

Avaliação do Comportamento do biospekle em diferentes níveis de umidade do solo**Assessment of biospekle behaviour at different soil moisture levels**

DOI:10.34117/bjdv6n7-802

Recebimento dos originais: 29/06/2020

Aceitação para publicação: 29/07/2020

Luiz Diego Vidal Santos

Mestrando em Ciência da Propriedade Intelectual-PPGPI da Universidade Federal de Sergipe-UFS

Instituição: Universidade Federal de Sergipe-UFS Programa de Pós-graduação em Ciências da Propriedade Intelectual-PPGPI

Endereço: Cidade Universitária Prof. "José Aloísio de Campos" Av. Marechal Rondon, s/n, Jardim Rosa Elze 49.100-000 / São Cristóvão-SE

E-mail: vidal.center@academico.ufs.br

Adilson Machado Enes

Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Campinas, Brasil

Instituição: Universidade Federal de Sergipe-UFS Departamento de Engenharia Agrícola-DEAgri

Endereço: Cidade Universitária Prof. "José Aloísio de Campos" Av. Marechal Rondon, s/n, Jardim Rosa Elze 49.100-000 / São Cristóvão-SE

E-mail: adilsonenes@gmail.com

Francisco Sandro Rodrigues Holanda

Doutor em Agronomia (Fitotecnia) pela Universidade Federal de Lavras, Brasil

Instituição: Universidade Federal de Sergipe-UFS Departamento de Engenharia Agrônômica-DEA

Endereço: Cidade Universitária Prof. "José Aloísio de Campos" Av. Marechal Rondon, s/n, Jardim Rosa Elze 49.100-000 / São Cristóvão-SE

E-mail: fholanda@infonet.com.br

Catuxe Varjão de Santana Oliveira

Mestre em Engenharia de Software Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

Instituição: Instituto Federal de Sergipe-IFS Departamento de Ciências da Computação

Endereço: Estr. da Barragem - Jardim Campo Novo, Lagarto - SE, 49400-000

E-mail: catuxe.oliveira@academico.ifs.edu.br

Alceu Pedrotti

Doutor em Ciência do Solo pela Universidade Federal de Lavras, Brasil

Instituição: Universidade Federal de Sergipe-UFS Departamento de Engenharia Agrônômica-DEA

Endereço: Cidade Universitária Prof. "José Aloísio de Campos" Av. Marechal Rondon, s/n, Jardim Rosa Elze 49.100-000 / São Cristóvão-SE

E-mail: alceupedrotti@gmail.com

Amanda Nascimento de Jesus

Engenheira Agrônoma pela Universidade Federal de Sergipe-UFS

Instituição: Universidade Federal de Sergipe-UFS Departamento de Engenharia Agrônômica-DEA

Endereço: Cidade Universitária Prof. "José Aloísio de Campos" Av. Marechal Rondon, s/n,

Jardim Rosa Elze 49.100-000 / São Cristóvão-SE

E-mail: amandaagroufs@gmail.com

Arilmara Abade Bandeira

Doutoranda em Ciência da Propriedade Intelectual-PPGPI da Universidade Federal de Sergipe-UFS

Instituição: Universidade Federal de Sergipe-UFS Programa de Pós-graduação em Ciências da Propriedade Intelectual-PPGPI

Endereço: Cidade Universitária Prof. "José Aloísio de Campos" Av. Marechal Rondon, s/n,

Jardim Rosa Elze 49.100-000 / São Cristóvão-SE

E-mail: arilmara2015@gmail.com

RESUMO

Analisar as atividades e interações da água no solo são de suma importância para a agricultura, pois o sucesso da produção agrícola está estritamente relacionado à existência de água satisfatória e nutrientes presentes no solo. Diversos métodos são utilizados para este processo, tais como a tensiometria que necessita de equipamentos tensiômetros e um conhecimento técnico do solo para melhor determinação. Dessa forma, a quantificação e estudo qualitativo dos níveis de umidade ainda necessitam do desenvolvimento de melhores técnicas e equipamentos simples e acessíveis. Neste sentido, esta pesquisa propõe um estudo sobre a correlação entre o fenômeno biospeckle e os diferentes níveis de umidade induzida no argissolo vermelho-amarelo da porção centro-litorânea do Estado de Sergipe, originado de Sedimentos do Grupo Barreira. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC) com 45 amostras de solo retiradas utilizando um trado de caneca na trincheira, divididas em sete tratamentos (níveis de umidade) cujos valores simulados de umidade do solo foram 13%, 16%, 19%, 21%, 24%, 27% e 30%. Para cada repetição foi gerado um vídeo do fenômeno com cinco segundos de duração. Os diferentes níveis de umidade foram calculados através da determinação de umidade por secagem. O método mostrou sensibilidade a níveis de umidade entre 13 e 21% de umidade. O método mostrou resultados favoráveis em termos de monitoramento da atividade da água observando diferentes níveis de umidade em solo classificado como Argissolo Vermelho-amarelo, comprovando a possibilidade de implementação prática deste método para análise de TFSE de Argissolo do Tabuleiro Costeiro nordestino.

Palavras chave: Transformada de Fourier, laser HeNe, Teor de água, Processamento de imagens, Física do Solo

ABSTRACT

Analyzing the activities and interactions of water in the soil are of paramount importance for agriculture, as the success of agricultural production is strictly related to the existence of satisfactory water and nutrients present in the soil. Several methods are used for this process, such as the tensiometry that requires tensiometer equipment and a technical knowledge of the soil for better determination. Thus, the quantification and qualitative study of humidity levels still need the development of better techniques and simple and accessible equipment. In this sense, this research proposes a study on the correlation between the biospeckle phenomenon and the different levels of humidity induced in the red-yellow argisol of the central-coastal portion of the State of Sergipe,

originated from Sediments of the Barreira Group. The experimental design was completely randomized (DIC) with 45 soil samples taken using a cup auger in the trench, divided into seven treatments (humidity levels) whose simulated soil moisture values were 13%, 16%, 19%, 21 %, 24%, 27% and 30%. A five-second video of the phenomenon was generated for each repetition. The different humidity levels were calculated by determining the moisture content by drying. The method showed sensitivity to humidity levels between 13 and 21% humidity. The method showed favorable results in terms of monitoring water activity by observing different levels of humidity in soil classified as Red-yellow Argisol, proving the possibility of practical implementation of this method for analyzing ESFT of Argissolo do Tabuleiro Costeiro nordestino.

