



**Ciências
ULisboa** Faculdade
de Ciências
da Universidade
de Lisboa

Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia

Mestrado em Engenharia Geoespacial

Geodesia Espacial

2021 – 2022

FC57541 – SÍLVIA MOURÃO

1. Introdução e Estado da Arte

Este relatório tem como objetivo analisar o trabalho desenvolvido por Privette III *et al.* [2016], onde foi explorada pelos autores a relação entre o sinal GPS refletido e o valor de humidade presente no solo, utilizando vários fatores de teste como variáveis para um modelo de regressão.

A principal aplicação do método desenvolvido neste trabalho é no âmbito da agricultura de precisão, através da aplicação de irrigação variável. A tecnologia de VRI (“variable rate irrigation”) é um conceito relativamente recente em agricultura, que aplica uma taxa de irrigação específica para cada zona dentro de um terreno, reduzindo significativamente o consumo de água, o escoamento e a perda de nutrientes para águas subterrâneas. Para que estes sistemas sejam bem-sucedidos é necessário que exista uma medição contínua e em tempo real da humidade do solo.

Atualmente, os principais métodos utilizados para efetuar medições do conteúdo de água presente no solo consistem principalmente em diversos tipos de sensores, cuja performance é comparada por Leib *et al.* [2003], para medir a humidade do solo em localizações discretas, ou através da utilização da deteção remota na região das micro-ondas, que utiliza frequências de 1-2GHz, sensíveis a variações nas propriedades dielétricas do solo. Estes métodos têm, no entanto, limitações na sua aplicação a projetos de agricultura de precisão, nomeadamente o elevado número de sensores necessários para adquirir uma boa caracterização do terreno, ou a baixa disponibilidade de imagens de satélite, impossíveis de utilizar para trabalhos em tempo real.

Visto que a constante dielétrica do solo está relacionada com os conteúdos de humidade próximos da superfície, o sinal L1 do GPS, com uma frequência de 1.575 GHz, tem também sido utilizado para

deteção da humidade do solo com recurso a aviação militar [Katzberg et al., 2006]. Uma comparação recente entre as várias técnicas foi elaborada por Babaeian *et al.* [2019].

Uma outra abordagem é a aplicação do sistema GPS Delay Mapping Receiver – DMR, desenvolvido em 2002 pela NASA, uma tecnologia de sensor que opera através da gravação do sinal GPS refletido pela superfície da Terra. Em estudos anteriores [Rodriguez-Alvarez et al., 2009], foram detetadas correlações significativas entre a medida de refletividade e a quantidade de água presente nos 25cm superiores do perfil do solo sem vegetação, no entanto, existem muitos outros fatores que podem afetar a refletividade do sinal GPS, sendo necessário continuar a testar e refinar este método. O objetivo deste estudo é a determinação dos efeitos do tipo, compactação e cobertura do solo nos valores de refletividade da humidade do solo.

Este artigo foi publicado no ano de 2016, tendo sido desde então desenvolvidos outros projetos que tentaram alargar os resultados deste estudo a uma maior área [Saleem et al., 2021] mas foram também desenvolvidos métodos completamente diferentes como a deteção do conteúdo de água no solo com recurso a transmissores WiFi no subsolo [Salam et al., 2019].

2. Metodologia

A área de estudo consistiu num terreno com 2.5 ha, na Carolina do Sul, onde estão presentes três tipos de solo com composições diferentes, que podem ser vistas na tabela 1.

Antes do início dos testes, a condutividade elétrica do solo (EC) foi medida com um sensor, para determinar variações nas suas propriedades físicas ao longo do campo, tendo sido obtidos 10 pares de medidas (para cada par medidas com profundidade de 0.3m e 0.9m), e foi depois criado um mapa de EC com recurso a software GIS.

O campo de teste foi dividido em 3 regiões diferentes, baseados na textura do solo e nos valores de EC do solo. Cada zona foi depois dividida em 3 blocos, sendo 7 tratamentos diferentes aplicados aleatoriamente às parcelas de cada bloco em cada zona:

- 1-3 plantação de centeio a três densidades diferentes
- 4 solo sem vegetação e sem compactação
- 5-7 solo sem vegetação, com três níveis de compactação

Para cada zona foram ainda estabelecidos três níveis de humidade diferentes.

