

ESTUDO COMPARATIVO DE AMOSTRAS SOLOS COM TEORES DIFERENCIADOS DE ARGILA POR MEIO DA METODOLOGIA SPECKLE

DA SILVA, S. L., FAULIN, G. D. C.

*Fatec Itaquera - Fabricação Mecânica/Grupo de Óptica e Aplicações
e-mail sidney.silva6@fatec.sp.gov.br*

Comparative Study Of Soil Samples With Differentiated Clay Content Using The Speckle Methodology

Eixo Tecnológico: Recursos Naturais

Resumo

Em Agricultura, estudar a textura de um solo é importante para identificar as características que afetam, por exemplo, o crescimento das plantas. Atualmente as metodologias utilizadas, na área de Agricultura, produzem resultados com o caráter mais qualitativo do que quantitativo e, por este motivo, faz-se necessário introduzir alternativas que tragam resultados fortemente quantitativos, como o apresentado aqui por uma metodologia da área de Óptica. Como objetivo principal, este trabalho utiliza a metodologia *Speckle* para diferenciar maior ou menor teor de argila em amostras contendo areia, silte e argila. A coleta de dados foi realizada por meio da técnica de interferometria *Speckle* por reflexão e o tratamento dos dados utilizou os métodos *THSP* (*Time History Speckle Pattern*, História Temporal do Padrão de *Speckle*) e Teoria de Erros para melhorar a acurácia dos resultados, que foram apresentados em forma de gráficos de intensidades *Speckle* em função do tempo de exposição da amostra. A metodologia utilizada mostrou-se eficiente na comparação quantitativa entre amostras com maior em relação às amostras com menor teor de argila e aponta grandes perspectivas nos estudos de textura de amostras de solo, incluindo análises granulométricas, oferecendo grande contribuição para as áreas de Agricultura dos Solos e Óptica Aplicada.

Palavras-chave: *Interferometria, Speckle, THSP, Teoria de Erros, Granulometria.*

Abstract

In Agriculture, studying the texture of a soil is important to identify the characteristics that affect, for example, plant growth. Currently, the methodologies used in the area of Agriculture produce results that are more qualitative than quantitative, and, for this reason, it is necessary to introduce alternatives that bring strongly quantitative results, such as the one presented here by a methodology from the area of Optics. As main objective, this work uses the *Speckle* methodology to differentiate higher or lower clay content in samples containing sand, silt and clay. Data collection was carried out using the reflection *Speckle* interferometry technique and data processing used the *THSP* (*Time History Speckle Pattern*) and Error Theory methods to improve the accuracy of the results, which were presented in the form of graphs of *Speckle* intensities as a function of sample exposure time. The methodology used proved to be efficient in the quantitative comparison between samples with higher and lower clay content and points to great perspectives in texture studies of soil samples, including granulometric analysis, offering a great contribution to the areas of Soil Agriculture and Applied Optics.

Keywords: *interferometry, Speckle, THSP, Theory of Errors, Granulometry.*

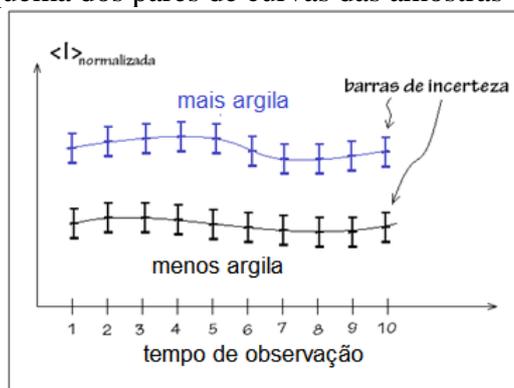
1. Introdução

Dentre as características importantes que afetam os solos agrícolas estão a capacidade de retenção e deslocamento e permeabilidade de água/ar, que podem interferir no crescimento de plantas, por exemplo. Um solo com textura mais argilosa do que arenosa ajuda na retenção de água, proporcionando maior umidade e, conseqüentemente, maior liberação de nutrientes às plantas, com menor necessidade de irrigação [1,2]. É fundamental, então, identificar a textura do solo para definir as estratégias de manejo que serão adotadas e, com isso, obter a melhor produtividade para cada situação. A interferometria *Speckle* apresenta-se como alternativa inovadora na investigação da textura em solos e torna-se um desafio promissor com grande potencial na obtenção de resultados fortemente quantitativos, com base em um tratamento de erros computacional, a partir de imagens digitais.