Keyword: Fourier transform, HeNe laser, Water content, Image processing, Soil Physics

1 INTRODUÇÃO

A presença da água no solo é responsável pelo desenvolvimento das culturas agrícolas (Dai et al., 2017; Rocha et al., 2020), pela absorção de nutrientes (Man-hong et al., 2020), viabilidade celular de simbiose microbiana (Hasan et al., 2020), tornando-se a água uma peça chave para a sobrevivência do cultivo. Analisar estas atividades e interações são de suma importância para a agricultura, pois o sucesso da cultura está estritamente relacionado à presença da água e seus solúveis presentes no solo (Cotching, 2018).

Os níveis ideais de umidade do solo são determinantes para o sucesso da produção agrícola e neste ponto também para uso adequado e racional de tecnologias como a irrigação, (Cotching, 2018). Conhecer o processo que a água realiza para infiltrar através dos perfis de solo é de grande importância em diversas áreas das ciências agrárias (Bristot et al., 2019).

Buscando técnicas modernas, eficientes e baratas para a determinação e controle da umidade do solo, atualmente sensores são desenvolvidos para serem instalados em equipamentos ou diretamente no solo, permitindo a coleta de dados de umidade e das interações e reações entre o solo e água, possibilitando, desta forma, maior controle, precisão e economia para produção durante o cultivo (Galvão et al., 2020; Sena et al., 2020). Por outro lado, o uso destes equipamentos pode ser oneroso principalmente para os pequenos agricultores (Trugilho et al., 2017), ou requer um elevado tempo para os resultados, mostrando, assim, a importância do desenvolvimento de técnicas que possibilitem o uso acessível para todas as categorias de produtores agrícolas (Oliveira, I J; Pereira, 2017).

Diversas técnicas e modelos matemáticos têm sido estudados como potenciais ferramentas para análise de qualidade e viabilidade de variados materiais biológicos de forma rápida e não destrutiva, tais como a técnica de TDR, na qual o teor de água no solo é determinado pela medição da constante dielétrica do solo (k_a), avaliando o tempo de viagem de ida e volta das ondas

eletromagnéticas propagadas por uma sonda guia (Cai et al., 2017). Porém a utilização desta técnica requer uma calibração bastante específica do tipo de solo observado, dificultando assim o manuseio por pessoas leigas. Buscando a obtenção de melhores dados quanto ao efeito quantidade de água, presença de nutrientes e níveis de umidade, estudos recentes são desenvolvidos para observar a interação da água como atividades biológicas inclui todas as reações metabólicas celulares e interações com demais substâncias (Oliveira, Jacineumo F. de et al., 2019). Desta forma um dos métodos usuais para a interpretação de atividades em materiais biológicos e o biospeckle laser dinâmico, que descrito segundo Rabelo et al. (2011) é um fenômeno óptico de interferência que ocorre quando há incidência de luz coerente em um material biológico que exhibe algum tipo de atividade, atualmente o biospeckle se mostra viável para análise de diversos materiais.

O método biospeckle vem demonstrando viabilidade de aplicação em diversas superfícies vivas inclusive em produtos agrícolas. Ansari et al. (2018) descreve em seu trabalho que o método se mostra uma ferramenta potencial para a taxonomia de folhas a a qualidade nutricional das plantas. Vivas et al. (2017) obteve sucesso utilizando o método para avaliar a qualidade do grão de café quanto à sua capacidade de germinação, observando neste experimento que os níveis da atividade do biospeckle está estritamente relacionado com a umidade dos grãos durante incidência de uma luz coerente. Outro trabalho que demonstrou ser capaz de analisar o fenômeno speckle foi Cardoso et al. (2011), que demonstraram que o método apresenta a possibilidade de criar mapas de frequência em sementes de milho isolando a atividade da água, utilizando para isso o filtro gerado a partir da transformada Wavelet. Outros trabalhos comprovaram a existência do fenômeno em diversos materiais, Arefi et al. (2016) determina a qualidade pós-colheita de maçã, Sutton e Punja (2017) detectou a viabilidade de germinação de sementes de trigo, relacionada aos níveis de umidade e Viana et al. (2017) analisou a qualidade da água, submetidas à cloração e a identificação de espécies de fungos.

Dentre as principais técnicas empregadas na análise do fenômeno, destacam-se as que se baseiam na variação temporal dos dados com estatísticas de primeira e segunda ordem, tais como a História Temporal do Speckle (STS) e as Matrizes de Ocorrências Modificadas (MOC) (Rabelo, G. F., 2000), elas permitem tanto a criação de mapas de atividades como as Diferença Generalizadas (DG) e o Método de Fujji. Para a quantificação numérica do fenômeno, atualmente é empregada a técnica de Momento de Inércia (MI) também conhecida como Módulo de Dispersão de Intensidades (MDI) (Peixoto et al., 2018). Estes métodos demonstram ser influenciados por diversos fatores como a vibração ambiental e ruídos externos, os quais podem interferir nas medições, exigindo que as mesmas sejam feitas em ambiente controlado. No entanto, estudos recentes (Galvão, Roberto

Kawakami Harrop et al., 2001) envolvendo a análise de bandas de frequências do biospeckle laser demonstram ser possível utilizar Transformadas de Wavelets (**TW**), Transformadas de Fourier (**TF**) e Transformadas de Fourier Janelada (**TFJ**) para isolar frequências do padrão de atividade do biospeckle, permitindo assim, estabelecer uma correlação entre determinadas frequências e os elementos físicos e/ou biológicos que as perturbaram (Azerêdo et al., 2016; Diógenes et al., 2015; Dornelles et al., 2017).

