; “**Digital Image Processing (Principles and Applications)**”; John Wiley & Sons, Inc.; 1994.

BERGKVIST, A. **Biospeckle-based study of the line profile of light scattered in strawberries.** Faculty of Technology at Lund University, 1997, 60 p. (MSc. Thesis)

BLANCO, S.; FIGLIOLA, A.; QIAN QUIROGA, R.; ROSSO, O.; SERRANO, E. **Phys Rev.** Ed. 57 (1998) 932.

BLANCO, S.; QIAN QUIROGA, R.; ROSSO, O.; KOCHEN, S. **Phys. Rev.** E 51 (1995) 2624.

BRAGA JR., R.A... **Seeds characterization by dynamic speckle patterns: a proposal. In: Environmental and Industrial Sensing Conference**, 2000, Boston. [1] *Anais...* Boston: SPIE, 2000, 1 CD Rom.

BRAGA JR., R.A. **Bio-Speckle: Uma contribuição para o desenvolvimento de uma tecnologia aplicada à análise de sementes.** Campinas: UNICAMP/FEAGRI, 2000. 126p. (Tese de Doutorado).

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Regras de análise de sementes.** Brasília: SND/CLAV, 1992. 365p.

BRIERS, J. D. Speckle fluctuations and biomedical optics: implications and applications. **Optic Engineering**, v. 32, p. 277-83, 1993.

DAUBECHIES, I., **Ten Lectures on Wavelets**, SIAM, Philadelphia, 1992.

DAINTY, J. L. Laser speckle and related phenomena. **Topics in Applied Physics Press**. 1991, p. 129.

EINSTEIN, ALBERT. **Investigations on the theory of the Brownian movement** / by Albert Einstein ; transl. by A. D. Cowper. -New York : Dover, 1956.

ENES, A. M. ; RABELO, G. F.; BRAGA JÚNIOR, R. A.; RODRIGUES, S. **Utilização do Laser aplicado na Dierenciação de Tecidos Vivos e Mortos em Sementes**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 4., 2004, São Pedro. Anais... Campinas: UNICAMP-FEAGRI, 2004. CD.

FRANÇA NETO, J.B. Teste de tetrazólio. **Seed News**, Pelotas, n.4 p. 12, 1998.

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

GONZALEZ, R., WOODS, P. **Digital Image Processing**. Prentice Hall. 2002. 2nd Ed.

HULL, J. C. **Options, futures, and other derivative securities**. Prentice Hall, 1993.

JAIN, A. K., **Fundamentals of digital image processing**, Prentice-Hall Inc., p. 267 a 400, 1989.

KARATZAS i.; SHREVE, S. E.. **Brownian Motion and stochastic Calculus**.2<sup>nd</sup> ed. Springer. Nova York, 1991.

KLOEDEN, P. E.; PLATEN, E. and SCHURZ, H. **Numerical Solution of sde Through Computer Experiments**. Springer, Verlag, 1994

KRZYŻANOWSKI. F.C., FRANÇA NETO, J.B. Situação atual do uso de testes de vigor como rotina em programas de sementes no Brasil. **Informativo ABRATES**, Londrina, v.1 n.3, p.42-53, 1991.

LOPES, L. M.; CONSULARO, L. A.; RBFN, A. **Perceptive Model for Image Thresholding**, *Proc. of SIBGRAPI*, pp 225-232, 2005

MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In; KRZYZANOWSKI. F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.) **Vigor de sementes: Conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. p.3 (1-24).

MOORE, R.P. **Tetrazolium seed testing**. Zürich, Switzerland: ISTA, 1985. 99p.

MOORE, R.P. Tetrazolium testing of seed peanuts. **Oléagineux**, Montpellier, v.27, n.(8-9), p433-437, 1972.

MURAMATSU, M ; EIJU, T. ; SHIRAI, T. ; MATSUDA, K. . **Application of a liquid crystal spatial light modulation to optical roughness measurements by holographic interferometry using two refractive indices**. **optics and laser technology**, v. 29, p. 271-273, 1997.

MURAMATSU, M ; BARBOSA, e A . MAPPING OF VIBRATIONS AMPLITUDES BY TIME AVERAGE HOLOGRAPHY EN BSO CRYSTAL. **Optics Laser Technology**, v. 29, 1997.

NASCIMENTO, A. L.; **Biospeckle laser: uma contribuição para o desenvolvimento da técnica na avaliação da atividade biológica em meios fluido**. 2005. Dissertação (Mestrado) - UFLA, Lavras. 2005.

OULAMARA, A.; TRIBILLON G.; DUVERNOY J.; ARIZAGA, R.; TRIVI, M.R.; RABAL, H. J. Speckle time evolution characterization by co-occurrence matrix analysis. **Optics e Laser Technology**, v. 4-5, n.3, p.1-7, 1999.

PAGLIARDI, O.; DAL FABBRO, I. M.; RODRIGUES, S.. **Analogy between financial and physical models assisted by stochastic calculus**. In: Proceedings of the International Congress on Information Technology in Agriculture, Food and Environment, ITAFE05. (CD ROM) Vol. II, pp. 690-696, (ISBN 975-487-126-4). Balcali Campus, Çukurova University, Adana, Turkey, October 12-14, 2005.

PAJUELO, M.; BALDWIN, G.; RABAL, H.; CAP, N.; ARIZAGA R.; TRIVI M. Bio-speckle assessment of bruising in fruits. **Optics and Lasers in Engineering**, Volume 40, Issues 1-2 , July-August 2003, Pages 13-24

PERRIN, J, **Les atomes**. Réédition. Flammarion. Paris, 1991.

PERRY, D.A. **Handbook of vigour test methods**. Zürich: Ista, 1981. 72p

PIRES, A. S. T. **Phase diagram for the two-dimensional quantum anisotropic XY model.** *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, Amsterdam, v. 260, p. 397-399, 2003.

PAUL, D. **Deus e nova física.** Ed. 70, 1986.

POWELL G.E., PERCIVAL I.C. (1979) **A spectral entropy method for distinguishing regular and irregular motion of Hamiltonian systems.** *J Phys A: Math Gen* 12:2053-2071

PUZZI, D. Armazenamento de sementes. In: CÍCERO , S.M. MARCOS FILHO, J., SILVA, W.R. (Org.) **Atualização em Produção de Sementes.** Campinas: Fundação Cargill, 1986. p.183-199.

QUEIROZ, J. E. R.; GOMES, H. M.; **Revista de Informática Teórica e Aplicada - RITA •** Volume VIII. Número 1 . PAG 1 – 32. 2001

Rabelo, G. F. **Avaliação da aplicação do Speckle Dinâmico no Monitoramento da qualidade da laranja.** Campinas: UNICAMP/FEAGRI, 2000, 149p. (Tese de doutorado).

REVUZ, A. J. Heterogeneidade enunciativa. *Cad. Est. Ling.*, v. 19, p.25-42, 1990.

ROMERO, G. G. **Estudio y caracterizacion de patrones de speckle que varian en el tiempo.** Facultad de Ciencias Exactas, Departamento de Física, Universidad Nacional de Salta, Argentina, 1999, 133p. (Tesis de Doctorado).

RODRIGUES, S.; BRAGA JUNIOR R. A.; RABELO,G. F.; ENES, A. M.; BATISTA, C. A. M.; DAL FABBRO I. M.; RESENDE,O. **Efeito da umidade na determinação da atividade biológica de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), utilizando Padrão de speckle dinâmico.** *Revista Brasileira de Armazernamento.* v.30, n.2, p.135-139, Viçosa. 2005

RODRIGUES, S.; MORELLO, G.M.; DAL FABBRO, I. M.; RABELO, G. F.; ENES, A.M.. **Application of the dynamic speckle technique to seed viability analysis.** In: Proceedings of the International Congress on Information Technology in Agriculture, Food and Environment, ITAFE05. (CD ROM) Vol.II, pp. 777-780, (ISBN 975-487-126-4). Balcali Campus, Çukurova University, Adana, Turkey, October 12-14, 2005.



RODRIGUES, S.; BROSLER, T.M.; **DAL FABBRO, I. M.**; BRAGA JR, R.A.. **Application of a dynamic speckle technique in evaluating vegetative tissue vitality.** In: Proceedings of the International Congress on Information Technology in Agriculture, Food and Environment, ITAFE05. (CD ROM) Vol. II, pp.773-776, (ISBN 975-487-126-4). Balcali Campus, Çukurova University, Adana, Turkey, October 12-14, 2005.

RODRIGUES, S.; DAL FABBRO, I.M.; LUCON, I. M.; BRAGA JR, R.A.; ENES, A.M. **Frequency effect on the dynamical speckle of particles in suspension.** In: **Proceedings of the International Congress on Information Technology in Agriculture, Food and Environment**, ITAFE05. (CD ROM) Vol. II, pp. 493-496 , (ISBN 975-487-125-4). Balcali Campus, Çukurova University, Adana, Turkey, October 12-14, 2005.

RODRIGUES, S.; REBOLA, B.; DAL FABBRO, I.M.. **Application of a biospeckle technique to evaluate vegetative tissue mechanical properties and senescence.** In: Proceedings of the International Congress on Information Technology in Agriculture, Food and Environment, ITAFE05. (CD ROM) Vol.II, pp. 497-500, (ISBN 975-487-126-4). Balcali Campus, Çukurova University, Adana, Turkey, October 12-14, 2005.

RODRIGUES, S.; PAGLIARDI, O.; **DAL FABBRO, I.M.**; ALBIERO, D.; MURAMATSU, M.; SILVA, F. C.. **Brownian motion effect on the dynamical speckle of biological materials and stain drying process.** In: Proceedings of the International Congress of Agricultural Engineering, AgEng 2004 (ISBN 90-76019-258 D 2004/0277/4), (CD ROM)). Leuven, Belgium, september, 12 – 16, 2004.

RODRIGUES, S. **Análise do Biospeckle Laser na diferenciação de Tecidos Vivos e Mortos em Sementes.** Lavras: UFLA, 2003. 41 p. Tese de mestrado.

RODRIGUES, S; SANTOS, E. F.; BRAGAJÚNIOR, R. A.; RABELO, G. F.; CARVALHO, M. L. M.; BORÉM, F.M.; TRIVI, M. R.; DAL FABBRO, I. M.; SILVA A. Q. **Análise do Biospeckle Laser em Diferentes Sementes Utilizando Métodos de Processamento de Padrão.** Anais do XXXI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Salvador, BA. 2002. CD

ROSSO O.; BLANCO S.; YORDANOVA, J.; KOLEV, V.; FIGLIOLA, A.; SCHURMAN, M.; BASAR, E.; NEUROSC, J.. **Meth.** 105 (2001) 65.

RUTH, B., **Superposition of two dynamic speckle patterns. An application to noncontact blood flow measurements,** J. Mod. Opt. 34, 257-273 (1987).

