

Índice S em solo subsolado da região dos Tabuleiros Costeiros, Espírito Santo

Joabe Martins de Souza¹; Robson Bonomo²; Diego Zancanella Bonomo²; Fábio Ribeiro Pires²

¹Universidade Federal do Espírito Santo, UFES. Alto Universitário, s/n, Guararema, CEP 29500-000. Alegre, ES, Brasil. Email: joabenv@gmail.com.

²Universidade Federal do Espírito Santo, UFES. Rodovia BR 101 Norte, km 60, Bairro Litorâneo, CEP 29932-540, São Mateus ES, Brasil. E-mails: robson.bonomo@gmail.com, diegozancanella@yahoo.com.br, pires.fr@gmail.com.

Resumo: O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do preparo mecânico do solo nos atributos físicos por meio do índice S, submetidos a subsolagem para o plantio de café Conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) no geoambiente de Tabuleiros Costeiros na região norte do Estado do Espírito Santo. A área do experimento foi composta por três talhões T11, T7 e T3, cultivadas com cafeeiro a 11, 7 e 3 anos, respectivamente, que foram submetidas à subsolagem na linha de cultivo na implantação do cafezal. Foram retiradas amostras indeformadas, na linha (P1) e entrelinha (P2) da cultura e nas profundidades 0,00-0,20; 0,20-0,40; 0,40-0,60; e 0,60-0,80 m. O delineamento experimental foi inteiramente ao caso, com três repetições. O índice S foi obtido através da segunda derivada da curva de retenção de água no solo, posteriormente os dados foram correlacionados com os atributos físicos do solo. Com base no índice S a qualidade estrutural do solo variou de boa a muito boa. No T7 para o P1 verificou-se um maior índice S nas camadas de 0,20-0,60 m em relação aos demais talhões estudados apresentando altos valores do índice S para a linha de cafeeiro, praticamente em todas as profundidades exceto para a camada de 0,60-0,80 m em T11. A subsolagem proporcionou melhoria na qualidade estrutural do solo, correlacionando-se com os atributos físicos do solo. O índice S aumentou com aumento da macroporosidade e volume total de poros e diminuiu com densidade e microporosidade do solo, mostrando-se uma boa ferramenta para verificar a qualidade física do solo mantidas as condições edafoclimáticas deste estudo.

Palavras chave: *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, preparo do solo, qualidade do solo.

Index S in soil subsoiling of the region of the Coastal Tablelands, Espírito Santo

Abstract: The objective of the study was to evaluate the effect of mechanical tillage on physical attributes through the S, subjected to subsoiling for planting coffee Conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) in geoambiente of Coastal Tablelands in the Northern state of the Espírito Santo. The area of the experiment consisted of three plots T11, T7 and T3 cultivated with coffee for 11, 7 and 3 years, respectively, which underwent subsoiling in the row of plants in the implementation of the plantation. Undisturbed samples were taken in row (P1) and interrow (P2) of crop at depths 0-0.20; 0.20-0.40; 0.40-0.60; and 0.60-0.80 m. The experimental design was completely randomized with three replications. The index S was obtained by the second derivative of the water retention curve of the soil and then the data were correlated with the physical characteristics of the soil. Based in the S structural soil quality ranged from good to very good. In T7 for P1 there was a high values of S index were verified in layer of 0.20-0.60 m compared to the other studied plots showing high values for the S index for line of coffee, virtually in all depths except for 0.60-0.80 m in T11. Subsoiling provided an improvement in the structural quality of soil, correlating with the physical attributes of the soil. The S index increased with increase in porosity and total pore volume and decreases with bulk density and soil microporosity, showing a good tool to verify the physical quality of the soil maintaining the edaphoclimatic conditions of the study.

Key words: *Coffea canephora* Pierre ex Froehner; soil tillage, soil quality.

Introdução

As práticas de preparo do solo realizadas antes da implantação de qualquer cultura podem promover melhorias na qualidade estrutural do solo. Essas melhorias são importantes para os solos de Tabuleiros Costeiros do norte do Espírito Santo, já que os mesmos apresentam um horizonte coeso em camadas subsuperficiais.

Segundo Nacif et al. (2008) esses horizontes coesos afetam os processos e fenômenos físicos no solo com destaque para drenagem, teor de água disponível, aeração, temperatura, penetração radicular e absorção de nutrientes, com reflexos negativos na produção agrícola, sintomas esses considerados por Dexter (2004) como má qualidade física do solo, esses solos ocupam área de aproximadamente 29 % da superfície do estado do Espírito Santo (IJSN, 2012). Neste sentido, Oliveira e Neto (2011) afirmaram que características e propriedades físicas do solo são de fundamental importância para o seu manejo. As ferramentas mais comumente utilizadas para quantificação da degradação da qualidade do solo segundo Silva et al. (2012) são a densidade e a porosidade do solo.