O embasamento teórico associado ao fenômeno biospeckle laser permite pressupor que a atividade da água no solo pode ser quantificada de forma indireta, e suas perturbações nas frequências de atividade podem ser estudadas e modeladas com técnicas de análise de frequência. Como a água está frequentemente presente nos solos agricultáveis, isto poderá influenciar nas atividades físicas naturais do solo (Donato et al., 2019). Este conhecimento será importante, pois, futuramente, poderá ser usado para o desenvolvimento de sensores que permitirão indicar de forma indireta, a atividade do solo em diferentes níveis de umidade, contribuindo para aumentar os parâmetros de monitoramento e mapeamento para a agricultura de precisão e manejo na irrigação.

Desta forma, esta pesquisa propõe um estudo sobre a correlação entre o fenômeno biospeckle e os diferentes níveis de umidade induzida no argissolo vermelho-amarelo da porção centro-litorânea do Estado de Sergipe, originado de Sedimentos do Grupo Barreira.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 AMOSTRAS DE SOLOS UTILIZADAS

As amostras do solo amostras deformadas de TFSE (terra fina seca em estufa) foram coletadas do no Campus Rural da UFS, que apresenta solos classificados, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (Embrapa, 2018), como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico Grupo Barreiras. A Tabela 1 descreve as químicas determinadas através de análise de solos em amostra de Argissolo fina seca em estufa (t.f.s.e.) a 40° C.

Tabela 1 – Análise química de amostras de solo

Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método
Matéria Orgânica	12,9	g/dm ³	–	WB
Magnésio	1,05	cmolc/dm ³	–	KCl
Sódio	0,03	cmolc/dm ³	–	Mehlich-1
Potássio	0,05	cmolc/dm ³	–	Mehlich-1
Hidrogênio + Alumínio	1,82	cmolc/dm ³	–	SMP
pH em SMP	6,70	–	–	MAQS-Embrapa
SB-Soma de Bases Trocáveis	2,46	cmolc/dm ³	–	–
CTC	4,28	cmolc/dm ³	–	–
PST	0,89	%	–	–
V - Índice de Saturação de Bases	57,5	%	–	–
pH em Água	5,82	–	–	H ₂ O
Cálcio + Magnésio	2,37	cmolc/dm ³	0,38	KCl
Cálcio	1,32	cmolc/dm ³	0,22	KCl
Alumínio	<0,08	cmolc/dm ³	0,08	KCl
Sódio	8,70	mg/dm ³	2,20	Mehlich-1
Potássio	20,9	mg/dm ³	1,40	Mehlich-1
Fósforo	1,40	mg/dm ³	1,39	Mehlich-1

Legenda: LQ Limite de Quantificação do Método.

Fonte: Autores.

Para analisar o nível atual de umidade das amostras de solo coletado, cinco amostras retiradas do horizonte A da trincheira, com aproximadamente 50 g foram pesadas em balança semi-analítica, e posteriormente levadas a estufa a 105° durante vinte e quatro horas. O nível médio de umidade em campo estava em torno de 11%, valor considerado inicial para a avaliação dos experimentos. A partir disto, amostra de solo de aproximadamente 8 kg foi fracionada em sete subamostras menores com cerca de 1 kg cada. Em cada amostra de 1 kg foi acrescentada água destilada utilizando uma pipeta graduada de 25 ml misturando-a homogeneamente, até que se completasse os níveis de umidade pretendidos chegando ao nível máximo de 30% de umidade. O delineamento experimental resultante foi inteiramente casualizado (**DIC**) com 45 amostras de solo, retiradas utilizando um trado de caneca na trincheira, divididas em sete tratamentos (níveis de umidade) cujos valores foram 13%, 16%, 19%, 21%, 24%, 27% e 30%. Na Tabela 2 está descrito os níveis e quantidade de água acrescida. Para conversão de grama (g) em mililitro (mL), foi considerada temperatura da água a 24° C.

Tabela 2 – Níveis de Umidade (UmS) das amostras de solo submetidas as análises de biospeckle

Umidade (%) e quantidade de água	UmS 1	UmS 2	UmS 3	UmS 4	UmS 5	UmS 6	UmS 7
	13%	16%	19%	21%	24%	27%	30%
	24,51mL	49,03mL	73,54mL	98,05mL	122,56mL	147,08mL	171,59mL

Fonte: Autores.

2.2 SETUP DA CAPTURA DAS IMAGENS

Foi utilizado um Laser HeNe 632 nm posicionado em uma altura de 0,65 m e com um ângulo ajustado em 45°. Para que a incidência do feixe de laser alcançasse todas as amostras presentes, foi utilizada uma lente de vidro divergente plano-côncava 50 mm, ela foi posta a 0,05 m a partir da saída do feixe de laser. Durante toda a análise do fenômeno, as imagens de biospeckle foram capturadas em tamanhos de 530 × 640 pixels e salvas em arquivos de vídeo AVI de 30 frames por segundo (fps), utilizando para isso uma câmera filmadora digital com resolução de captura de vídeo de 720 p, com foco ajustado em 100 milímetros e zoom ótico em 50x. A câmera foi posicionada também com um ajuste de ângulo de 45°, porém com uma altura de 0,35 m, de maneira que houvesse a melhor captura do fenômeno sem interferências de posição do ponto central do laser.

2.3 INTERPRETAÇÃO DAS DIFERENÇAS GENERALIZADAS (DG)

Para investigação do fenômeno através de imagens foi utilizado o método das Diferenças Generalizadas DG, neste método, de cada imagem do material iluminado foram identificadas suas intensidade luminosa, para isso foi assumido que, para cada intensidade luminosas obtidas, elas são expressas em $I(x,y)$, em que (x,y) são coordenadas das imagens estudadas (Arizaga, 2002). A equação 1 descreve o somatório utilizado.