SAKAMOTO, A. C. ; CABOCLO, L. ; GARZON, E. ; OLIVEIRA, P. ; CARRETE JR., H. ; CENTENO, R. ; BIANCHIN, M. ; YACUBIAN, E. **Correlation between temporal pole**

**MRI abnormalities and surface ictal EEG patterns in patients with unilateral mesial temporal lobe epilepsy.** Seizure (London), v. 16, p. 8-16, 2007.

Shimabukuro, Fabio R; Rodrigues, S; Dal Fabbro, I. M; Roque, M. W.; Gomes, E.; Mazetti, V. **Soil Moisture Content Determination by Means of a Dynamic Speckle Technique.**

SCAPPA NETO, A.; BITTENCOURT, S.R.M.; VIEIRA, R.D.; VOLPE, C.A. **Efeito do teor de água de sementes de feijão e da câmara no teste de envelhecimento acelerado.** Scientia Agrícola, v.58, n.4, p.747-751,2001.

SILVA, F. C. **Aplicação do *Speckle* Dinâmico para o Estudo do Processo de Secagem de Pintura.** São Paulo: USP, 2000. 67 p. Dissertação de mestrado.

SOUZA, Luis Eduardo de et al. Impacto do agrupamento preferencial de amostras na inferência estatística: aplicações em mineração. **Rem, Rev. Esc. Minas.**, Ouro Preto, v. 54, n. 4, 2001.

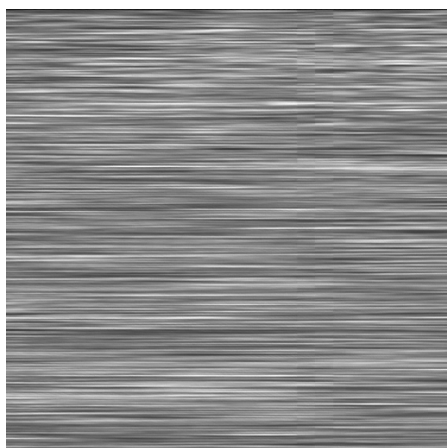
TEKRONY, D.M. Accelerated aging test conditions for hybrid corn seed. **Iowa Seed Science**, Ames, v.16 n.2, p.3-4, 1996.

TOMÉ, T; OLIVEIRA, J. M. **Dinâmica Estocástica e Irreversibilidade.** São Paulo: Editora Universidade de São Paulo, 2001. 242 pg.

XU, Z, JOENATHAN, C, KHORANA, B. M. **Temporal and spatial properties of the timevarying speckles of botanical specimens.** Optical Engineering, v. 34,n.5, p.1487 –1502, 1995.

YANNIOS, N. **Excel Worksheets for stochastic Finance.** University of Frankfurt.

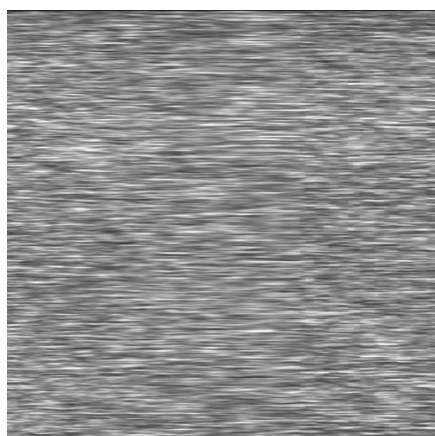
## ANEXOS



Anexo A.1. Padrão de STS formada ao iluminar sementes de feijão *Phaseolus vulgaris* L. com umidade próxima a 11% bu.



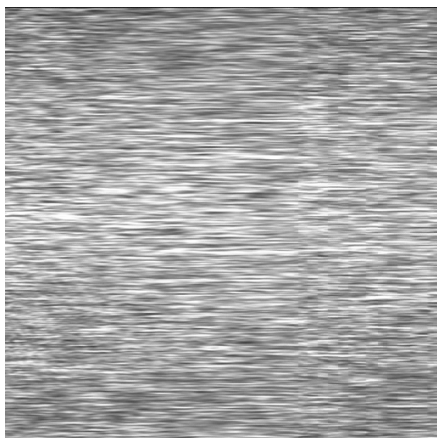
Anexo A.2. Padrão de MOC formada ao iluminar sementes de feijão *Phaseolus vulgaris* L. com umidade próxima a 11% bu.



Anexo A.3. Padrão de STS formada ao iluminar sementes de feijão *Phaseolus vulgaris* L. com umidade próxima a 13% bu.



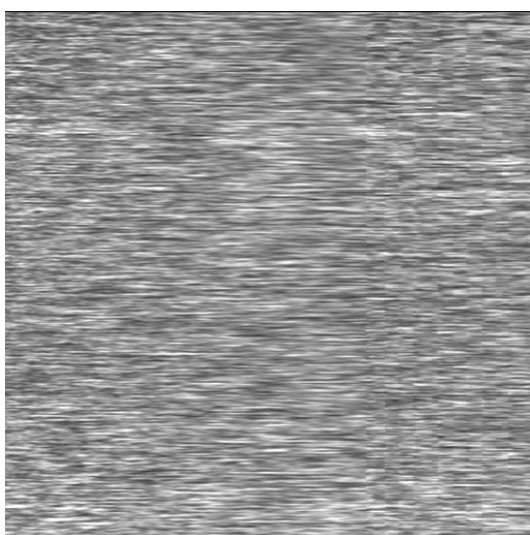
Anexo A.4. Padrão de MOC formada ao iluminar sementes de feijão *Phaseolus vulgaris* L. com umidade próxima a 13% bu.



Anexo A.5. Padrão de STS formada ao iluminar sementes de feijão *Phaseolus vulgaris* L. com umidade próxima a 15% bu.



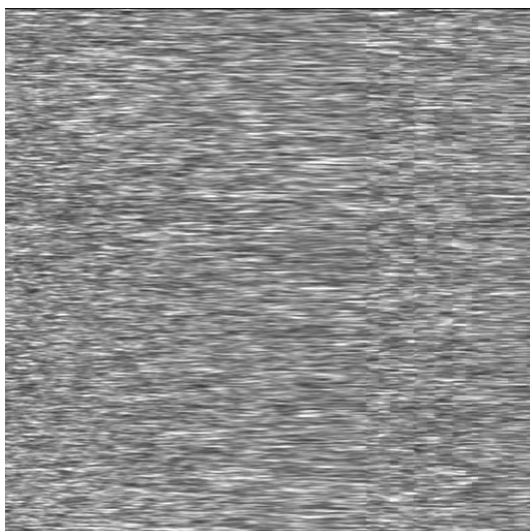
Anexo A.6. Padrão de MOC formada ao iluminar sementes de feijão *Phaseolus vulgaris* L. com umidade próxima a 15% bu.



Anexo A.7. Padrão de STS formada ao iluminar sementes de feijão *Phaseolus vulgaris* L. com umidade próxima a 17% bu.



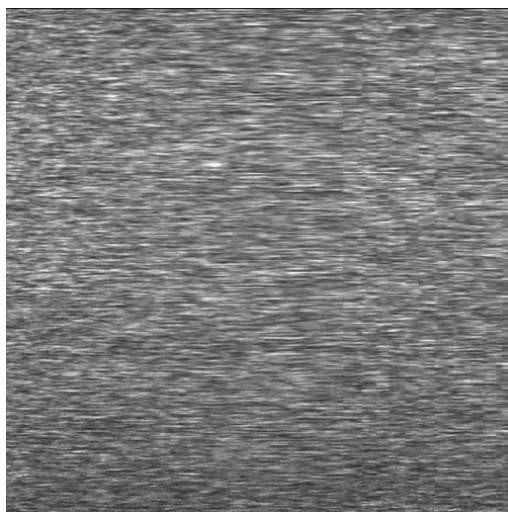
Anexo A.8. Padrão de MOC formada ao iluminar sementes de feijão *Phaseolus vulgaris* L. com umidade próxima a 17% bu.



Anexo A.9. Padrão de STS formada ao iluminar sementes de feijão *Phaseolus vulgaris* L. com umidade próxima a 19% bu.



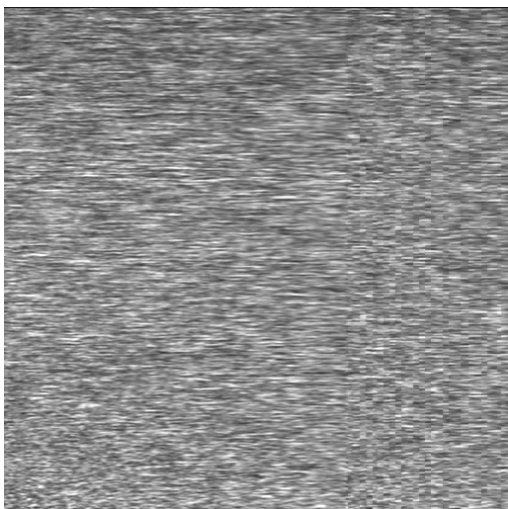
Anexo A.10. Padrão de MOC formada ao iluminar sementes de feijão *Phaseolus vulgaris* L. com umidade próxima a 19% bu.



Anexo A.11. Padrão de STS formada ao iluminar sementes de feijão *Phaseolus vulgaris* L. com umidade próxima a 21% bu.



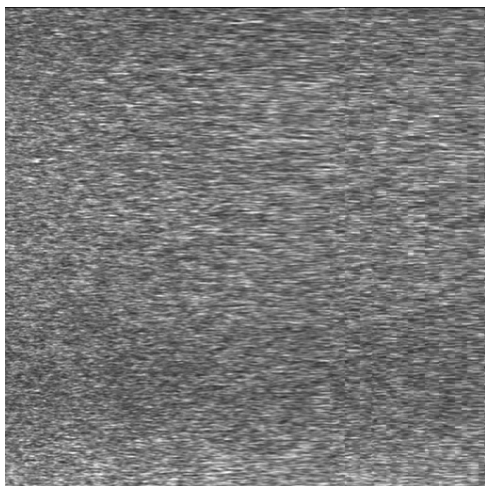
Anexo A.12. Padrão de MOC formada ao iluminar sementes de feijão *Phaseolus vulgaris* L. com umidade próxim a 21% bu.



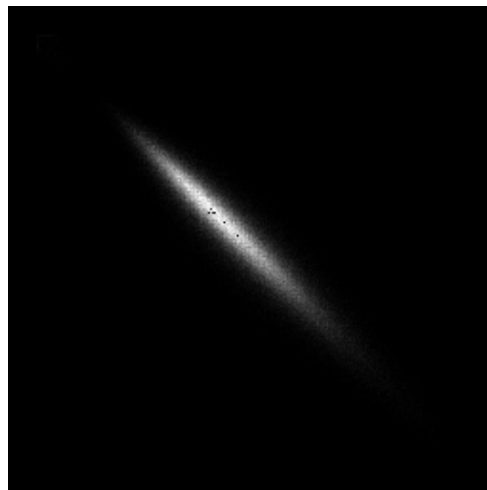
Anexo A.13. Padrão de STS formada ao iluminar sementes de feijão *Phaseolus vulgaris* L. com umidade próxima a 23% bu.