A plantação do centeio foi realizada a três densidades diferentes, seis meses antes das experiências. Após a recolha dos sinais refletidos GPS, foram determinadas para cada parcela a densidade de vegetação à superfície e a biomassa. Os diferentes tipos de compactação do solo foram obtidos por passagens com trator pelas parcelas, duas semanas antes da recolha de dados.

Com recurso ao DMR foram feitas medições da refletividade em cada parcela ao longo do centro do retângulo. A área coberta pelo DMR neste trabalho varia entre 7.2 a 5.4 m² para um ângulo de elevação do satélite de 60° a 90°, respetivamente. Foram também realizadas medidas da humidade do solo para cada parcela com uma sonda manual.

Depois da recolha dos dados estes são pós processados e a refletividade é determinada pela razão do poder total refletido (detetado pelo DRM) pelo poder total adquirido pela antena de satélite apontada ao céu.

Um modelo de regressão linear simples foi desenvolvido, que relaciona os dados de refletividade com os dados de humidade do solo. Uma análise de variância foi utilizada para determinar se o parâmetro da inclinação do modelo de regressão linear simples era significativa e o coeficiente de determinação (R^2) foi registado. Para determinar se um modelo mais complexo é necessário para descrever a relação entre a refletividade e a humidade do solo, uma serie de modelos de regressão linear múltipla foram desenvolvidos. A raiz quadrada da refletividade GPS “Índice de Refletividade” (RI) foi utilizado pois o RI e a humidade aparentam ter uma relação linear simples. Finalmente, o modelo de regressão linear simples foi calculado a cinco profundidades de solo diferentes (5-25 cm) para determinar se a força desta relação depende da profundidade. Todos os testes utilizaram uma significância de 0.05.

3. Resultados

Os resultados obtidos confirmam a relação entre a refletividade e a humidade do solo, sendo que os outros parâmetros têm um efeito desprezável nesta relação. Os testes aos vários modelos de regressão estão representados em forma de gráficos e são referenciados durante o texto como figura *x*, sendo que todos estes estão disponíveis na secção de anexos no final do relatório.

A figura 2 mostra a relação entre o conteúdo de humidade no solo e o índice de refletividade. Uma relação linear positiva forte existe entre estas duas medidas nos 25 cm superiores do solo ($R^2 = 0.788$). O modelo linear estimado para esta relação está descrito na equação 1, também disponível em anexo. O aumento estimado de refletividade por unidade de percentagem de humidade no solo é de 0.0273. Isto indica que este modelo tem potencial para estimar conteúdos de humidade no solo pela refletividade utilizando a regressão inversa.

A figura 3 mostra a relação entre o índice de refletividade e o conteúdo de humidade do solo, separados por tipo de tratamento. Utilizando um modelo de regressão linear múltiplo com o valor da humidade, o efeito do tratamento e a interação entre os dois, o termo correspondente à interação não é significativo no modelo, o que se traduz em declives semelhantes das retas de regressão para os três tratamentos.

Em semelhança ao resultado anterior, a figura 4 mostra a relação entre o índice de refletividade e o conteúdo de humidade do solo, separados pelos três tipos de solo. Mais uma vez, a regressão linear múltipla conclui que o termo da interação não é significativo no modelo, pelo que, mais uma vez, inclinações das retas para os três tipos de solo não são diferentes.

Os resultados obtidos sugerem que a relação entre a refletividade e a humidade é consistente, mas para confirmação foram criados dois modelos adicionais de regressão múltipla para análise. Um dos modelos incluía a medida de compactação e o outro incluía a biomassa. Tal como nos últimos testes, os termos de interação não foram significativos, ou seja, mais uma vez as inclinações das retas de regressão dos modelos são semelhantes. Uma análise adicional aos dados indicou também que a sensibilidade do sinal da banda L1 (1.575GHz) para o conteúdo de humidade no solo mudou com a profundidade. A relação entre os dois é mais forte (medida em R^2) nos primeiros 5 cm de solo, decrescendo à medida que a profundidade da amostra aumentou, devido a uma menor penetração do sinal GPS, demonstrado na fig 5. Esta relação aparente da profundidade pode, no entanto, estar relacionada com a relação interna da humidade do solo com o perfil do próprio solo.