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

Em que,
 k é o número de imagens,
 I a intensidade e
 x, y são os pixels subsequentes.

Buscando eliminar altos ruídos que possam interferir na interpretação do Speckle observado, foi utilizado o método de reconstrução da imagem final em janelas walvelet descritos por . O modelo computacional utilizado foi o mesmo desenvolvido por (Enes, Adilson M., 2006; Fracarolli; Fabbro, 2011).

Para a representação das figuras coloridas em RGB (Falsas cores), foi utilizado o software ImageJ (Schneider; Rasband; Eliceiri, 2012), já que as imagens reais resultantes são de 8bits em escala de cinza que vão de 0 a 255 tons. Para que pudesse criar uma conversão de escala de cinza em RGB foi utilizado o método 16 Cores.

2.4 INTERPRETAÇÃO DO MOMENTO DE INÉRCIA (MI)

Para se extrair número número que represente ou quantifique essa atividade, Arizaga *et al.* (1999), foi utilizado o Módulo de Dispersão de Intensidade (**MDI**) desenvolvido por Rabelo (2000). A equação 3 representa a operação do módulo de dispersão de intensidades, mais tratado nesta pesquisa como Momento de Inércia (**MI**), (Enes, Adilson Machado, 2011). A representação computacional do modelo matemático, foi utilizado o Script desenvolvido por Enes, (2006).

$$MDI = \sum_{ij} M_{ij}(i - j)^2 \quad (3)$$

Em que,

MDI = ao momento de inércia

M_{ij} é a matriz de probabilidade, que,

“i” e a mudança da intensidade para “j”.

Todo o processamento dos dados resultantes das imagens, foi utilizado o software Matlab R2017a (MathWorks, 2018).

2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para a avaliação da normalidade dos dados foi utilizado o teste de Normalidade Shapiro Wilk (SK) (Hanusz; Tarasinska; Zielinski, 2016), o qual constatou que os dados seguem uma normalidade. A análise de variância dos dados foi obtida a 5% de probabilidade. Constatando-se variância significativa, procedeu-se ao teste post-hoc de Tukey, a 5% de probabilidade, para comparação das diferenças significativas entre tratamentos. Os dados foram analisados pelo software SPSS (IBM Corp, 2017), e submetidos a análise de significância a 5% de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**3.1 RESULTADOS DA ANÁLISE DO MOMENTO DE INÉRCIA**

Na Tabela 3 é apresentado o resumo da análise de variância dos parâmetros de umidade estudados. Alterações do biospeckle registradas pelo MI apresentam diferença significativa para os resultados da Análise de Variância (ANOVA) com o nível de significância a 5%, demonstrando existir diferença significativa entre diferentes níveis de umidade.

Tabela 3 – Análise de Variância da média dos histogramas resultantes do MI

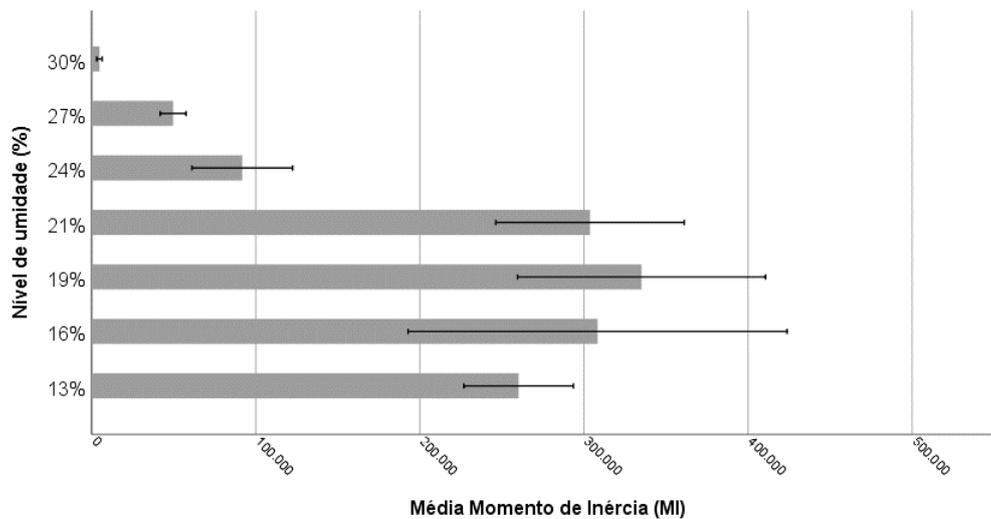
	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	Z	P-Valor.
Entre Grupos	1,16E+12	1,94E+11	28,430	3,52E-16
Nos grupos	4,30E+11	6,83E+09		
Total	1,60E+12			

Fonte: Autores

Por meio do método de Momento de Inércia foi possível avaliar os efeitos da aplicação de água sobre as amostras de solos do horizonte A classificados como argissolo vermelho-amarelo. Na Figura 4 é possível observar que os diferentes níveis de umidade afetam o comportamento do biospeckle e que o mesmo acompanha o aumento da umidade, indicando um comportamento de correlação entre os acréscimos de água nas amostras estudadas e o biospeckle laser.

Observando o estudo de Kunokawa e Silva (2020) analisando o comportamento de frutos/sementes de Acácia-branca (*Moringa oleífera*) em diferentes níveis de umidade, observaram que a atividade do biospeckle é crescente no período de senescência do fruto, período que apresenta diferentes escalas de transpiração e variação de água no fruto, havendo neste comportamento uma possível correlação entre a umidade do fruto e o valor do momento de inércia observados. De maneira análoga, neste trabalho observou-se uma maior mobilidade do biospeckle quando ocorre acúmulos da água entre os particulados do solo.

Figura 4 – Variações do biospeckle por Momento de Inércia em diferentes níveis de umidade do solo



Fonte: Autores

No geral, analisando os de testes comparação entre médias com $P < 0,5$, o melhor desempenho do método biospeckle fica entre os níveis de umidade simuladas nos solos $< 21\%$.