Speckle é uma subárea da Óptica Aplicada utilizada no estudo de superfícies materiais, estáticas ou dinâmicas, por meio da interferência de luz coerente, após reflexão [3-5]. Muitos trabalhos já foram desenvolvidos, nas áreas de Engenharia, Biologia e Física, utilizando esta metodologia [6-10]. Relacionado aos estudos de solo na agricultura, um trabalho recente [11] apresenta um método sobre a correlação entre o fenômeno *biospekle* e os diferentes níveis de umidade induzidos no argissolo vermelho-amarelo [11].

A hipótese geral para a granulometria de solos, associada ao padrão *Speckle*, é que grãos de tamanhos distintos apresentam imagens, vídeos, e perfiz por método gráfico computacional diferenciados. Especificamente, uma maior população de grãos maiores apresenta menos espalhamento, devido a maior absorção da luz e, portanto, menor intensidade média relativa, devido a menor quantidade de pontos de interferências durante a interferometria *Speckle*. Por outro lado, uma maior população de grãos menores (grãos de argila) apresenta mais espalhamento, devido a maior emissão da luz e, portanto, maior intensidade média relativa, devido a maior quantidade de pontos de interferências durante a interferometria *Speckle*. Se a hipótese está correta, isto pode ser verificado, quantitativamente, em gráficos de intensidade relativa média das interferências produzidas pelas amostras em função do tempo de observação, como ilustrado no esquema gráfico da Fig. 1.

Fig. 1. Esquema dos pares de curvas das amostras comparadas.



Fonte: (Grupo de Óptica e Aplicações, 2022).

Este trabalho teve o propósito de estudar e apresentar resultados qualitativos e quantitativos das diferenças de texturas em amostras de solos com maior e menor percentuais de argila por meio do aprimoramento da técnica óptica de interferometria *Speckle* e da análise

Anais da VII Mostra de Docentes em RJI

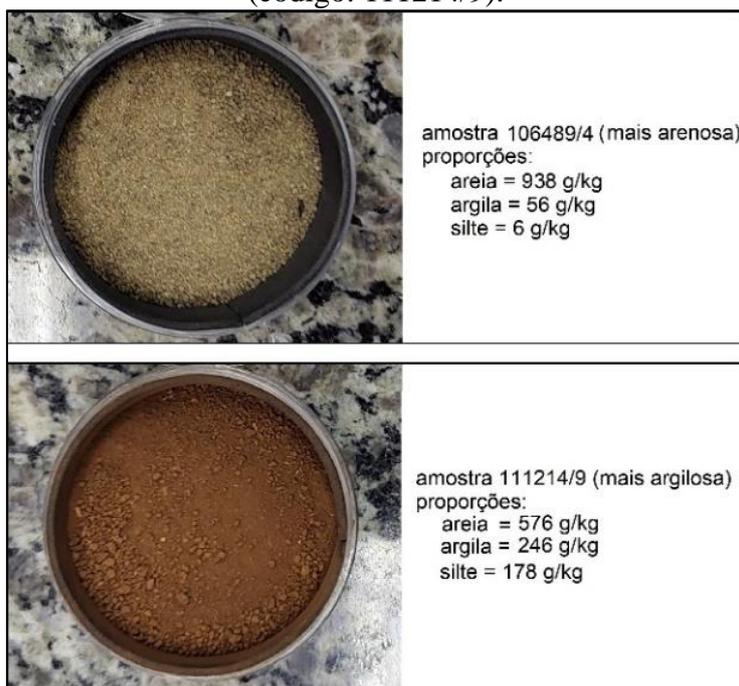
gráfica por método computacional fundamentado nos tradicionais métodos THSP [12,13], e Teoria de Erros [14,15] e, com isso, oferecer uma alternativa moderna e inovadora na investigação das texturas de solos, em especial para os que possuem percentuais adequados de argila, importante na produção agrícola.