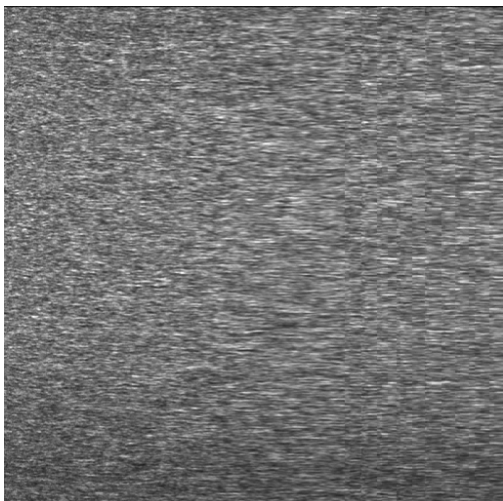
Anexo A.14. Padrão de MOC formada ao iluminar sementes de feijão *Phaseolus vulgaris* L. com umidade próxima a 23% bu.



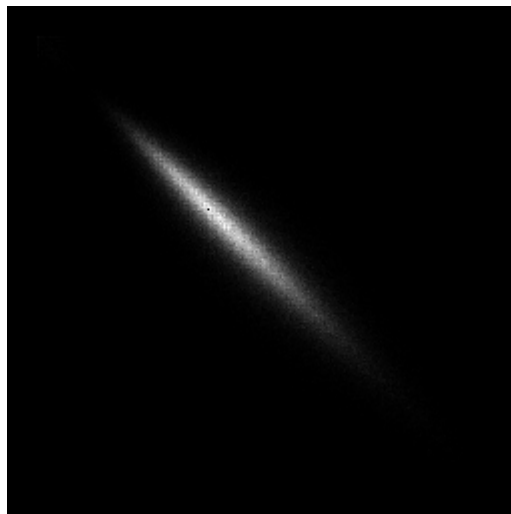
Anexo A.15. Padrão de STS formada ao iluminar sementes de feijão *Phaseolus vulgaris* L. com umidade próxima a 25% bu.



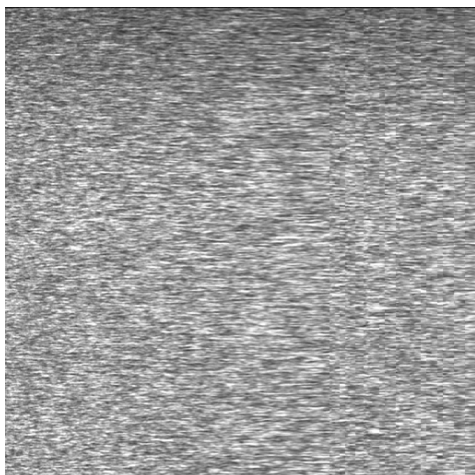
Anexo A.16. Padrão de MOC formada ao iluminar sementes de feijão *Phaseolus vulgaris* L. com umidade próxima 25% bu.



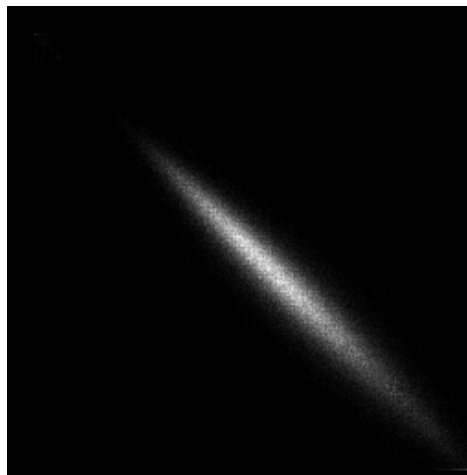
Anexo A.17. Padrão de STS formada ao iluminar sementes de feijão *Phaseolus vulgaris* L. com umidade próxima a 27% bu.



Anexo A.18. Padrão de STS formada ao iluminar sementes de feijão *Phaseolus vulgaris* L. com umidade próxima a 27% bu.

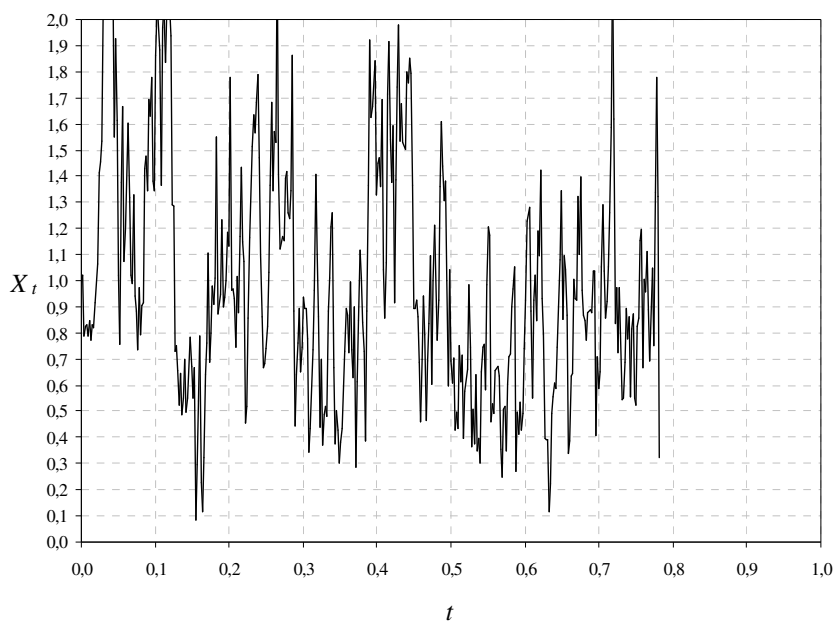


Anexo A.19. Padrão de STS formada ao iluminar sementes de feijão *Phaseolus vulgaris* L. com umidade próxima a 29% bu.

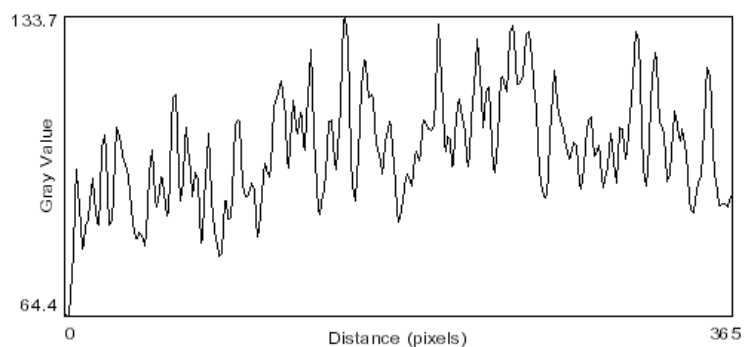


Anexo A.20. Padrão de STS formada ao iluminar sementes de feijão *Phaseolus vulgaris* L. com umidade próxima a 29% bu.

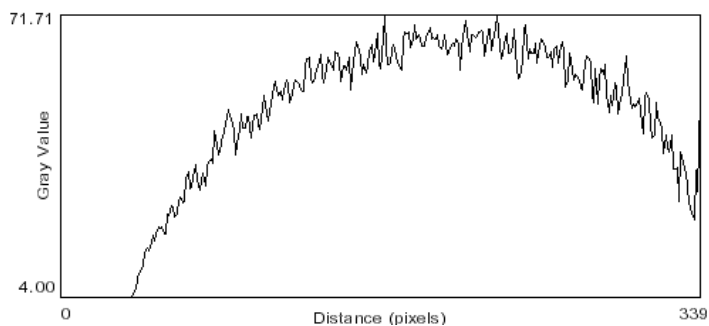
## ANEXO II



Anexo B 1. Simulação do movimento browniano das Padrão **STS**, geradas da exposição do sistema particulado em ausência de campo magnético



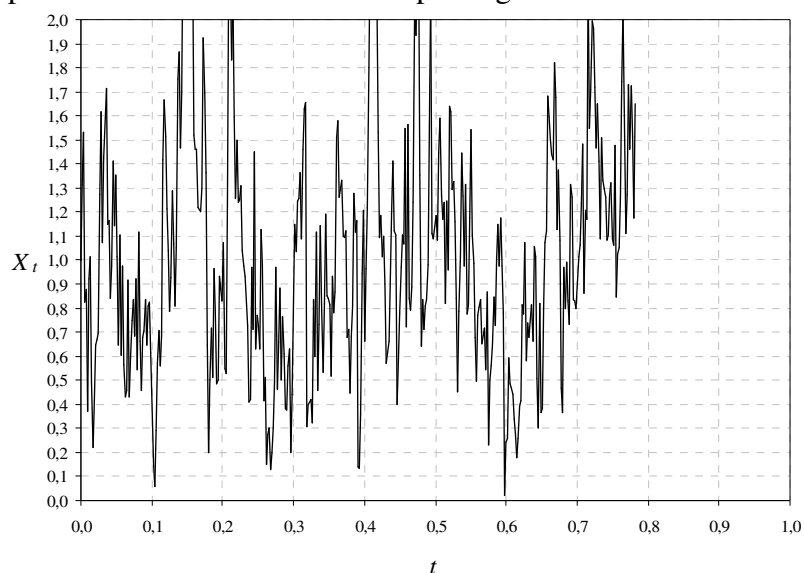
Anexo B 2. Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiled ImageJ das Padrão de STS, geradas da exposição do sistema particulado em ausência de campo magnético



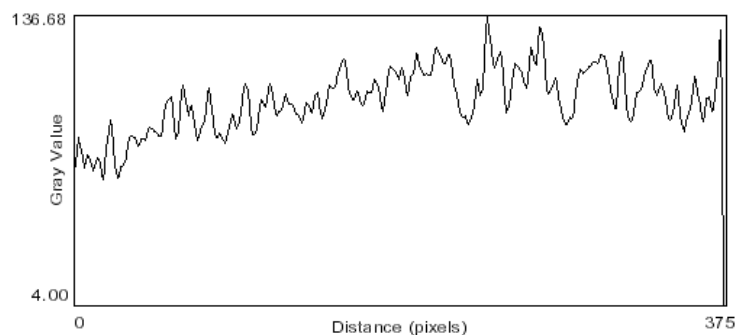
Anexo B 3. Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiled ImageJ das Padrão de MOC formadas, geradas da exposição do