Segundo Machado et al. (2008), alguns estudos mostram que a curva de retenção de água permite encontrar relações de dependência entre os coeficientes da equação matemática que descrevem diversos atributos do solo. Como os diferentes sistemas de uso e manejo do solo podem promover modificações na sua estrutura e no seu comportamento físico-hídrico, a curva de retenção pode ser utilizada na avaliação da qualidade do solo e nortear práticas sustentáveis de produção agrícola, mediante esta inter-relação.

Um avanço na quantificação da qualidade estrutural do solo, a partir da curva de retenção de água no solo (CRA) foi proposto por Dexter (2004), introduzindo o índice S (S de "slope" = declividade), o qual é baseado no ponto de inflexão da CRA, em que o principal interesse está no ponto de inflexão CRA. Tanto a posição do ponto de inflexão quanto o seu coeficiente angular na CRA são importantes. O ponto de inflexão da CRA é o ponto em que a segunda derivada da curva de retenção é nula e a primeira

derivada muda de negativo (convexidade) para positivo (concavidade) (SILVA et al., 2010).

O índice S foi proposto por Dexter (2004) sendo aceito como parâmetro indicador da qualidade estrutural de solos por representar a distribuição do tamanho de poros de maior frequência, o que torna possível a comparação direta dos efeitos de diferentes práticas de manejo em diferentes solos (Silva et al., 2012). Valores para o índice S foram propostos por Dexter (2004), para classificar a qualidade física do solo, em que valores de $S \geq 0,050$ o solo apresenta qualidade muito boa, $0,050 > S \geq 0,035$, boa qualidade, $0,035 > S \geq 0,020$, pobre, e $0,020 > S$ muito pobre.

Os atributos indicadores da qualidade física do solo estão inter-relacionados porque todos refletem a estrutura do solo, mas a medição de todos esses atributos pode consumir muito tempo, e, portanto, é desejável obter um parâmetro simples para avaliação global. O parâmetro S então pode servir a esse propósito, mas a teoria precisa ser validada em solos submetidos a práticas de manejo diferentes (LI et al., 2011).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do preparo mecânico do solo nos atributos físicos por meio do índice S, submetidos a subsolagem para o plantio de café Conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) no geoambiente de Tabuleiros Costeiros na região norte do Estado do Espírito Santo.

Material e métodos

O presente trabalho foi desenvolvido em área com cultivo de café Conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) localizada próxima a rodovia São Mateus – Nova Venécia-ES, latitude $18^{\circ}43'58,57''$ S e $40^{\circ}5'52,97''$ O, com lavouras já implantadas e manejadas. O espaçamento empregado é de 3,0 x 1,0 m, sendo utilizado o sistema de poda programada do Conilon, onde é feita a renovação, poda drásticas das plantas, a cada quatro safras.

O clima do município de São Mateus é Aw, segundo classificação de Köppen, caracterizado

por clima tropical úmido, com inverno seco e chuvas máximas no verão. A precipitação média anual de 1.200 mm concentra-se entre os meses de novembro e janeiro. A temperatura média anual é de 23 °C, e as médias máximas e mínimas são de 29 °C e 18 °C, respectivamente.

O solo da área de estudo foi classificado como Argissolo Amarelo Coeso, textura média no horizonte superficial A e argilosa no horizonte subsuperficial B conforme Embrapa (2006).

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso, sendo um fatorial 3 x 4 x 2, com três repetições, três talhões com idades diferentes T11 (11 anos), T7 (7 anos) e T3 (3 anos) e quatro profundidades amostradas (0,00-0,20; 0,20-0,40; 0,40-0,60; e 0,60-0,80 m) e dois pontos P1 (linha do cafeeiro) e P2 (entrelinha do cafeeiro).

Os três talhões foram submetidos à subsolagem na linha do cafeeiro, na época de plantio, para subsolagem do terreno com a utilização de um trator Valmet traçado de 140 cv, com subsolador de 4 hastes de 0,50 m (T11 – 11 anos), um trator de esteira Caterpillar D6 com ripper de 0,80 m (T7 – 7 anos) e um trator de pneu John Deere de 180 cv com ripper de 0,80 m (T3 – 3 anos).