2. Materiais e metodologia

2.1. Materiais

As amostras foram preparadas segundo as recomendações padrões da área de Agronomia [16-18], pelos pesquisadores do Laboratório de Solos e Tecido Vegetal da Fundação Nishimura de Tecnologia da Fatec Pompéia. As amostras foram adaptadas e posicionadas em caixas de acrílico com revestimento de EVA (Etileno Acetato de Vinila) preto, para diminuir a dispersão da luz, pelos pesquisadores do Grupo de Óptica e Aplicações da Fatec Itaquera, como mostram as fotografias da Fig. 2.

Fig. 2. Amostras de solo: menor teor de argila (código: 106489/4) e maior teor de argila (código: 111214/9).



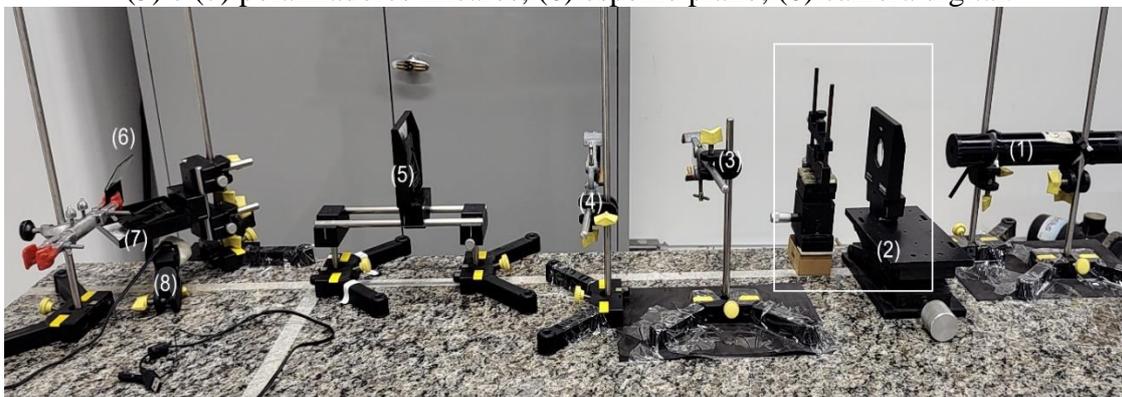
Fonte: (Grupo de Óptica e Aplicações, 2023).

2.2. Metodologia

A técnica óptica utilizada foi uma configuração experimental do interferômetro *Speckle* por reflexão, com a inclusão de dois polarizadores lineares, que observou as amostras e produziu vídeos com os padrões de interferências. A fotografia da Fig. 3 apresenta a configuração experimental.

Anais da VII Mostra de Docentes em RJJ

Fig. 3. Configuração experimental (Interferômetro *Speckle* por reflexão). (1) fonte de luz laser de He-Ne; (2) filtro especial: lente objetiva e *pinhole*; (3) lente plano-convexa; (4) íris; (5) e (7) polarizadores lineares; (6) espelho plano; (8) câmera digital.



Fonte: (Grupo de Óptica e Aplicações, 2022).

Foram realizadas as coletas de dados (pequenos vídeos do padrão de Speckle), para todos os pares (maior teor e menor teor de argila) de amostras preparadas. Estes vídeos foram utilizados para o tratamento de dados. Na análise qualitativa, os pares de vídeos foram ajustados para o mesmo intervalo de tempo e transformados para tons de cinza, para facilitar a visualização da dinâmica de movimento. Na análise quantitativa, os pares de vídeos foram utilizados para produção dos arquivos THSP, para os cálculos das intensidades relativas médias em função dos tempos de exposição. Para todos os cálculos foram determinadas as incertezas, utilizando os métodos de Teoria de Erros [14,15]. Como resultado final, foram construídos os gráficos de intensidade relativa média em função da evolução temporal que apresentaram os pares de curvas das amostras comparadas, como ilustrado no esquema da Fig. 1.