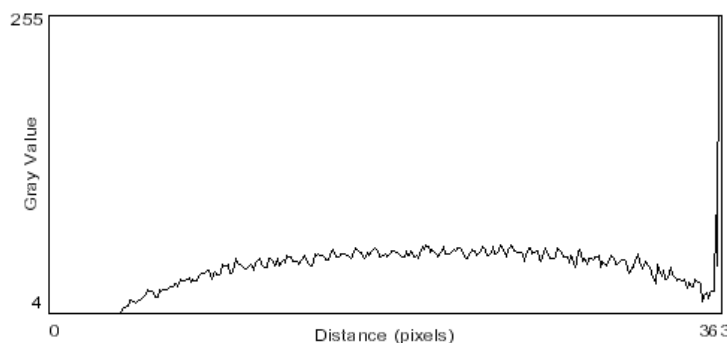
sistema particulado em ausência de campo magnético



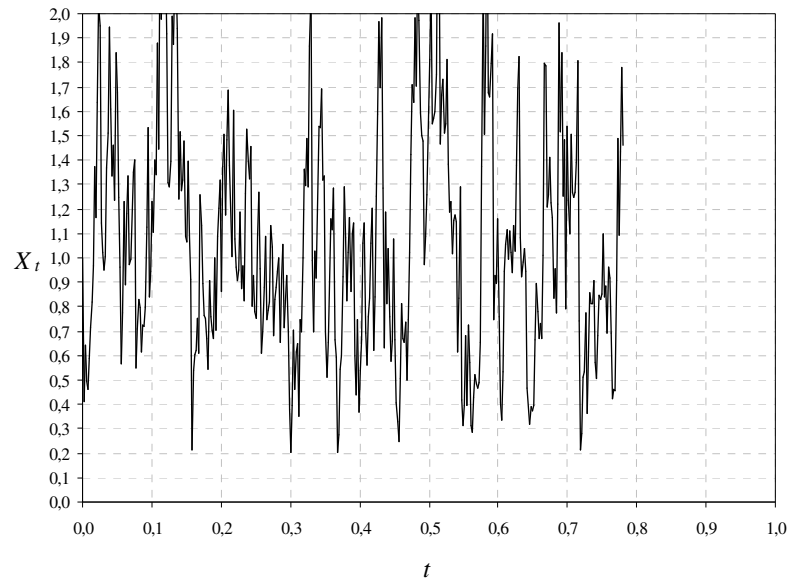
Anexo B 4. Simulação do movimento browniano das Padrão de STS, geradas da exposição do sistema particulado em presença de campo magnético de 0,5 hertz



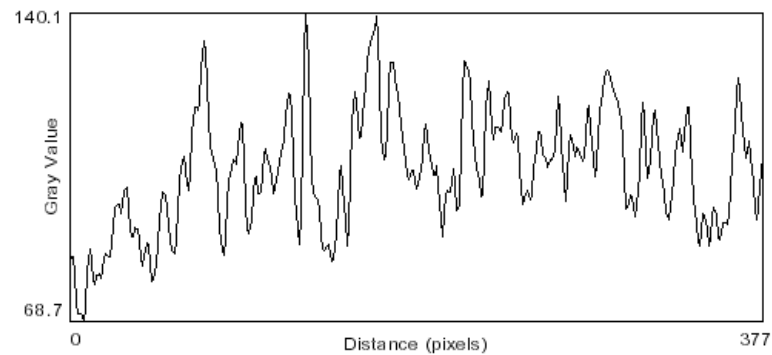
Anexo B 5. Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de STS, geradas da exposição do sistema particulado em presença de campo magnético na frequência de 0,5 hertz



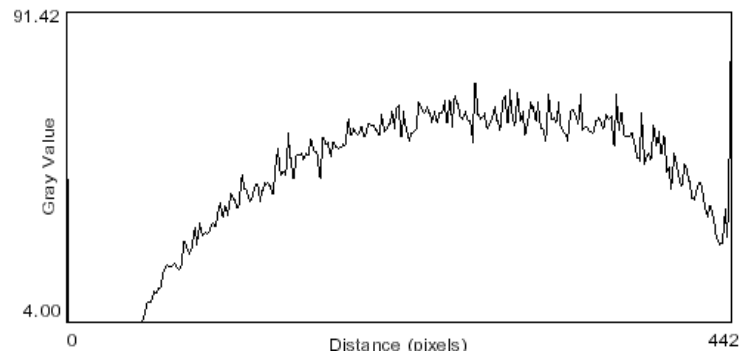
Anexo B 6. Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de MOC, geradas da exposição do sistema particulado em presença de campo magnético na frequência de 0,5 hertz



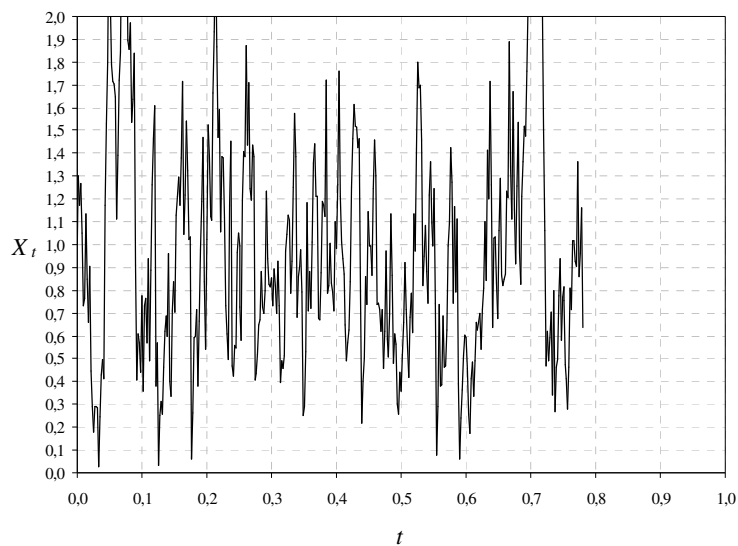
Anexo B 7. Simulação do movimento browniano das Padrão de STS, geradas da exposição do sistema particulado em presença de campo magnético de 1,0 hertz



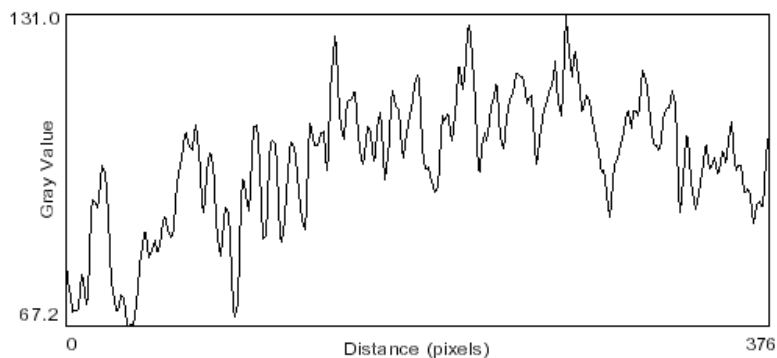
Anexo B 8. Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de STS, geradas da exposição do sistema particulado em presença de campo magnético na frequência de 1,0 hertz



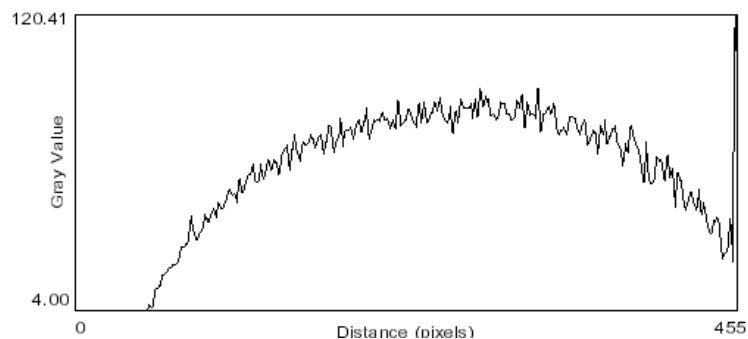
Anexo B 9. Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de MOC, geradas da exposição do sistema particulado em presença de campo magnético na frequência de 1,0 hertz



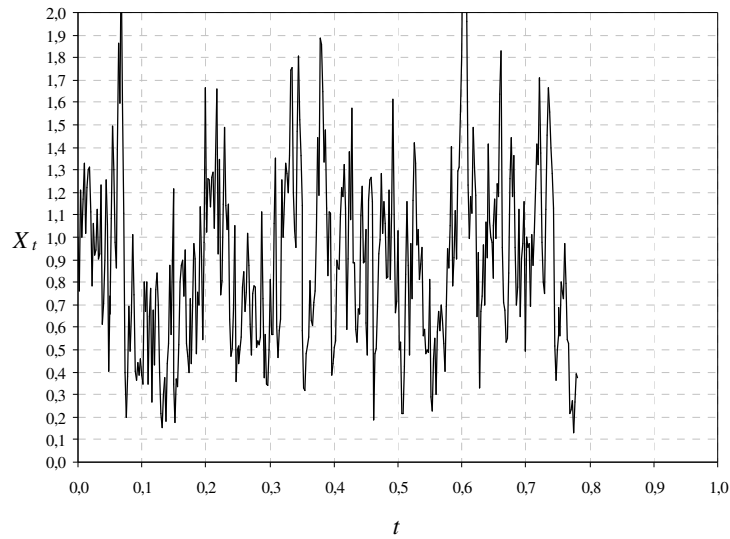
Anexo B 10. Simulação do movimento browniano das Padrão de STS, geradas da exposição do sistema particulado em presença de campo magnético de 2,0 hertz



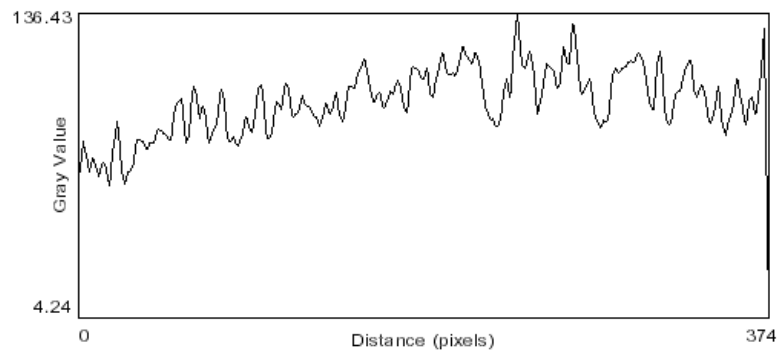
Anexo B 11. Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiled ImageJ das Padrão de STS, geradas da exposição do sistema particulado em presença de campo magnético na frequência de 2,0 hertz