O manejo mecanizado da área ocorre no plantio e a cada 4 anos, com a realização da poda drástica das plantas de 0,20-0,40 m de altura do solo. Nesta ocasião ocorrem as práticas mecanizadas com a entrada de um trator de pneu de 65 cv, com triturador e aplicador de calcário. Ao longo do primeiro ano de implantação da lavoura, e no período de pós-poda, ocorrem também a aplicação de adubo foliar e defensivos, com média de cinco tráfegos, utilizando um trator Agrale 4200.

As amostras com estrutura indeformada, utilizadas para a determinação da densidade do solo e porosidade do solo foram coletadas nos pontos e profundidades anteriormente citadas, com o auxílio de um amostrador de Uhland, utilizando cilindros com 0,05 m de diâmetro e 0,03 m de altura.

Nestas amostras foi determinado o volume total de poros (VTP) como sendo igual à umidade de saturação ($m^3 m^{-3}$) e na unidade de sucção estando as amostras submetidas à tensão de 6 kPa foi determinada a microporosidade (MICRO), ($m^3 m^{-3}$). Por diferença entre VTP e Micro foi calculada a macroporosidade (MACRO), ($m^3 m^{-3}$);

a densidade do solo (D_s) foi determinada com base na relação entre massa e volume, expresso em $Mg m^{-3}$ segundo metodologia Embrapa (1997). Já para a determinação da curva de retenção de água no solo (CRA), empregou-se o extrator de Richards, sendo as amostras submetidas às tensões de 6, 10, 30, 50, 100, 300, 500, 1500 kPa conforme Embrapa (1997).

As curvas de retenção de água foram ajustadas empregando-se o modelo de Van Genuchten (1980) com restrição de Mualem (1976) [$m = 1 - (1/n)$], mediante o software SWRC (DOURADO NETO et al., 2001). Para cálculo do parâmetro S empregou-se a Equação 1, apresentada por Dexter (2004) que é utilizada quando o ajuste é feito pelo modelo de Van Genuchten (1980).

$$S = -n(\theta_s - \theta_r) \left[1 + \frac{1}{m} \right]^{-(1+n)} \quad (1)$$

em que:

S = valor da inclinação da CRA no seu ponto de inflexão;

θ_r = umidade volumétrica do solo na tensão de 1500 kPa ($m^3 m^{-3}$);

θ_s = umidade volumétrica do solo saturado ($m^3 m^{-3}$); e

m, n = parâmetros empíricos da equação, obtidos pelo ajuste do modelo.

Os resultados obtidos dos atributos físicos foram submetidos à análise de variância. As médias foram comparadas pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Além disso, para verificar relações entre o que apresentou o índice S e os atributos físicos do solo, foi realizado complementarmente correlação linear de Pearson e regressão. Os dados foram submetidos à análise estatística utilizando o programa GENES (CRUZ, 2013).

Resultados e discussão

Apesar do aumento em profundidade no talhão T7, este apresentou um comportamento diferente dos demais, onde apesar de serem estatisticamente iguais entre os pontos nas profundidades, o P2 obteve maiores médias de microporos nesse ponto. A densidade do solo

apresentou menor valor nas camadas de 0,00-0,20 e também diferiu entre os pontos estudados nessa camada, sendo observado menores valores médios para T7 (Tabela 1). Para o volume total de poros (VTP) encontrou-se valores superiores a $0,40 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ nas camadas de 0,00-0,40 no T11 e de 0,00-0,60 m no T7 e para todas as camadas do T3, entre os pontos apresentou-se diferenças estatísticas nas camadas de 0,20-0,40 m nos talhões T11 e T3 e diferiu nas camadas de 0,00-0,80 m no T7 (Tabela 1). O volume total de poros apresentou comportamento inverso à densidade do solo, observando estreita relação entre a estrutura do solo e distribuição de poros, resultado esse que corrobora estudos de Bavoso et al. (2010) e Jorge et al. (2012). Estes resultados mostram que o preparo do solo com subsolagem promoveu uma melhoria das condições físicas do solo com redução da Ds e aumento do VTP na linha de plantio.

A macroporosidade decresceu com aprofundidade, fato evidente nos talhões T11 e T3. A microporosidade aumentou com a profundidade em todos os talhões estudados, e apesar de não apresentar diferença estatística entre os pontos observa-se uma maior microporosidade no ponto P1 em relação a P2 (Tabela 1). Esse aumento da microporosidade em profundidade, com diminuição da macroporosidade proporcionada pelo aumento da densidade do solo, comprova que no processo de compactação ocorre a transformação de macro em microporos, resultados que corroboram estudos realizados por Souza et al. (2010).