Tabela 4 – Níveis de atividade do biospeckle em diferentes teores de umidade por meio do Momento de Inércia (MI)

Níveis de umidade (%)	Teor de água (mL/kg)	Atividade do Biospeckle (MI) ¹
13%	24,51	261,20 a
16%	49,03	309,80 a
19%	73,54	336,00 a
21%	98,05	304,80 a
24%	122,56	918,00 b
27%	147,08	497,00 b
30%	171,59	475,20 b

Fonte: Autores

Se mostra importante observar que a capacidade de acumulo de água assim como a velocidade da umidade do solo varia de solo para solo, sendo estes comportamentos resultados da ação conjunta de vários fatores (Guellouz et al., 2020; Lin et al., 2020), dependendo principalmente da quantidade e natureza da fração argila (Andrade et al., 2017). Os solos classificados como

Argissolo Vermelho-Amarelo apresentam textura argilo-arenosa, textura essa que apresenta relativa baixa capacidade de retenção do solo, quando comparados a outros tipos de solos com frações menores de argila (Costa; Alves; Sousa, 2016). Tal perfil granulométrico do solo em conjunto com a capacidade de retenção da água pode ter influenciado nos níveis da sensibilidade do

¹ Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

método a identificar o biospeckle, mostrando a necessidade do desenvolvimento de demais estudos quanto a comparação entre a análise do biospeckle em detrimento de diferentes texturas de solos.

3.2 RESULTADOS DA ANÁLISE DAS DIFERENÇAS GENERALIZADAS

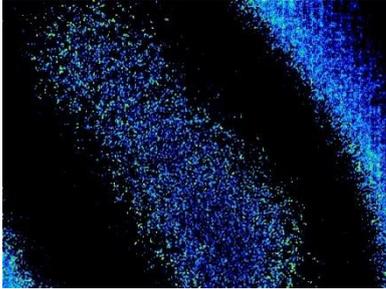
Na Figura 5 são apresentados os mapas de falsas cores resultantes das atividades de biospeckle medidas com a incidência do laser de 530 nm utilizando método DG, na figura citada da “A” à 5 “E” é possível observar que existe uma significativa diferença entre o padrão do DG nas amostras com diferentes níveis de atividades, representadas pelas diferentes das temperaturas das falsas cores expressas. Nas amostras de menores valores de umidade no solo simulada, é possível observar pontos de cores mais quentes e claras (Amarelo e laranja), demonstrando que neste local existe uma alta taxa de atividade observável do biospeckle. Assim como os trabalhos que utilizam métodos indiretos para obter a umidade do solo (Gava; Silva; Baio, 2016; Lima et al., 2018), o os métodos de interpretação do biospeckle dinâmico permitiram leituras contínuas até os níveis de 21% de umidade (98,05 mL/kg) resultando em imagens de fácil interpretação. Desta forma, não se recomenda o uso do método para condições de umidade próxima a capacidade de campo (saturação), resultados observados em outros tipos de métodos para análise de umidade tais como o descrito por (Gava; Silva; Baio, 2016).

Percebe-se ainda que uso do filtro Walvelet de apenas uma banda de frequência para o processamento com o DG também apresentou resultados condizentes quanto a representação dos diferentes níveis de umidade menores que 21% para as amostras de solo. Tal atividade se assemelha com as atividades observadas nos mapas de DG para materiais de alta atividade, descritos no trabalho de Arefi et al. (2016), que, analisando atividade do biospeckle em materiais biológicos, observou uma expressiva diferença entre materiais biológicos ativos (vivos) e não ativos (mortos).

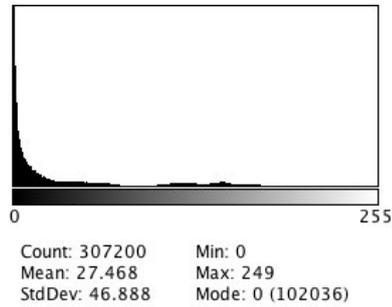
Portanto, filtros janelados tais como o Walvelet, quando aplicados juntos com os testes de observação e umidade, podem promover a redução ruídos indesejáveis até os níveis de 21% de umidade. Resultados podem ser observados na Figura 5.

Figura 5. Atividade do biospeckle por Diferenças Generalizadas (DG) em amostras de solo sob diferentes níveis de umidade no solo.

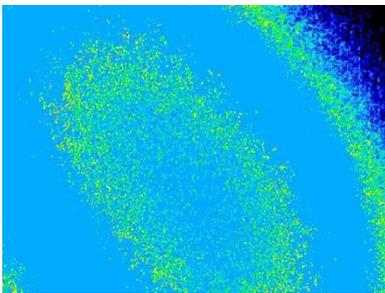
A. Diferença Generalizada para amostras UmS 1



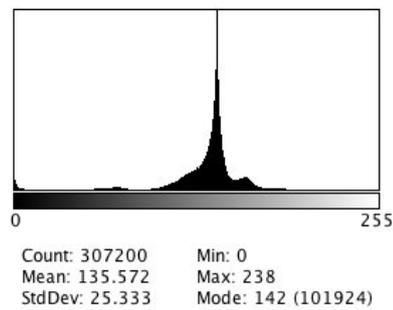
B. Histograma da amostra Figura UmS 1



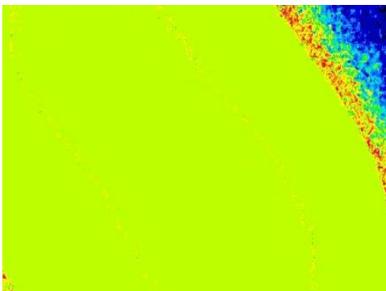
C. Diferença Generalizada para amostras UmS 2