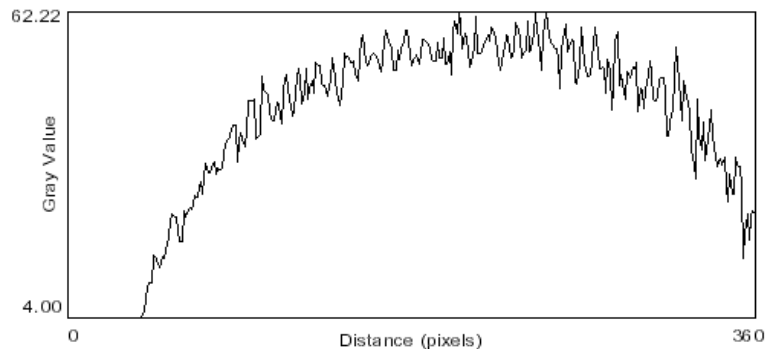
Anexo B 12. Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiled ImageJ das Padrão de MOC, geradas da exposição do sistema particulado em presença de campo magnético na frequência de 2,0 hertz



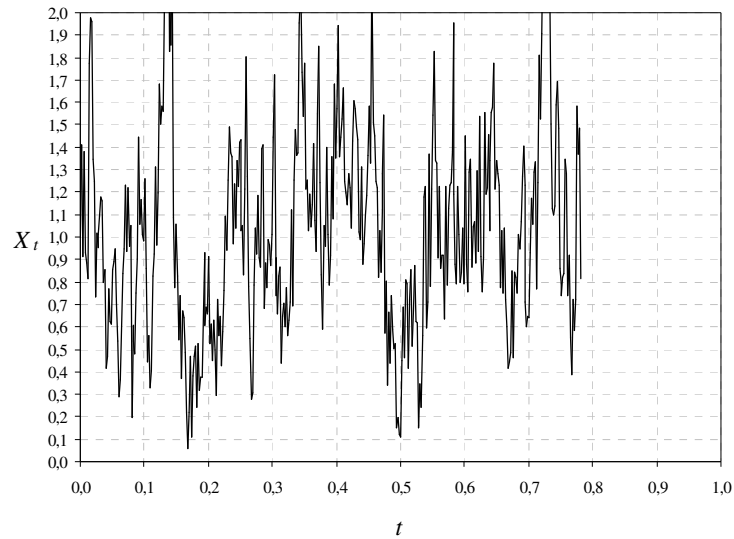
Anexo B 13. Simulação do movimento browniano das Padrão de STS, geradas da exposição do sistema particulado em presença de campo magnético de 5,0 hertz



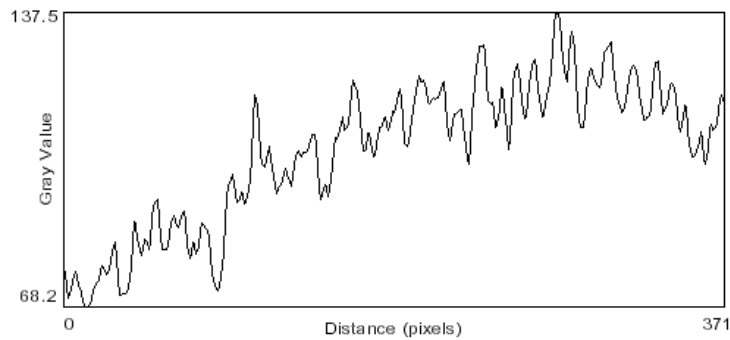
Anexo B 14. Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiled ImageJ das Padrão de STS, geradas da exposição do sistema particulado em presença de campo magnético na frequência de 5,0 hertz



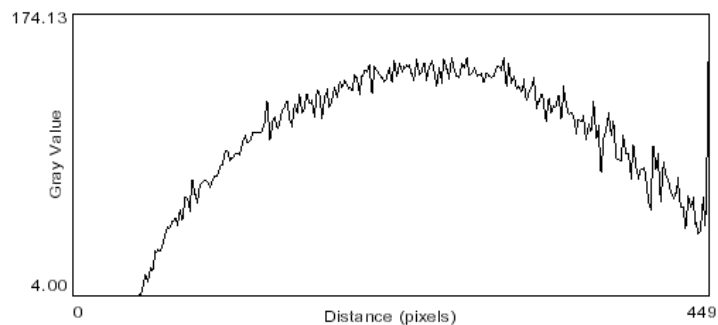
Anexo B 15. Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiled ImageJ das Padrão de MOC, geradas da exposição do sistema particulado em presença de campo magnético na frequência de 5,0 hertz



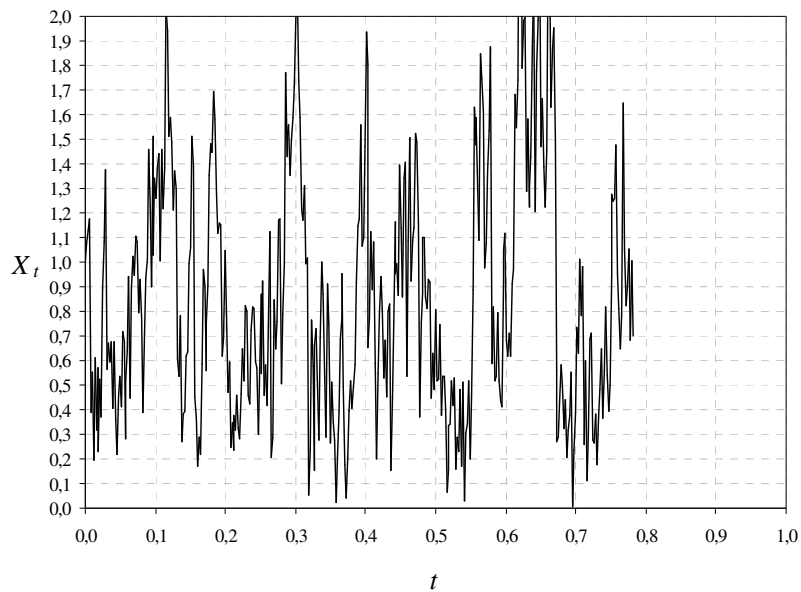
Anexo B 16. Simulação do movimento browniano das Padrão de STS, geradas da exposição do sistema particulado em presença de campo magnético de 10,0 hertz



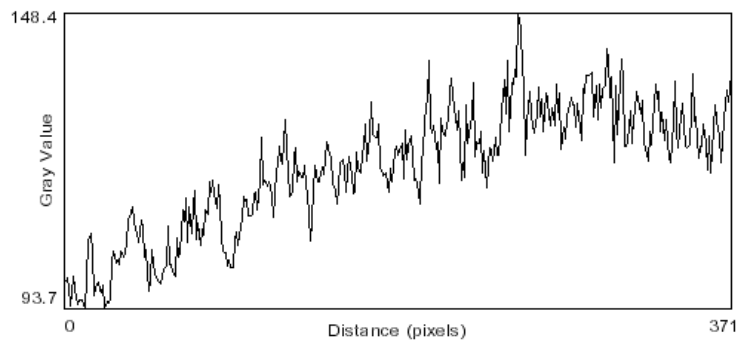
Anexo B 17. Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de MOC, geradas da exposição do sistema particulado em presença de campo magnético na frequência de 10,0 hertz



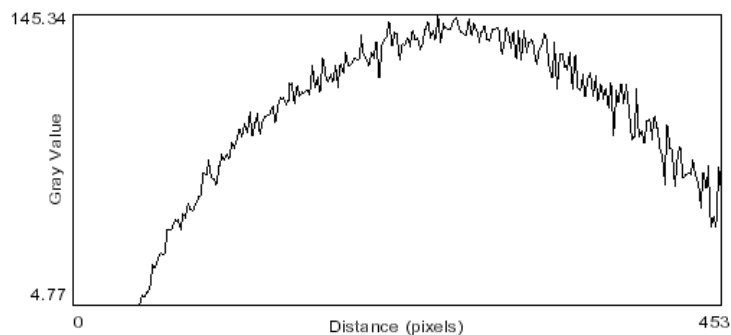
Anexo B 18. Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de STS, geradas da exposição do sistema particulado em presença de campo magnético na frequência de 10,0 hertz



Anexo B 19. Simulação do movimento browniano das Padrão de STS, geradas da exposição do sistema particulado em presença de campo magnético de 20,0 hertz



Anexo B 20. Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de STS, geradas da exposição do sistema particulado em presença de campo magnético na frequência de 20,0 hertz



Anexo B 21. Visualização do efeito de ruído gaussiano utilizando a ferramenta Plot Profiledo ImageJ das Padrão de STS, formadas ao iluminar glicerina com partículas de aço, na presença de campo magnético, na frequência de 20,0 hertz

Program Rodrigues;

{ uses WinCrt; { usar apenas no TPW } }

{ Autor: Henri RODRIGUES Zurmely - MAIO e JUNHO 2006 }

{ Cliente: Silvestre RODRIGUES - MAIO e JUNHO 2006 }

{ Fontes de consulta: }

{ Encyclopedia of Graphics File Format - James D. Murray and William van Ryper }

{ BMP @ <http://astronomy.swin.edu.au/~pbourke/dataformats/bmp/> }

{ REQUISITO DO CLIENTE:

=====

O programa consiste em pegar uma padrão em tons de cinza e converter em uma matriz numérica. Em seguida, contar quantas vezes um determinado pixel apareceu na coluna e dividir pela probabilidade (número de pixels na coluna). Isto deve ser feito para todas as colunas. Depois disso, deve-se fazer um somatório dos resultados, aplicando-os na equação da entropia:  $\text{Somatório}(P_{ij}) \cdot \log(P_{ij})$ . }

{ rodrigues -h : exibe a ajuda }

{ rodrigues -l : pega uma lista de arquivos bitmap }

{ rodrigues -f : pega a própria figura }

const maxNumLin = 1024; { Usar múltiplo de 32 sempre }

const maxNumCol = 1024; { Usar múltiplo de 32 sempre }

const maxCorPal = 256; { Usar potência de 2 sempre }

type Apontador = ^TipoItem;

TipoItem = record

Item: string;

Prox: Apontador;

end;

TipoLista = record

Primeiro: Apontador;

Ultimo: Apontador;

end;

vetor = array[0..maxCorPal-1] of longint;

matriz = array[1..maxNumLin, 1..maxNumCol] of byte;

str6 = string[6];

FOCh = file of char;

var cont: longint; { variável contadora }

```

entrada, saída : string;    { nomes dos arquivos de entrada e saída }
arqEntr : FOCh;    { arquivo de entrada (soh serah aberto 1 por vez) }
arqSaid : text;    { arquivo de saída }
modo: char;    { modo de execução do programa: h, l ou f }
stringAux: string; { variável string auxiliar }
Lista: TipoLista; { lista que contém os nomes dos arquivos BMP que serão processados }
ponteiroAux: Apontador;    { ponteiro auxiliar }
DirecParaSaidaPdr: boolean; { se for para direcionar para saída padrao => true }
erro: byte;    { variável que contém o erro do IOResult/processamento d arquivo BMP }
letra: char;    { char que vai ser lido do arquivo de entrada }
tamArq: longint; { tamanho do arquivo de entrada }

m: matriz;    { matriz que contém a cores da figura de acordo com a paleta }
v: vetor;    { vetor que contém as cores da paleta }
lin, col, pal: integer; { número de linhas, colunas e cores na paleta, respctivamente }