4. Conclusão

Foi encontrada uma relação significativa entre o índice de refletividade e o conteúdo de humidade, especificamente, o índice de refletividade aumentou aproximadamente 0.02 à medida que o conteúdo de humidade aumenta. Numa serie de modelos de regressão linear múltipla, a interação entre a humidade do solo e os vários fatores considerados no estudo foram declarados como não significantes. Isto evidencia que a relação é relativamente estável. Estes resultados sugerem que esta tecnologia tem potencial para estimar conteúdo volumétrico de humidade do solo no âmbito da irrigação de precisão.

5. Referências

- Babaeian, E., Sadeghi, M., Jones, S. B., Montzka, C., Vereecken, H., & Tuller, M. (2019). “Ground, Proximal, and Satellite Remote Sensing of Soil Moisture.” *Reviews of Geophysics*, Vol. 57, No. 2, pp.530–616.
- Katzberg, S. J., Torres, O., Grant, M. S., & Masters, D. (2006). “Utilizing calibrated GPS reflected signals to estimate soil reflectivity and dielectric constant: Results from SMEX02.” *Remote Sensing of Environment*, Vol. 100, No. 1, pp. 17–28.
- Leib, B. G., Jabro, J. D., & Matthews, G. R. (2003). “Field evaluation and performance comparison of soil moisture sensors.” *Soil Science*, Vol. 168, No. 6, pp.396–408.
- Privette III, C. V., Khalilian, A., Bridges, W., Katzberg, S., Torres, O., Han, Y. J., Maja, J. M., Qiao, X. (2016). “Relationship of Soil Moisture and Reflected GPS Signal Strength.” *Advances in Remote Sensing*, Vol. 5, No. 1, pp. 18–27.
- Rodriguez-Alvarez, N., Bosch-Lluis, X., Camps, A., Vall-Llossera, M., Valencia, E., Marchan-Hernandez, J. F., & Ramos-Perez, I. (2009). “Soil moisture retrieval using GNSS-R techniques: Experimental results over a bare soil field.” *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 47, No.11, pp. 3616–3624.
- Salam, A., Vuran, M. C., & Irmak, S. (2019). “Di-Sense: In situ real-time permittivity estimation and soil moisture sensing using wireless underground communications.” *Computer Networks*, Vol. 151, pp. 31–41.
- Saleem, M. F., Arif, H., & Ahmad, H. H. (2021). “Estimation of relation between moisture content of soil and reflectivity index using GPS signals.” *International Journal of Innovations in Science & Technology*, Vol. 3, pp. 102–112.

6. Anexos

Tabela 1 - Descrição da composição dos três tipos de solo utilizados no estudo

Soil type	Family	Sand (%)	Clay (%)
Faceville	Clayey-kaolinitic-thermic, Typic Paleudults	78.3	12.5
Fuquay	Loamy-siliceous-thermic, Arenic Plinthic Paleudults	85.5	8.9
Lakeland	Siliceous-thermic-coated, Typic Quartzipsamments	89.5	6.3