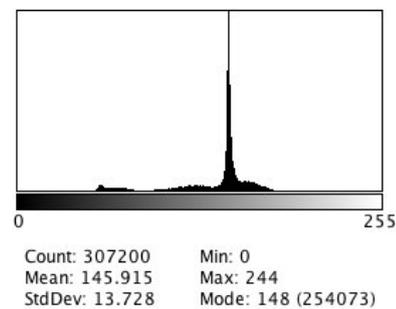
D. Histograma da amostra Figura UmS 2



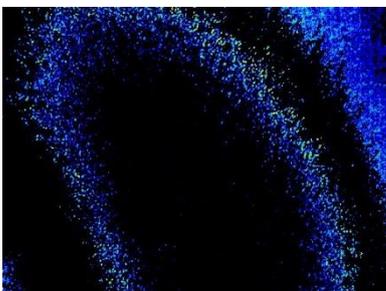
E. Diferença Generalizada para amostras UmS 3



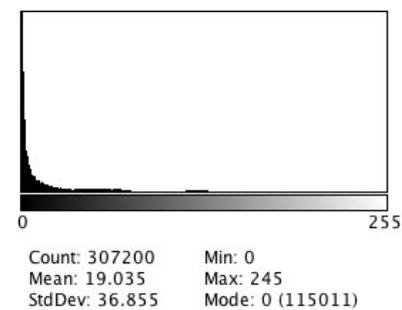
F. Histograma da amostra Figura UmS 3



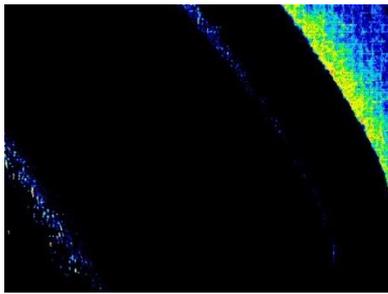
G. Diferença Generalizada para amostras UmS 4



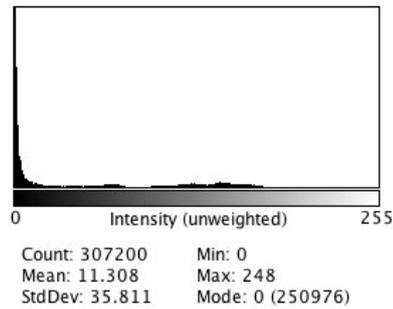
H. Histograma da amostra Figura UmS 4



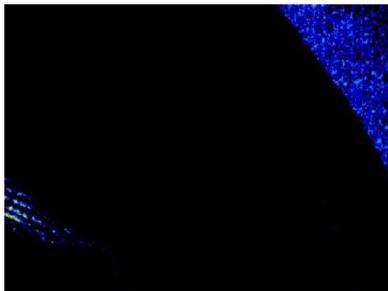
I. Diferença Generalizada para amostras UmS 5



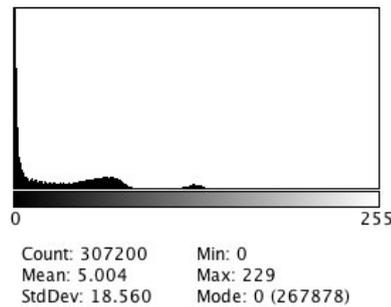
J. Histograma da amostra Figura UmS 5



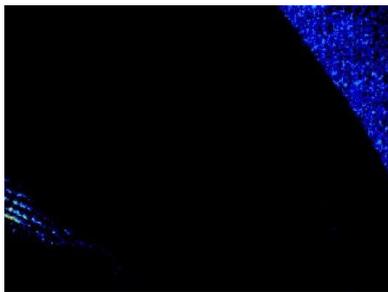
K. Diferença Generalizada para amostras UmS 6



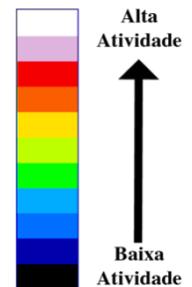
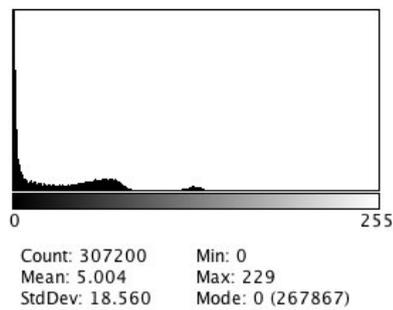
L. Histograma da amostra Figura UmS 6



M. Diferença Generalizada para amostras UmS 7



N. Histograma da amostra Figura UmS 7



A pesquisa realizada por Cardoso et al. (2011) estudando a atividade do biospeckle em sementes de milho demonstrou haver influência dos diferentes níveis de água nas sementes, pois as taxas de atividades registradas pelo biospeckle onde, o grão com presenças de rachaduras e conseguinte maior perda de água por evaporação apresentou níveis maiores de atividade que os grãos que não apresentaram rachaduras, corroborando com este experimento, haja vista que, quanto maior a presença da água no material biológico, maior os níveis de biospeckle.

Quanto aos níveis de umidade próximos aos 24%, o método de biospeckle não apresentou diferenças significativas, um provável fator é que, o desempenho preciso do reconhecimento do biospeckle é ruim devido à sua incapacidade de lidar com a incerteza causada pelos altos ruídos quando as amostras se apresentarem encharcadas após o sobressalto da capacidade de campo,

refletindo a água e não o solo comportamento observado também por Liang e Zhu (2018) quando testado métodos baseados em refletômetro no domínio do tempo. Neste nível de umidade a câmera deixa de capturar as imagens do biospeckle no solo e passa a observar o biospeckle na porção de água aplicada que se sobressai, ficando difícil a interpretação das inconsistências resultantes dos padrões de refletância da luz coerente, mesmo que o método utilizando o filtro Walvelet, ainda sim não consegue reconhecer precisamente o método quando observada excessiva umidade.