A qualidade estrutural do solo, considerando o índice S, foi classificada como boa ($0,050 > S \geq 0,035$) a muito boa ($S \geq 0,050$), de acordo com Dexter (2004), apresentando altos valores do índice S para a linha de café, praticamente em todas as profundidades, exceto para a camada de 0,60-0,80 m em T11 (Tabela 2). Por outro lado, o T7 para o P1 obteve um maior índice S nas camadas de 0,20-0,60 m em relação aos demais talhões estudados (Tabela 2), fato ligado ao maior volume total de poros presentes, decorrente da maior estruturação deste solo (Tabela 1). Este resultado corrobora

aos de Tormena et al. (2008), estudando a hipótese de que o S poderia ser utilizado como indicador da qualidade física de um Latossolo Vermelho distroférico. Estes autores verificaram que, maiores valores de S na linha, tanto em plantio direto com em plantio convencional em milho e relataram ainda uma redução no índice S com aumento da densidade do solo, indicando redução da qualidade estrutural do solo com a compactação.

O alto índice S ($S > 0,050$) na camada de 0,00-0,40 m em P2 pode estar relacionado ao acúmulo de matéria orgânica, obtida pela deposição de restos culturais no manejo de podas do café Conilon, deixados na entrelinha do café, prática essa realizada por grande parte dos agricultores.

Verificou-se também uma correlação negativa ($r = -0,79$) entre a Ds e o índice S na linha do café (P1), de forma que quando aumenta a Ds, o índice S sofre uma redução, incremento esse explicado por 63% da variabilidade de S, salientando a sensibilidade deste índice como indicador da mudança estrutural do solo (Figura 1). Resultado esse similar aqueles encontrados por Silva et al. (2012), que trabalhando com um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado cultivado com café sob técnicas de manejo intensivo, encontrou uma correlação entre densidade do solo e índice S na linha de café.

Os maiores valores de índice S equivalem à maior inclinação da curva de retenção de água no solo (DEXTER, 2004), indicando melhor distribuição de poros e maior quantidade de poros com maior diâmetro (SILVA et al., 2012). Comportamento também encontrado neste trabalho, nos quais a macroporosidade apresentou correlação positiva ($r = 0,90$) na linha (P1) (Figura 1). O VTP e MICRO também apresentaram boa correlação, conforme observado por Li et al. (2011) e Cunha et al. (2011). A MACRO apresentou o maior incremento no índice S no ponto P1, sendo responsável por 83% da variabilidade do índice S nesse ponto. Por outro lado, a VTP e o MICRO apresentaram coeficientes de determinação em torno de 60 %.

Tabela 1 - Densidade do solo (Ds), volume total de poros (VTP), microporosidade (Micro) e macroporosidade (Macro), determinados na linha (P1) e na entrelinha (P2), em quatro profundidades de amostragem, em três talhões de produção de café Conilon, T11 (11 anos), T7 (7 anos) e T3 (3 anos).

Talhão	Profundidade (m)	Atributos Físicos do solo											
		DS (Mg m^{-3})		VTP ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)		MACRO ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)		MICRO ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)					
		P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2				
T11	0,00-0,20	1,36 Fb	1,53 Ba	43,85 ABCa	40,32 ABa	19,83 ABCa	22,42 Aa	24,02 ABa	17,90 Db				
	0,20-0,40	1,51 ABCDEFa	1,61 ABa	44,68 ABCa	39,75 ABb	20,21 ABCa	17,35 ABa	24,47 ABa	22,40 BCDa				
	0,40-0,60	1,72 Aa	1,60 ABa	38,41 Ca	39,62 ABa	9,06 Ca	11,54 ABa	29,34 ABa	28,08 ABCDa				
	0,60-0,80	1,66 ABC a	1,66 ABa	39,21 Ca	40,93 ABa	9,51 Ca	11,38 ABa	29,70 Aa	29,54 ABCa				
T7	0,00-0,20	1,38 EFb	1,60 ABa	48,84 Aa	36,65 Bb	28,52 Aa	18,72 ABb	20,31 ABa	17,93 Da				
	0,20-0,40	1,39 EFb	1,67 ABa	48,13 ABa	39,24 ABb	28,53 Aa	15,78 ABb	19,59 ABa	23,46 BCDa				
	0,40-0,60	1,46 CDEFb	1,67 ABa	47,14 ABa	40,81 ABb	23,67 ABa	12,73 ABb	23,46 ABa	28,07 ABCDa				
	0,60-0,80	1,66 ABCa	1,62 ABa	39,09 Cb	46,41 Aa	10,72 Ca	12,30 ABa	28,36 ABa	34,11 Aa				
T3	0,00-0,20	1,45 CDEFb	1,67 ABa	46,85 ABa	42,56 ABa	27,73 Aa	22,83 Aa	19,11 Ba	19,68 CDa				
	0,20-0,40	1,58 ABCDEFb	1,72 ABa	47,17 ABa	38,67 Bb	22,71 ABa	15,38 ABb	24,46 ABa	23,29 BCDa				
	0,40-0,60	1,66 ABCa	1,60 ABa	41,76 ABCa	41,19 ABa	14,45 BCa	14,26 ABa	27,31 ABa	26,92 ABCDa				
	0,60-0,80	1,67 ABCa	1,75 Aa	40,63 BCa	41,61 ABa	10,57 Ca	10,46 Ba	30,05 Aa	31,15 ABa				