3. Resultados e Discussão

Foram utilizadas duas amostras distintas, uma com menor (código: 106489/4) e outra com maior (código: 111214/9) percentual de argila. As proporções de argila, areia e silte para estas amostras estão indicadas na Tab. 1.

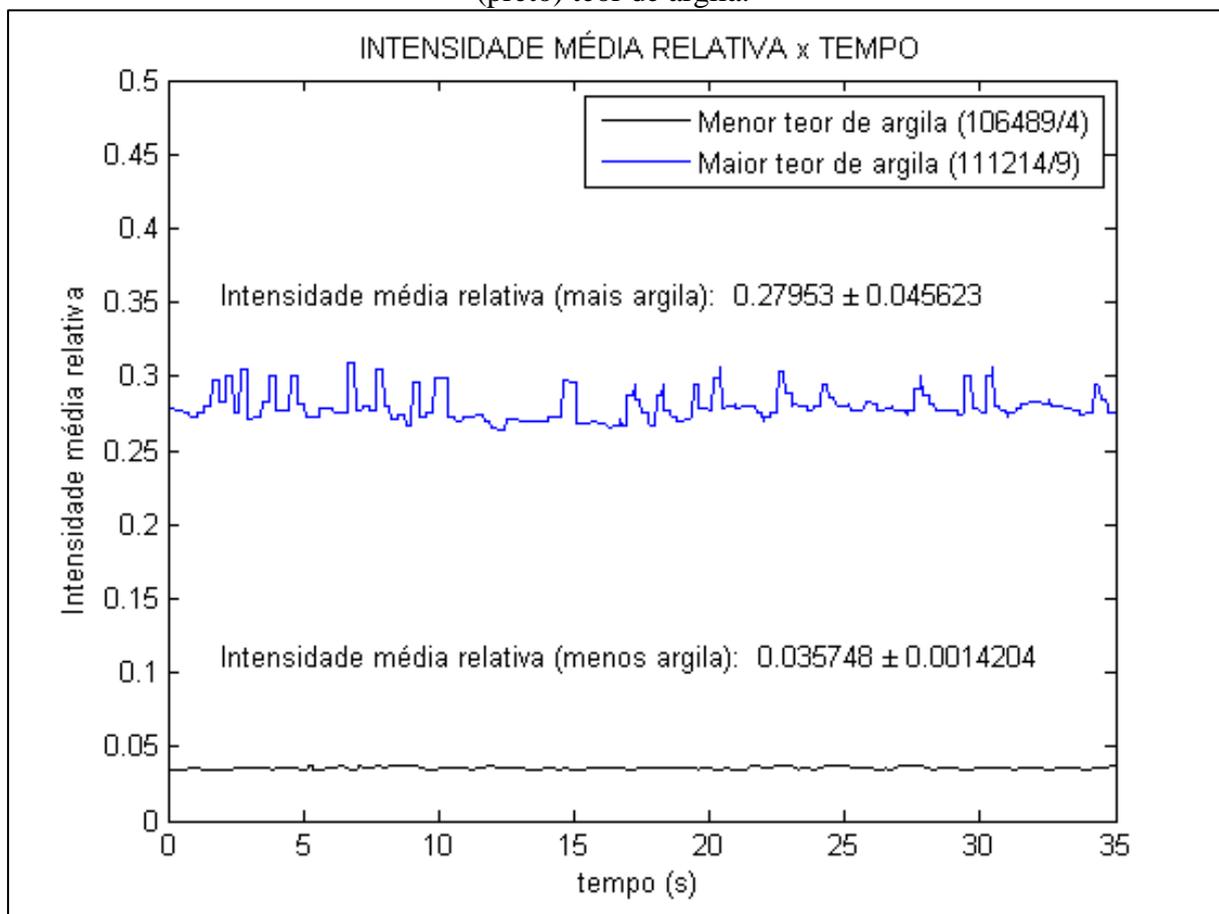
Tab. 1. Quantidades relativas de argila, areia e silte nas amostras.

amostras	argila (g/kg)	areia (g/kg)	silte (g/kg)
106489/4	56 ± 0,5	938 ± 0,5	178 ± 0,5
111214/9	246 ± 0,5	576 ± 0,5	6 ± 0,5

Fonte: (Grupo de Óptica e Aplicações, 2022).