```

```

procedure ExibeAjuda;
begin
  writeln;
  writeln;
  writeln('Rodrigues - versao 0.01 - Ajuda (Help)');
  writeln;
  writeln('Digite a partir do prompt:');
  writeln;
  writeln(' rodrigues -X [Y [Y [Y] ... ]] [Z]');
  writeln;
  writeln('Em que: X = Modo de execução: f : leitura a partir de uma Figura BMP');
  writeln('          h : exibe esta ajuda (Help)');
  writeln('          l : leitura a partir de uma Lista');
  writeln('    Y = Arquivos de entrada - ATENCÃO');
  writeln('          - No modo h não use este parâmetro');
  writeln('          - No modo f use apenas 99 parâmetros Y');
  writeln('          - No modo l use apenas 1 parâmetros Y');
  writeln('    Z = Arquivo de saida - ATENCAO');
  writeln('          - No modo h nao use este parâmetro');
  writeln('          - No modo f use obrigatoriamente 1 parâmetro Z');
  writeln('          - No modo l use obrigatoriamente 1 parâmetro Z');
  writeln('          - Caso queira destinar a saida para a saída');
  writeln('          padrao, passe este parâmetro como "stdout");
  writeln;
  writeln;
  writeln('Exemplos de uso:');
  writeln;
  writeln(' rodrigues -h          Exibe esta ajuda');
  writeln;
  writeln(' rodrigues -f figura.bmp texto.txt    Carrega o arquivo "figura.bmp");

```



```

writeln('                                processando-a e joga a saída');
writeln('                                em "texto.txt");
writeln;
writeln(' rodriques -f figura.bmp stdout      Carrega o arquivo "figura.bmp");
writeln('                                processando-a e exhibe o resultado');
writeln('                                na saída padrao');
writeln;
writeln;
writeln(' rodriques -l entrada.txt saida.txt   Carrega o arquivo "lista.txt",');
writeln('                                extrai os arquivos que o contêm');
writeln('                                e processa as figuras uma a uma');
writeln('                                jogando a saída em "texto.txt");
writeln;
writeln;
end;

```

```

procedure MensagemL(msg: string);
begin
  if DirecParaSaidaPdr then write(msg)
    else write(arqSaid,msg);
end;

```

```

procedure MensagemLn(msg: string);
begin
  if DirecParaSaidaPdr then writeln(msg)
    else writeln(arqSaid,msg);
end;

```

```

procedure Repete(c: char; d: byte);
var aux: byte;
begin
  if (d>0) then for aux := 1 to d do if DirecParaSaidaPdr then write(c)
    else write(arqSaid,c);
end;

```

```

procedure ExibeErroFalta;
begin
  writeln('Erro! Falta parametros na linha de comando!');
  writeln('Digite " rodriques -h " para exhibir ajuda');
end;

```

```

procedure ExibeErroExcesso;

```

```

begin
  writeln('Erro! Excesso de parâmetros na linha de comando!');
  writeln('Digite " rodrigues -h " para exibir ajuda');
end;

```

```

procedure ExibeUsoIncorreto;
begin
  writeln('Uso incorreto do programa');
  writeln('Digite " rodrigues -h " para exibir ajuda');
end;

```

{ Funções para manipular a Lista }

```

procedure FLVazia(var Lista: TipoLista);
begin
  new(Lista.Primeiro);
  Lista.Ultimo := Lista.Primeiro;
  Lista.Primeiro^.Prox := nil
end; { FLVazia }

```

```

function Vazia(Lista: TipoLista): boolean;
begin
  Vazia := Lista.Primeiro = Lista.Último
end; { Vazia }

```

```

procedure Insere(var x: string; var Lista: TipoLista);
{-- Insere depois do ultimo item da lista --}
begin
  new(Lista.Último^.Prox);
  Lista.Último := Lista.Último^.Prox;
  Lista.Último^.Item := x;
  Lista.Último^.Prox := nil
end; { Insere }

```

```

function Dec2Hexa(x: LongInt):str6;
{ Converte um valor decimal para um valor hexa no formato String de 2 posições}
var auxS6: str6;
    auxByte, auxCont: byte;
begin

```

```

auxS6:= "";
auxCont:=0;

if (x < 16777216) then
begin

    while (auxCont < 6) do
    begin

        auxByte := x mod 16;

        case auxByte of
            0 : auxS6 := '0' + auxS6;
            1 : auxS6 := '1' + auxS6;
            2 : auxS6 := '2' + auxS6;
            3 : auxS6 := '3' + auxS6;
            4 : auxS6 := '4' + auxS6;
            5 : auxS6 := '5' + auxS6;
            6 : auxS6 := '6' + auxS6;
            7 : auxS6 := '7' + auxS6;
            8 : auxS6 := '8' + auxS6;
            9 : auxS6 := '9' + auxS6;
            10 : auxS6 := 'A' + auxS6;
            11 : auxS6 := 'B' + auxS6;
            12 : auxS6 := 'C' + auxS6;
            13 : auxS6 := 'D' + auxS6;
            14 : auxS6 := 'E' + auxS6;
            15 : auxS6 := 'F' + auxS6;
        end; {case div}

        x := x div 16;
        inc(auxCont);

    end; { while (auxCont < 6) do }

    Dec2Hexa:=auxS6;

end {if (x < 16777216) }
else Dec2Hexa:='XXXXXX';

end; {function Dec2Hexa}


procedure Troca(var a, b: integer); {Troca as variáveis a e b}
var c: integer;

```

```

begin
  c:=a;
  a:=b;
  b:=c;
end; {procedure Troca}

```

```

procedure File2Var(var f: FOCh; var m: matriz; var lin, col, pal: integer; var v: vetor; var erro:
byte);

```

```

  { f: arquivo de entrada que contém o BMP }
  { m: matriz que contém as cores do ponto [i,j] da figura }
  { lin: número de linhas da figura }
  { col: número de colunas da figura }
  { pal: número de cores da paleta }
  { v: vetor que contém o valor RGB da n-ésima cor da paleta }
  { erro: variável que guarda o tipo de erro ocorrido }

```

```

  var cont, aux, tam, offset, sotih, sobb: longint;
  nbpp: byte;
  OK: boolean;
  letra: char;
  TemPaleta: boolean;
  i, j, k, l, dwl: integer;

```

```

begin

```

```

  { *** Inicialização de variáveis ****
}

```

```

  for i := 1 to maxNumLin do
    for j := 1 to maxNumCol do
      m[i,j] := 0;

```

```

  for i := 0 to (maxCorPal-1) do v[i] := 0;

```

```

  lin := 0;
  col := 0;
  pal := 0;
  erro:= 0;

```

```

  OK := true;
  tam := FileSize(f);
  cont := 0;

```

```
reset(f);
```

```
{ *** Parte 1 - Header  
***** }
```

```
{Header - Magic}  
if OK then begin  
    read(f, letra); inc(cont);  
    if (letra='B') then begin  
        read(f, letra); inc(cont);  
        if (letra='M') then begin { nao faz nada } end  
        else begin  
            OK := false;  
            erro := 2; { 2o byte nao eh M }  
        end;  
    end { then - if (letra='B') }  
    else  
    begin  
        OK := false;  
        erro := 1; { 1o byte nao eh B }  
    end; { else - if (letra='B') }  
end; { if OK }  
{Header - Magic}
```

```
{Header - FileSize}  
if OK then begin  
    aux:=0;  
    read(f, letra); inc(cont); aux := aux + longint(ord(letra));  
    read(f, letra); inc(cont); aux := aux + longint(longint(ord(letra))*256);  
    read(f, letra); inc(cont); aux := aux + longint(longint(ord(letra))*65536);  
    read(f, letra); inc(cont); aux := aux + longint(longint(ord(letra))*16777216);  
    if (aux <> tam) then begin  
        OK := false;  
        erro := 3; { tamanhos nao batem }  
    end; { if (aux <> tam) }  
end; { if OK }  
{Header - FileSize}
```

```
{Header - Reserved}  
if OK then begin  
    read(f, letra); inc(cont); if (ord(letra) <> 0) then OK := false;  
    read(f, letra); inc(cont); if (ord(letra) <> 0) then OK := false;  
    read(f, letra); inc(cont); if (ord(letra) <> 0) then OK := false;  
    read(f, letra); inc(cont); if (ord(letra) <> 0) then OK := false;
```

```

        if (not OK) then erro := 4; { campos reserved corrompidos }
    end; { if OK }
    { Header - Reserved }

```

```

    { Header - Endereco do começo do conjunto de dados do BitMap }
    if OK then begin
        aux:=0;
        read(f, letra); inc(cont); aux := aux + longint(ord(letra));
        read(f, letra); inc(cont); aux := aux + longint(longint(ord(letra))*256);
        read(f, letra); inc(cont); aux := aux + longint(longint(ord(letra))*65536);
        read(f, letra); inc(cont); aux := aux + longint(longint(ord(letra))*16777216);
        offset := aux;
        { Atenção: Aqui nao é possível ocorrer checagem de valor lido/esperado }
    end; { if OK }
    { Header - Endereço do comeco do conjunto de dados do BitMap }

```

```

    { *** Parte 2 - Info Header
    ***** }

```

```

    { Info Header - Tamanho deste Info Header }
    if OK then begin
        aux:=0;
        read(f, letra); inc(cont); aux := aux + longint(ord(letra));
        read(f, letra); inc(cont); aux := aux + longint(longint(ord(letra))*256);
        read(f, letra); inc(cont); aux := aux + longint(longint(ord(letra))*65536);
        read(f, letra); inc(cont); aux := aux + longint(longint(ord(letra))*16777216);
        sotih := aux; { sotih = size of this info header = tamanho deste info header }
        { Atencao: Aqui nao é possível ocorrer checagem de valor lido/esperado }
    end; { if OK }
    { Info Header - Tamanho deste Info Header }

```

```

    { Info Header - Largura }
    if OK then begin
        aux:=0;
        read(f, letra); inc(cont); aux := aux + longint(ord(letra));
        read(f, letra); inc(cont); aux := aux + longint(longint(ord(letra))*256);
        read(f, letra); inc(cont); aux := aux + longint(longint(ord(letra))*65536);
        read(f, letra); inc(cont); aux := aux + longint(longint(ord(letra))*16777216);
        col:=aux; { define o numero de colunas da figura }
        { Atencao: Aqui nao é possível ocorrer checagem de valor lido/esperado }
    end; { if OK }
    { Info Header - Largura }