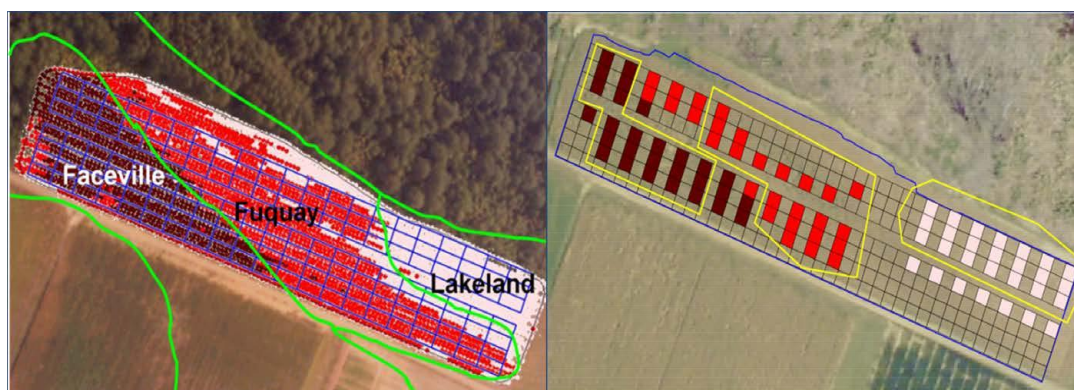


Figura 1 - Tipo de solo e distribuição das parcelas da área experimental

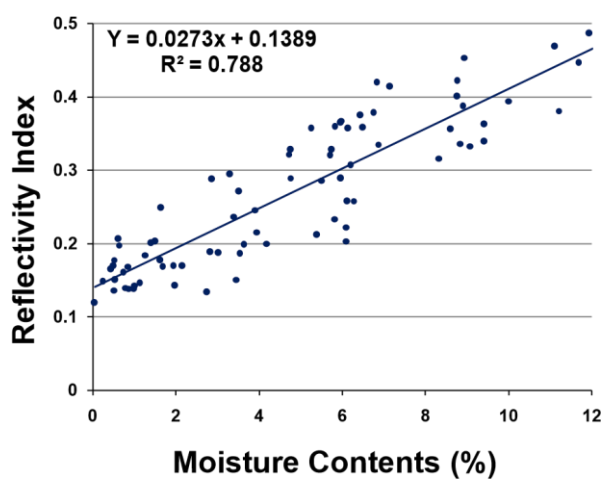


Figura 2 - Efeito do conteúdo de humidade no solo no índice de refletividade

$$RI = 0.1389 + 0.0273M$$

Equação 1 - Relação entre o índice de refletividade (RI) e o conteúdo de humidade no solo (M)

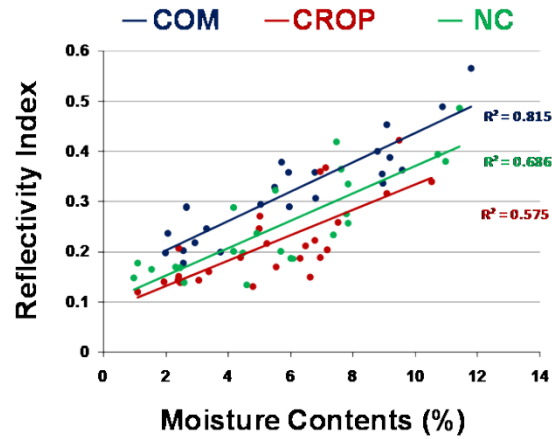


Figura 3 - Relação do índice de refletividade e do conteúdo de humidade no solo separado por tipo de tratamento: compactado (COM), não compactado (NC) e solo coberto (CROP)

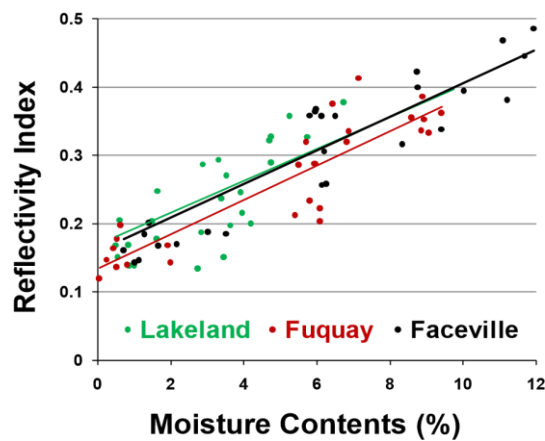


Figura 4 - Relação do índice de refletividade e do conteúdo de humidade no solo separado por tipo de solo: Lakeland, Fuquay, Faceville

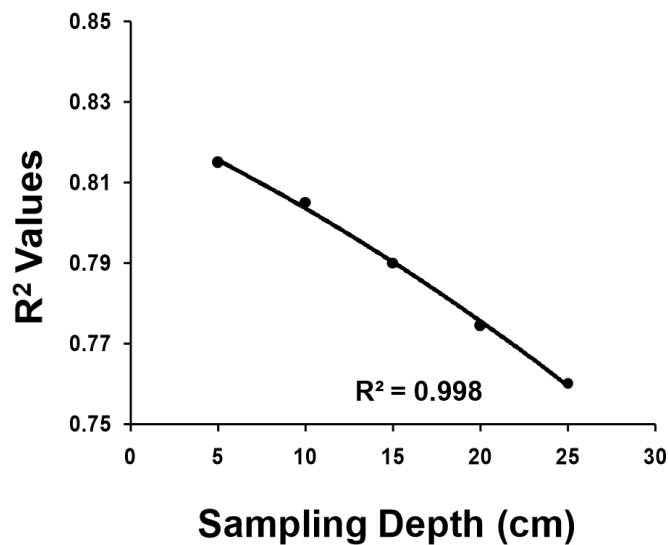


Figura 5 - Relação entre R^2 e profundidade da amostra do solo