4 CONCLUSÕES

Este estudo investigou a correlação entre o fenômeno biospeckle e os diferentes níveis de umidade induzida no argissolo vermelho-amarelo da porção centro-litorânea do Estado de Sergipe, originado de Sedimentos do Grupo Barreira, buscando compreender os diferentes níveis de sensibilidade do método à interação da água no solo.

Os dados brutos de MI e DG se mostraram sensíveis às mudanças de umidade em argissolo vermelho-amarelo até a taxa de 21% na umidade, confirmando a correlação entre os diferentes níveis de umidade e o aumento da atividade do biospeckle, mostrando que o método de biospeckle laser apresenta resultados favoráveis ao avaliar, não destrutivamente, os níveis de umidade do argissolo vermelho-amarelo.

No entanto a sua confiabilidade é limitada a escala pontual de umidade simulada que foi experimentada neste artigo, para uma futura modelagem e padronização aos níveis de umidade. São recomendados trabalhos futuros que analisem níveis mais finos de umidade simulada nas amostras de solo, assim como em diferentes tipos de solos.

REFERÊNCIAS

- Andrade, C. W. L. de, Montenegro, S. M. G. L., de Sousa Lima, J. R., de Assunção Montenegro, A. A., & Srinivasan, R. Análise de sensibilidade de parâmetros do modelo SWAT em uma sub-bacia da região Nordeste, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 10, n. 2, p. 440–453, 2017.
- Ansari, M. Z., Mujeeb, A., & Nirala, A. K. Assessment of biological leaf tissue using biospeckle laser imaging technique. 2018. .
- Arefi, A., Ahmadi Moghaddam, P., Hassanpour, A., Mollazade, K., & Modarres Motlagh, A. Non-destructive identification of mealy apples using biospeckle imaging. 2016. DOI 10.1016/j.postharvbio.2015.09.001. Disponível em: <http://www.profigen.com.br>.
- Arizaga, R. Display of local activity using dynamical speckle patterns. *Optical Engineering*, v. 41, n. 2, p. 287, 1 fev. 2002. <https://doi.org/10.1117/1.1428739>.
- Azerêdo, G. A. de, Paula, R. C. de, & Valeri, S. V. Germination of *Piptadenia moniliformis* Benth seeds under water stress. *Ciência Florestal*, v. 26, n. 1, p. 193–202, 2016. .
- Bristot, A. de O., Silva, A. de S., Cantoni, F., & Oliveira, M. V. R. Efeito da composição de substrato na produção de mudas de gergelim irrigadas por capilaridade. *Habitats Urbanos e Rurais*, , p. 135, 2019. .
- Cardoso, R. R., Costa, A. G., Nobre, C. M. B., & Braga, R. A. Frequency signature of water activity by biospeckle laser. *Optics Communications*, v. 284, n. 8, p. 2131–2136, abr. 2011. <https://doi.org/10.1016/J.OPTCOM.2011.01.003>.
- Costa, C. D. de O., Alves, M. C., & Sousa, A. de P. Armazenamento de água em dois solos sob diferentes usos e manejos. *Revista de Ciências Ambientais*, v. 10, n. 2, p. 55–65, 16 dez. 2016. <https://doi.org/10.18316/1981-8858.16.31>.
- Cotching, W. E. Organic matter in the agricultural soils of Tasmania, Australia—A review. *Geoderma*, v. 312, p. 170–182, 2018. .
- Dai, F.-G., Zhang, F.-W., Wang, B., Yao, H.-C., & Chen, L. Numerical simulation of structural variation of aquifer effect on regional groundwater circulation. *Acta Geoscientica Sinica*, v. 38, p. 64–68, 2017. <https://doi.org/10.3975/cagsb.2017.s1.17>.
- Diógenes, F. E. P., Oliveira, A. K. de, Torres, S. B., Maia, S. S. S., & Coelho, M. de F. B. Atividade alelopática do extrato de folhas *Ziziphus joazeiro* Mart. – Rhamnaceae. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 9, n. 4, p. 01–04, 1 jun. 2015.
- Dornelles, H. de S., Matsuoka, M., Binoelo, L. A., Pauvels, L. A., Caron, C. M., & Silva, V. R. da. Biomassa e atividade microbiana de solos com aplicação de resíduo sólido urbano e dejetos líquidos de suínos. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 44, p. 18–26, 1 set. 2017. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820170046>.
- Enes, Adilson M. Análise de resposta em frequência do biospeckle laser. 2006. 210 f. Dissertação (Engenharia Agrícola) – Universidade de Campinas-UNICAMP, Campinas-SP, 2006.

Enes, Adilson Machado. Análise de frequência do biospeckle laser aplicada ao mapeamento de fenômenos em sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). 2011. 240 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade de Campinas-UNICAMP, Campinas-SP, 2011.

Fracarolli, J. A., & Fabbro, J. M. D. Utilização do biospeckle laser na avaliação do potencial germinativo de sementes de Ipê - roxo (*Tabebuia heptaphylla* (Vellozo) Toledo). 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade de Campinas-UNICAMP, Campinas-SP, 2011.

Galvão, J. R., Almeida, K. C. de, Carréra, L. da C., Lima, L. M., Pacheco, M. J. B., Assis, L. F. C. T. de, Jesus, A. M. B. S. de, Carrera, J. C., & Viana, T. C. Adubação química e orgânica associados ao biocarvão promovem maior crescimento à chicória (*Eryngium foetidum* L.) / Chemical and organic fertilization associated with biochar promotes greater growth of chicory (*Eryngium foetidum* L.). *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 4, p. 19599–19611, 15 abr. 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n4-213>.

Galvão, R. K. H., Araújo, M. C. U. de, Saldanha, T. C. B., Visani, V., & Pimentel, M. F. Estudo comparativo sobre filtragem de sinais instrumentais usando transformadas de Fourier e Wavelet. *Química Nova*, v. 24, n. 6, p. 874–884, dez. 2001. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422001000600026>.

Guellouz, L., Askri, B., Jaffré, J., & Bouhlila, R. Estimation of the soil hydraulic properties from field data by solving an inverse problem. *Scientific Reports*, v. 10, n. 1, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66282-5>.