```

```

{Info Header - Altura}
if OK then begin
    aux:=0;
    read(f, letra); inc(cont); aux := aux + longint(ord(letra));
    read(f, letra); inc(cont); aux := aux + longint(longint(ord(letra))*256);
    read(f, letra); inc(cont); aux := aux + longint(longint(ord(letra))*65536);
    read(f, letra); inc(cont); aux := aux + longint(longint(ord(letra))*16777216);
    lin:=aux; {define o numero de linhas da figura }
    {Atencao: Aqui não é possível ocorrer checagem de valor lido/esperado }
end; {if OK }
{Info Header - Altura}

```

```

{Info Header - Número de Planos}
if OK then begin
    read(f, letra); inc(cont); if (ord(letra) <> 1) then OK := false;
    read(f, letra); inc(cont); if (ord(letra) <> 0) then OK := false;
    if (not OK) then erro := 5; {# planos diferente de 1}
end; {if OK }
{Info Header - Número de Planos}

```

```

{Info Header - Número de bits por pixel}
if OK then begin
    read(f, letra); inc(cont);
    aux := ord(letra);
    case aux of
        1 : nbpp := 1;
        4 : nbpp := 4;
        8 : nbpp := 8;
        24 : nbpp := 24;
        else OK := false;
    end; { case aux }
    if OK then begin
        read(f, letra); inc(cont); if (ord(letra) <> 0) then OK := false;
        if (not OK) then erro := 7;
    end
    else erro := 6; {número de bits por pixel diferente de 1, 4, 8 ou 24}
end; {if OK }
{Info Header - Número de bits por pixel}

```

```

{Info Header - Método de Compressao Usado}
if OK then begin
    read(f, letra); inc(cont); if (ord(letra) <> 0) then OK := false;
    read(f, letra); inc(cont); if (ord(letra) <> 0) then OK := false;
    read(f, letra); inc(cont); if (ord(letra) <> 0) then OK := false;

```

```

        read(f, letra); inc(cont); if (ord(letra) <> 0) then OK := false;
        if (not OK) then erro := 8; { BMP com compressao (Nao posso processar BMP
comprimida) }
    end; {if OK }
    {Info Header - Método de Compressao Usado}

```

```

{Info Header - Tamanho do BitMap em bytes}
if OK then begin
    aux:=0;
    read(f, letra); inc(cont); aux := aux + longint(ord(letra));
    read(f, letra); inc(cont); aux := aux + longint(longint(ord(letra))*256);
    read(f, letra); inc(cont); aux := aux + longint(longint(ord(letra))*65536);
    read(f, letra); inc(cont); aux := aux + longint(longint(ord(letra))*16777216);
    sobb := aux; { sob = size of bitmap in bytes = tamanho do bitmap em bytes }
    {Atencao: Aqui nao eh possivel ocorrer checagem de valor lido/esperado }
end; {if OK }
{Info Header - Tamanho do BitMap em bytes}

```

```

{Info Header - Resolução Horizontal em Pixels}
if OK then begin
    read(f, letra); inc(cont);
    read(f, letra); inc(cont);
    read(f, letra); inc(cont);
    read(f, letra); inc(cont);
    { Nao precisa checar este atributo }
end; {if OK }
{Info Header - Resolução Horizontal em Pixels}

```

```

{Info Header - Resolução Vertical em Pixels}
if OK then begin
    read(f, letra); inc(cont);
    read(f, letra); inc(cont);
    read(f, letra); inc(cont);
    read(f, letra); inc(cont);
    { Nao precisa checar este atributo }
end; {if OK }
{Info Header - Resolução Vertical em Pixels}

```

```

{Info Header - Número de cores da padrão}
if OK then begin
    read(f, letra); inc(cont);
    read(f, letra); inc(cont);
    read(f, letra); inc(cont);

```



```

        read(f, letra); inc(cont);
        { Nao precisa checar este atributo }
end; {if OK }
{Info Header - Número de cores da padrão}

```

```

{Info Header - Número de cores importantes da paleta}
if OK then begin
    read(f, letra); inc(cont);
    read(f, letra); inc(cont);
    read(f, letra); inc(cont);
    read(f, letra); inc(cont);
    { Nao precisa checar este atributo }
end; {if OK }
{Info Header - Número de cores importantes da paleta}

```

```

{ *** Parte 3 - Paleta (opcional) ***** }

```

```

aux := sotih + 14; { 14 eh o tamanho do Header (parte 1); sotih eh o tamanho do InfoHeader
(parte 2)}

```

```

if (cont <> aux ) then begin
    OK := false;
    erro := 9; {falta ou excesso de bytes ateh chegar aqui}
end;

```

```

{Paleta em RGBQuad}

```

```

if OK then begin
    if (cont = offset) then begin { Nao tem paleta }
        TemPaleta := false;
    end { Nao tem paleta }
    else begin { Tem paleta }
        TemPaleta := true;
        while (cont < offset) do
            begin
                aux := 0;
                read(f, letra); inc(cont); {Bit B do RGBQuad}
                aux := aux + longint(ord(letra));
                read(f, letra); inc(cont); {Bit G do RGBQuad}
                aux := aux + longint(longint(ord(letra))*256);
                read(f, letra); inc(cont); {Bit R do RGBQuad}
                aux := aux + longint(longint(ord(letra))*65536);
                read(f, letra); inc(cont); {Bit 0 do RGBQuad}
                if (ord(letra) <> 0) then begin
                    OK := false;
                    erro := 10; {erro no bit 0 do RGBQuad}
                end
            end
        end
    end
end

```

```

                                end; { ord(letra) <> 0 }
                        if OK then begin
                                v[pal] := aux;
                                inc(pal); { pal foi inicializada com zero }
                                end;
                        end; { while (cont < offset) }
                end; { Tem paleta }
end; { if OK }
{ Paleta em RGBQuad}

```

```

{ *** Parte 4 - Dados da Padrão
***** }

```

```

aux := sobb + offset; { sobb eh o tamanho do BitMap em bytes }
                        { offset eh onde comeca o bitmap }
if (tam <> aux ) then begin
        OK := false;
        erro := 11; { tamanhos nao batem }
        writeln(tam);
        writeln(aux);
        writeln(offset);
        Writeln(sobb);
end;

```

```

{Dados da Padrão}
if OK then begin
        if (cont = offset) then
                begin
                        case nbpp of
                                1 : dwl := ((col - 1) div 32) + 1;
                                4 : dwl := ((col - 1) div 8) + 1;
                                8 : dwl := ((col - 1) div 4) + 1;
                        end; {case nbpp of} { dwl = número de dwords por linha }
                        if TemPaleta then
                                begin
                                        for i:= lin downto 1 do
                                                begin
                                                        j:=1;
                                                        l:=0;
                                                        while(l < dwl) do
                                                                begin
                                                                        for k := 1 to 4 do
                                                                                begin
                                                                                        read(f, letra); inc(cont); aux := ord(letra);
                                                                                        case nbpp of

```

```

1 : begin
    m[i,j+7] := aux mod 2;
    aux := aux div 2;
    m[i,j+6] := aux mod 2;
    aux := aux div 2;
    m[i,j+5] := aux mod 2;
    aux := aux div 2;
    m[i,j+4] := aux mod 2;
    aux := aux div 2;
    m[i,j+3] := aux mod 2;
    aux := aux div 2;
    m[i,j+2] := aux mod 2;
    aux := aux div 2;
    m[i,j+1] := aux mod 2;
    m[i,j] := aux div 2;
    inc(j,8);
end;
4 : begin
    m[i,j] := aux div 16;
    m[i,j+1] := aux mod 16;
    inc(j,2);
end;
8 : begin
    m[i,j] := aux;
    inc(j);
end;
else OK := false;
end; { case nbpp of }
end; { for k := 1 to 4 }
inc(l);
end; { while(l < dwl) }
end; { for i := 1 to lin }
if (not OK) then erro:=98; { bits por pixel <> 1, 4 ou 8 }
end { then - if TemPaleta }
else erro:=99; { else - if TemPaleta } { figura sem paleta }
end { then - if (cont = offset) }
else begin
    OK := false;
    erro := 12; { tamanhos nao batem }
end; { else - if (cont = offset) }
end; { if OK }
{Dados da Padrão}

end; {procedure File2Var}

```

```

procedure ImprimePaleta(v: vetor; pal: integer);
var auxInt: integer;
    auxStr6: str6;
begin

    for auxInt := 0 to (pal-1) do
    begin

        MensagemL(' Cor #');
        if DirecParaSaidaPdr then case auxInt of
            0 : write('000');
            1..9 : write('00',auxInt);
            10..99 : write('0',auxInt);
            100..255 : write(auxInt);
        end {case}
        else case auxInt of
            0 : write(arqSaid,'000');
            1..9 : write(arqSaid,'00',auxInt);
            10..99 : write(arqSaid,'0',auxInt);
            100..255 : write(arqSaid,auxInt);
        end; {case}
        MensagemL(': ');
        auxStr6:=Dec2Hexa(v[auxInt]);
        MensagemLn(auxStr6);

    end; { for aux := 0 to (pal-1) do }

end; { procedure ImprimePaleta }

```

```

procedure ProbEntrop(m: matriz; v: vetor; lin, col, pal: integer);
var i, j, k: integer;
    vAux: vetor;
    first: boolean;
    prob, entr: real;
begin
    for j := 1 to col do
    begin
        first := true;
        MensagemLn("");
        MensagemL(' Coluna # ');
        if DirecParaSaidaPdr then write(j)
            else write(arqSaid,j);

```

```

for k := 0 to (pal-1) do vAux[k]:=0;
for i := 1 to lin do inc(vAux[(m[i,j])]); { conta quantas vezes determinada cor apareceu numa
coluna }
for k := 0 to (pal-1) do
begin
if ( vAux[k] <> 0) then
begin

if first then first := false
else case j of
1..9 : repete(' ',13);
10..99 : repete(' ',14);
100..255 : repete(' ',15);
end; {case}

MensagemL(' - Cor #');
if DirecParaSaidaPdr then case k of
0 : write('000');
1..9 : write('00',k);
10..99 : write('0',k);
100..255 : write(k);
end {case}
else case k of
0 : write(arqSaid,'000');
1..9 : write(arqSaid,'00',k);
10..99 : write(arqSaid,'0',k);
100..255 : write(arqSaid,k);
end; {case}

MensagemL(': ');
MensagemL(Dec2Hexa(v[k]));
MensagemL(' => ');
if DirecParaSaidaPdr then write(vAux[k])
else write(arqSaid,vAux[k]);
MensagemL(' ocorrencias');
MensagemL(' => Prob = ');
prob := vAux[k]/lin;
if DirecParaSaidaPdr then write(prob:6:5)
else write(arqSaid,prob:6:5);
MensagemL(' => Entropia = ');
entr := prob*ln(prob);
if DirecParaSaidaPdr then write(entr:6:5)
else write(arqSaid,entr:6:5);
MensagemLn('');

end; { if ( vAux[k] <> 0) }