O laser utilizado possuía comprimento de onda de $632,8 \times 10^{-9} \text{m}$ e potência de $2,1 \times 10^{-2} \text{W}$. O filtro espacial continha uma objetiva de 10x de aumento e um pinhole com diâmetro de $2,5 \times 10^{-5} \text{m}$. O diâmetro do feixe de luz, selecionado pela íris, foi de $(2,0 \pm 0,2) \times 10^{-2} \text{m}$. Foram registrados 3 vídeos, de cada amostra, com aproximadamente $\Delta t = 40 \text{s}$ de exposição da luz resultante, por vídeo. A Fig. 4 apresenta o gráfico com as curvas de intensidade relativa média em função do tempo para um dos pares de amostras com maior e menor teor de argila.

Fig. 4. Gráfico do padrão de interferência *Speckle* para amostras com maior (azul) e menor (preto) teor de argila.



Fonte: (Grupo de Óptica e Aplicações, 2023).

Durante as observações visuais, verificou-se maior dinâmica de intensidade nas amostras com maior teor de argila, comprovando qualitativamente as hipóteses apresentadas. Em todos os pares de amostras estudadas observou-se o mesmo comportamento apresentado no gráfico da Fig. 4, mostrando que existe maior atividade de interferência *Speckle* para as amostras com maior teor de argila em relação as amostras com menor teor de argila, comprovando quantitativamente as hipóteses apresentadas. Os valores médios das distribuições, para as amostras estudadas, não apresentaram valores médios iguais, mas as incertezas os mantêm estatisticamente com os mesmos valores, dentro da tolerância, para cada resultado. Somente um estudo envolvendo uma diversidade grande de amostras produzirá resultados melhores, aproximando os valores médios de intensidades e, com isso, diminuindo as suas incertezas relativas, segundo a Teoria de Erros. Este trabalho está em andamento, utilizando a mesma metodologia e calibração deste trabalho. O que se espera é que os resultados aqui apresentados se confirmem, com melhor acurácia.

4. Considerações finais

Diante dos resultados apresentados, em que a hipótese foi confirmada, o objetivo foi alcançado e conclui-se que a metodologia *Speckle* é uma alternativa inovadora nos estudos de solos. Este trabalho apresenta-se como uma contribuição para as áreas de Agricultura de Solos e Óptica Aplicada e, certamente, será de interesse dos pesquisadores tanto de Tecnologia quanto de Ciência, bem como dos empreendedores, especialmente da área de Agricultura de Precisão, na evolução da melhoria de qualidade do plantio de alimentos.

Agradecimentos

Agradecimentos especiais à Fatec Itaquera que possibilita a existência do Laboratório de Óptica e Aplicações onde as coletas e processamentos dos dados são realizadas com auxílio dos excelentes alunos de Iniciação Científica e aos pesquisadores Prof. Dr. Gustavo Chiacchio Faulin e Prof. Me. Luis Eduardo Rissato Samariolli do Laboratório de Solos e Tecido Vegetal da Fundação Nishimura da Fatec Pompeia.