Hanusz, Z., Tarasinska, J., & Zielinski, W. Shapiro-Wilk test with known mean. *REVSTAT-Statistical Journal*, v. 14, n. 1, p. 89–100, 2016.

Hasan, R., Aktar, N., Kabir, S. M. T., Honi, U., Halim, A., Islam, R., Sarker, M. D. H., Haque, M. S., Alam, M. M., & Islam, M. S. Pectinolytic Bacterial Consortia Reduce Jute Retting Period and Improve Fibre Quality. *Scientific Reports*, v. 10, n. 1, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61898-z>.

IBM Corp, R. 2017. IBM SPSS Statistics for Macintosh, Version 25.0. Armonk, NY: IBM, 2017(Released 2017).

Kurokawa e Silva, G., Aguiar, R. H., Oliveira, R. A. de, Fabbro, I. M. D., Kurokawa e Silva, G., Aguiar, R. H., Oliveira, R. A. de, & Fabbro, I. M. D. Indirect determination of moisture using biospeckle technique. *Revista Ciência Agronômica*, v. 51, n. 1, 2020. DOI 10.5935/1806-6690.20200001. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1806-66902020000100403&lng=en&nrm=iso&tlng=en. Acesso em: 2 jul. 2020.

Lin, J., Guan, Q., Tian, J., Wang, Q., Tan, Z., Li, Z., & Wang, N. Assessing temporal trends of soil erosion and sediment redistribution in the Hexi Corridor region using the integrated RUSLE-TLSD model. *Catena*, v. 195, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104756>.

Man-hong, Y., Lei, Z., Sheng-tao, X., McLaughlin, N. B., & Jing-hui, L. Effect of water soluble humic acid applied to potato foliage on plant growth, photosynthesis characteristics and fresh tuber

yield under different water deficits. *Scientific Reports*, v. 10, n. 1, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63925-5>.

MathWorks, M. Matlab version R2017a. Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc., 2018.

Oliveira, J. F. de, Fia, R., Fia, F. R. L., Rodrigues, F. N., Oliveira, L. F. C. de, & L. Filho, L. C. de A. Efeitos da água residual de laticínios na respiração basal do solo, produtividade e remoção de nutrientes por Tifton 85 (*Cynodon sp.*). *Revista de Ciências Agrárias*, v. 42, n. 1, p. 151–160, mar. 2019. <https://doi.org/10.19084/RCA18015>.

Oliveira, I. J., & Pereira, M. C. N. Transferência de conhecimentos para adoção de inovações tecnológicas nas culturas alimentares pelos pequenos agricultores do Estado do Amazonas. *Embrapa Amazônia Ocidental-Documentos (INFOTECA-E)*, 2017.

Peixoto, L. S., Gisela Maiara Silva, Armando Kazuo Fujii, João José Dias Parisi, Rosa Helena Aguiar, & Juliana Aparecida Fracarolli. Maize Seeds Submitted to Thermoherapy and Analyzed by Dynamic Speckle. *Journal of Agricultural Science and Technology B*, v. 8, n. 2, p. 115–121, 2018. <https://doi.org/10.17265/2161-6264/2018.02.005>.

Rabelo, G. F. Avaliação do fenômeno biospeckle” no monitoramento de qualidade de laranjas (*Citrus Sinensis*). 2000. 147 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – UNICAMP, Campinas-SP, 2000.

Rabelo, Giovanni F., Enes, A. M., Junior, R. A. B., & Inácio Maria Dal Fabbro. Frequency response of biospeckle laser images of bean seeds contaminated by fungi. *Biosystems Engineering*, v. 110, n. 3, p. 297–301, 1 nov. 2011. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.09.002>.

Rocha, L. L. B. G. da, Silva, P. S. da, Antunes, R. L., Silva, M. P. da S. e, & Frota, C. A. da. Avaliação do Comportamento Mecânico de Solo Típico de Manaus/AM Estabilizado com Resíduo de Louça Sanitária. / Evaluation of the Mechanical Behavior of Typical Soil in Manaus / AM Stabilized with Waste Sanitary Ware. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 4, p. 22617–22627, 30 abr. 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n4-431>.

Schneider, C. A., Rasband, W. S., & Eliceiri, K. W. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*, v. 9, n. 7, p. 671–675, jul. 2012. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2089>.

Sena, C. C. R. S., Junior, J. A., Domingos, M. V. H., Junior, E. de J. A., Battisti, R., Evangelista, A. W. P., & Casaroli, D. Calibração do sensor capacitivo de umidade do solo EC-5 em resposta a granulometria do solo / Calibration of the EC-5 capacitive soil moisture sensor in response to soil granulometry. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 4, p. 17228–17240, 2 abr. 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n4-043>.

Sutton, D. B., & Punja, Z. K. Investigating biospeckle laser analysis as a diagnostic method to assess sprouting damage in wheat seeds. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 141, p. 238–247, set. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.07.027>.

Trugilho, W. S., Christo, B. F., da Silva, G. M. A., Rangel, F. D., & da Silva, E. C. G. Dificuldades de mecanização agrícola na agricultura familiar brasileira. *Revista Univap*, v. 22, n. 40, p. 865, 2017.

Viana, D. C., Pires, J. F., & Braga, R. A. Biospeckle laser technique applied for estimating disinfection accomplishment of wastewaters subjected to chlorination. [S. l.: s. n.], 2017. DOI 10.1016/j.psep.2017.05.017. Disponível em: <http://www.profigen.com.br>.

Vivas, P. G., Resende, L. S., Braga, R. A., Guimarães, R. M., Azevedo, R., da Silva, E. A. A., & Toorop, P. E. Biospeckle activity in coffee seeds is associated non destructively with seedling quality. *Annals of Applied Biology*, v. 170, n. 2, p. 141–149, 2017. <https://doi.org/10.1111/aab.12314>.