```

```

    end; { for k := 0 to (pal-1) do }

end; { for j := 1 to col }


end; { ProbEntrop }


begin { programa principal }

    { writeln (paramstr(0),' : Existem ',ParamCount,' parâmetros de comando: '); }

    {Inicializacao de variáveis}
    modo := chr(0);
    DirecParaSaidaPdr := false;

    case ParamCount of

        0 : ExibeUsoIncorreto;

        1 , 2: begin

            if ((ParamStr(1) = '-h') or (ParamStr(1) = '-H')) then modo := 'h';
            if ((ParamStr(1) = '-l') or (ParamStr(1) = '-L')) then modo := 'l';
            if ((ParamStr(1) = '-f') or (ParamStr(1) = '-F')) then modo := 'f';

            if (modo = 'h')
            then if (ParamCount = 1)
                then ExibeAjuda
                else ExibeErroExcesso
            else if (modo = 'l')
                then ExibeErroFalta
                else if (modo = 'f')
                    then ExibeErroFalta
                    else ExibeUsoIncorreto;

        end; { fim case 1 , 2 }

    else begin

        saida:=ParamStr(ParamCount);
        if (length(saida) = 6)
            then if ((saida[1] = 'S') or (saida[1] = 's'))

```

```

    then if ((saida[2] = 'T') or (saída[2] = 't'))
    then if ((saida[3] = 'D') or (saída[3] = 'd'))
    then if ((saida[4] = 'O') or (saída[4] = 'o'))
    then if ((saida[5] = 'U') or (saída[5] = 'u'))
    then if ((saida[6] = 'T') or (saída[6] = 't'))
    then DirecParaSaídaPdr := true;

FLVazia(Lista);

if ((ParamStr(1) = '-h') or (ParamStr(1) = '-H')) then modo := 'h';
if ((ParamStr(1) = '-l') or (ParamStr(1) = '-L')) then modo := 'l';
if ((ParamStr(1) = '-f') or (ParamStr(1) = '-F')) then modo := 'f';

case modo of

'h' : ExibeErroExcesso;
{ parâmetro passado na linha de comando eh AJUDA }

'f' : begin { parâmetro passado na linha de comando eh FIGURA }
    for cont := 2 to (ParamCount-1) do
    begin
        stringAux:=ParamStr(cont);
        Insere(stringAux, Lista);
    end; { for }

    if (not DirecParaSaidaPdr) then begin
        assign(arqSaid,saída);
        rewrite(arqSaid);
    end; { if }

    new(ponteiroAux);
    ponteiroAux:=Lista.Primeiro^.Prox;
    while (ponteiroAux <> nil) do
    begin
        stringAux:=ponteiroAux^.Item;
        {$I-}
        assign(arqEntr,stringAux);
        reset(arqEntr);
        {$I+}
        erro:=IOResult;
        if (erro=0) then
        begin

            File2Var(arqentr, m, lin, col, pal, v, erro);
            close(arqEntr);

            repete('= ',80);

```

```

mensagemLn("");
mensagemLn("");
mensagemL(' Processando arquivo ');
mensagemLn(stringAux);
mensagemL(' ');
repete('=' ,20+length(stringAux));
mensagemLn("");

if (erro=0) then      { inserir comentario }
begin
    mensagemLn("");

    mensagemL(' Número de linhas: ');
    if DirecParaSaidaPdr then writeln(lin)
        else writeln(arqSaid,lin);
    mensagemLn("");

    mensagemL(' Número de colunas: ');
    if DirecParaSaidaPdr then writeln(col)
        else writeln(arqSaid,col);
    mensagemLn("");
    mensagemL(' Número de cores na paleta: ');
    if DirecParaSaidaPdr then writeln(pal)
        else writeln(arqSaid,pal);
    mensagemLn("");

    ImprimePaleta(v, pal);
    ProbEntrop(m, v, lin, col, pal);

end { then - if (erro=0) - erro => File2Var(arqentr, m, lin, col, pal, v, erro); }
else
begin

    if ((erro > 0) and (erro < 13)) then
    begin
        mensagemL('Erro: ');
        if DirecParaSaidaPdr then write(erro)
            else write(arqSaid,erro);
        mensagemLn(' - Bitmap corrompido ou com registro invalido!');
    end; { ((erro > 0) and (erro < 13)) then }

    if (erro = 98) then
    begin
        mensagemLn("");
        mensagemL(' O procedimento para processar figura sem ser ');
        mensagemLn('com 1, ou 4 ou 8 bits por pixel nao foi implemenatado
ainda!');

```



```

        mensagemLn(' Aguarde nova versao ou use uma figura com paleta de
2, 16 ou 256 cores!');
        end;

        if (erro = 99) then
        begin
            mensagemLn("");
            mensagemL(' O procedimento para processar figura sem ');
            mensagemLn('paleta não foi implemenatado ainda!');
            mensagemLn(' Aguarde nova versão ou use uma figura com paleta!');
        end;

        end; { else - if (erro=0) - erro => File2Var(arqentr, m, lin, col, pal, v, erro);
}

        mensagemLn("");
        repete('=',80);
        mensagemLn("");
        mensagemLn("");
        mensagemLn("");

        end { then - if (erro=0) - erro:=IOResult; }
        else
        begin
            mensagemL(' Arquivo ');
            mensagemL(stringAux);
            mensagemLn(' nao encontrado!');
            mensagemLn("");
            mensagemLn("");
        end; { else - if (erro=0) - erro:=IOResult; }

        ponteiroAux := ponteiroAux^.Prox;

        end; { while (ponteiroAux <> nil) }

        if (not DirecParaSaidaPdr) then close(arqSaid);

        end; { case - 'f' }
        { FIM - parametro passado na linha de comando eh FIGURA }

```

```

'T' : begin { parametro passado na linha de comando eh LISTA de figuras }
        if (ParamCount > 3)
        then ExibeErroExcesso
        else begin

```

```

if (not DirecParaSaidaPdr) then begin
    assign(arqSaid,saída);
    rewrite(arqSaid);
end; { if }

entrada:=ParamStr(2);
{$I-}
assign(arqEntr,entrada);
reset(arqEntr); { abre o arquivo que contém a LISTA }
{$I+}
erro:=IOResult;
if (erro=0) then { * IF EXTERNO - DO ARQUIVO QUE CONTEM A
LISTA * }
begin
    tamArq:=FileSize(arqEntr);
    cont:=0;
    stringAux:="";
    while (cont < tamArq) do
    begin
        read(arqEntr,letra);
        case letra of

            chr(10) , chr(32) : begin
                { chr(10) = line feed }
                { chr(32) = espaco }
                if (stringAux <> "") then
                begin
                    Insere(stringAux, Lista);
                    stringAux:="";
                end; { if }
            end; { case chr(10) , chr(32) }

            chr(13) : begin
                { chr(13) = carriage return }
                { não faz nada }
            end; { case chr(13) }

            else stringAux := StringAux+letra;

        end; { case letra of }

        inc(cont);
    end; { while (cont < tamArq) }

    close(arqEntr); { fecha o arquivo que contém a LISTA }

    new(ponteiroAux);

```

```

ponteiroAux:=Lista.Primeiro^.Prox;
while (ponteiroAux <> nil) do
begin
  stringAux:=ponteiroAux^.Item;
  {$I-}
  assign(arqEntr,stringAux);
  reset(arqEntr); { abre o arquivo que contém o BMP }
  {$I+}
  erro:=IOResult;
  if (erro=0) then { * IF INTERNO - DO ARQUIVO QUE CONTÉM
O BMP * }
  begin

    File2Var(arqentr, m, lin, col, pal, v, erro);
    close(arqEntr);

    repete('=',80);
    mensagemLn("");
    mensagemLn("");
    mensagemL(' Processando arquivo ');
    mensagemLn(stringAux);
    mensagemL(' ');
    repete('=',20+length(stringAux));
    mensagemLn("");

    if (erro=0) then { inserir comentário }
    begin
      mensagemLn("");

      mensagemL(' Número de linhas: ');
      if DirecParaSaidaPdr then writeln(lin)
      else writeln(arqSaid,lin);
      mensagemLn("");

      mensagemL(' Número de colunas: ');
      if DirecParaSaidaPdr then writeln(col)
      else writeln(arqSaid,col);
      mensagemLn("");
      mensagemL(' Número de cores na paleta: ');
      if DirecParaSaidaPdr then writeln(pal)
      else writeln(arqSaid,pal);
      mensagemLn("");

      ImprimePaleta(v, pal);
      ProbEntrop(m, v, lin, col, pal);

```

```

erro); }

end { then - if (erro=0) - erro => File2Var(arqentr, m, lin, col, pal, v,

else
begin

if ((erro > 0) and (erro < 13)) then
begin
mensagemL('Erro: ');
if DirecParaSaidaPdr then write(erro)
else write(arqSaid,erro);
mensagemLn(' - Bitmap corrompido ou com registro invalido!');
end; { ((erro > 0) and (erro < 13)) then }

if (erro = 98) then
begin
mensagemLn("");
mensagemL(' O procedimento para processar figura sem ser ');
mensagemLn('com 1, ou 4 ou 8 bits por pixel nao foi
implemenatado ainda!');
mensagemLn(' Aguarde nova versao ou use uma figura com
paleta de 2, 16 ou 256 cores!');
end;

if (erro = 99) then
begin
mensagemLn("");
mensagemL(' O procedimento para processar figura sem ');
mensagemLn('paleta nao foi implemenatado ainda!');
mensagemLn(' Aguarde nova versao ou use uma figura com
paleta!');
end;

end; { else - if (erro=0) - erro => File2Var(arqentr, m, lin, col, pal, v,
erro); }

mensagemLn("");
repete('=',80);
mensagemLn("");
mensagemLn("");
mensagemLn("");

end { else - if (erro=0) * IF INTERNO - DO ARQUIVO QUE
CONTEM O BMP * }
else
begin
mensagemL(' Arquivo ');
mensagemL(stringAux);

```

```

        mensagemLn(' nao encontrado!');
        mensagemLn("");
        mensagemLn("");
    end; { else - if (erro=0) - erro:=IOResult; }

    ponteiroAux := ponteiroAux^.Prox;

end; { while (ponteiroAux <> nil) }

if (not DirecParaSaidaPdr) then close(arqSaid);

end { then if (erro=0) * IF EXTERNO - DO ARQUIVO QUE CONTEM
A LISTA * }
else if DirecParaSaidaPdr then writeln('Arquivo ',ParamStr(2),' nao
encontrado!')
                else writeln(arqSaid,'Arquivo ',ParamStr(2),' nao
encontrado!');

end; { else-if (ParamCount > 3) }

end; { case - 'I' }
{ FIM parametro passado na linha de comando eh LISTA de figuras }

else ExibeUsoIncorreto;

end; { case modo of}

end; { fim case else }

end; {case ParamCount of}

{   readkey;   { usar apenas no TPW }
{   DoneWinCrt;   { usar apenas no TPW }

end. { programa principal }

```