Referências

- [1] CENTENO, L. N. et al. **Textura do solo: conceitos e aplicações em solos arenosos**. Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade (Pelotas - RS), v. 4, n. 1, p. 31-37, 2017. ISSN: [2448-1661](#)
- [2] KLEIN, V. A. et al. **Textura do solo e a estimativa do teor de água no ponto de murcha permanente com psicrômetro**. Ciência Rural – Santa Maria, v. 40, n. 7, p. 1550-1556, 2010. ISSN: [0103-8478](#)
- [3] HECHT, E. **Óptica**. Segunda Edição, Lisboa, Portugal. Fundação Calouste Gulbenkian, 2002. ISBN: [9723109670](#)
- [4] GASVIK, K. J. **Optical Metrology**. Third Edition. England: John Wiley & Sons Ltd., 360 p., 2002. ISBN: [9780470843000](#)
- [5] GUENTHER, R. D. **Modern Optics**. United States of America. John Wiley & Sons, 1990. ISBN: [0471605387](#)
- [6] FAULIN, G. D. C. et al. **Aplicação da Metodologia Speckle na investigação da classe textural do solo**. Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, ConBAP. Campinas, 2022.
- [7] DA SILVA, S. L. et al. **Determinação de propriedades mecânicas do aço 1010 sob tensão no regime elástico por meio de Speckle dinâmico**. Revista Brasileira de Física Tecnológica Aplicada, v. 4, n. 1, p. 1-15, 2017. DOI: [10.3895/rbfta.v4n1.5406](#)
- [8] MARCHIORI, M. M.; DE SOUZA, A. J. **Estudo para a proposição de um novo método de medição de rugosidade baseado em reflexão difusa de LASER**. In: 7º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas, 2013.
- [9] JUNIOR, R. D. P.; MURAMATSU, M. **Desenvolvimento de um rugosímetro a LASER**. Revista de Física Aplicada e Instrumentação. v. 17, n. 2, 2004. ISSN: [0102-6895](#)
- [10] PRAZAK, D.; OHLIDAL, M. **Laser Speckle spectral correlation and surface roughness**. In: 12th Czech-Slovak Polish Optical Conference on Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics. International Society for Optics and Photonics, p. 339-347, 2001.

Anais da VII Mostra de Docentes em RJJ

- [11] SANTOS, L. D. V. et al. **Avaliação do comportamento do biospeckle em diferentes níveis de umidade do solo.** *Brasilian Journal of Development*, v. 6, n. 7, p. 52891-52908, 2020. DOI: [10.34117/bjdv6n7-892](https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-892)
- [12] NASSIF, R. et al. **Retrieving controlled motion parameters using two speckle pattern analysis techniques: spatiotemporal correlation and the temporal History speckle pattern,** *Applied Optics*, v. 52, Issue 31, p. 7564-7569, 2013. DOI: [10.1364/AO.52.007564](https://doi.org/10.1364/AO.52.007564)
- [13] ARIZAGA, R. et al. **Speckle time evolution characterization by the co-occurrence matrix analysis,** *Optics & Laser Technology*, v. 31, Issue 2, p. 163-169, 1999. DOI: [10.1016/S0030-3992\(99\)00033-X](https://doi.org/10.1016/S0030-3992(99)00033-X)
- [14] VANIN, V. R.; GOUFFON, P.; HELENE, O. A. M. **Tratamento Estatístico de Dados em Física Experimental.** 2ª Edição. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 116 p., 1991. ISBN: [9788521200062](https://www.isbn-international.org/number/9788521200062)
- [15] VUOLO, J. H. **Fundamentos da Teoria de Erros.** 2ª edição. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 264 p., 1996. ISBN: [9788521200567](https://www.isbn-international.org/number/9788521200567)
- [16] BRISOLA, D. F. et al. **Otimização no preparo de amostras para a análise em espectrofotômetro de fluorescência de raios X,** XVI Jornada de Iniciação Científica - CETEM, 2008.
- [17] NOGUEIRA, A. R. de A. **Preparo de amostras,** VIII Encontro Nacional sobre Métodos dos Laboratórios da Embrapa, 2003.
- [18] PAULA, M. E. C. C. et al. **Manual de métodos de análise de solo.** Segunda edição. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisas do Solo da Embrapa, 212 p., 1997. ISBN: [85-85864-03-6](https://www.isbn-international.org/number/85-85864-03-6)