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Coeficiente de variação (CV%) da Densidade do solo, Volume Total Poros, Macroporosidade e Microporosidade, 4,35%, 6,06%, 26,33% e 14,17%, respectivamente.

Tabela 2 - Índice S determinado na linha (P1) e na entrelinha (P2), em quatro profundidades de amostragem, em três talhões de produção de café Conilon, T11 (11 anos), T7 (7 anos) e T3 (3 anos).

Profundidade (m)	Ponto	Talhão	Índice S
0,00-0,20	P1	T11	0,094
		T7	0,078
		T3	0,079
	P2	T11	0,060
		T7	0,068
		T3	0,073
0,20-0,40	P1	T11	0,060
		T7	0,083
		T3	0,060
	P2	T11	0,049
		T7	0,051
		T3	0,050
0,40-0,60	P1	T11	0,037
		T7	0,077
		T3	0,055
	P2	T11	0,039
		T7	0,046
		T3	0,051
0,60-0,80	P1	T11	0,034
		T7	0,045
		T3	0,040
	P2	T11	0,049
		T7	0,052
		T3	0,040

A correlação entre Ds e o índice S em P2 foi menor ($r = -0,50$) em relação à P1. A MACRO apresentou uma correlação positiva, porém menor que apresentada na linha do cultivo (Figura 2).

Diferente do observado na linha de cultivo, todas as propriedades do solo exerceram pouca influência sobre o índice S, sendo que apenas 25% e 26% da variabilidade do índice S foi

proporcionado pela Ds e MICRO, respectivamente (Figura 2). Este comportamento está ligado ao fato do não revolvimento do solo pela subsolagem, pois em P2 os implementos utilizados não atuam, já que em P1 a mobilização do solo alterou a sua estrutura, interferindo na sua qualidade. Esses resultados mostram que o revolvimento do solo alterou as condições físicas do solo, proporcionando uma melhoria no mesmo,

diminuindo a densidade do solo e aumentando a macroporosidade do solo até camada de 0,40 m.

Verificou-se na linha de cultivo que o índice S está relacionado com a porosidade do solo, esse fato evidencia a mudança na estrutura do solo ocasionada pela subsolagem, proporcionando uma melhoria na disponibilidade de água no solo e nos atributos físicos do mesmo, principalmente até 0,60 m.

Para o tipo de solo estudado e por meio das equações de regressão pode-se verificar valores de $D_s \geq 1,70 \text{ Mg m}^{-3}$, $VTP \leq 0,388 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, $MACRO \leq 0,091 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $MICRO \geq 0,294 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, para P1 e $D_s \geq 1,71 \text{ Mg m}^{-3}$, $VTP \leq 0,394 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, $MACRO \leq 0,100 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $MICRO \geq 0,289 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para P2 nesse estudo, indicando uma qualidade

física do solo comprometida para o desenvolvimento de plantas.

Os resultados mostram que o valor de macroporosidade ($0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) obtidos pela equação de regressão no P1 está correlacionado com $S = 0,036$ valor próximo ao proposto por Dexter (2004), considerado um solo com qualidade física pobre com valores de $0,035 > S \geq 0,020$. Esse valor de S encontrado é superior ao resultado encontrado por Andrade e Stone (2009), que estudaram diferentes áreas, com amostras de solos sob cerrado das regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste do Brasil, sendo que os autores verificaram índice S igual a 0,025 para porosidade de aeração $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

Figura 1 - Correlação e regressão linear entre densidade do solo (D_s), volume total de poros (VTP), macroporosidade (MACRO) e microporosidade (MICRO) e índice S no P1. (r^{***} : Significativo a 1 e 5%, respectivamente, pelo teste de t, R^{2***} : Significativo a 1 e 5%, respectivamente, pelo teste de F).

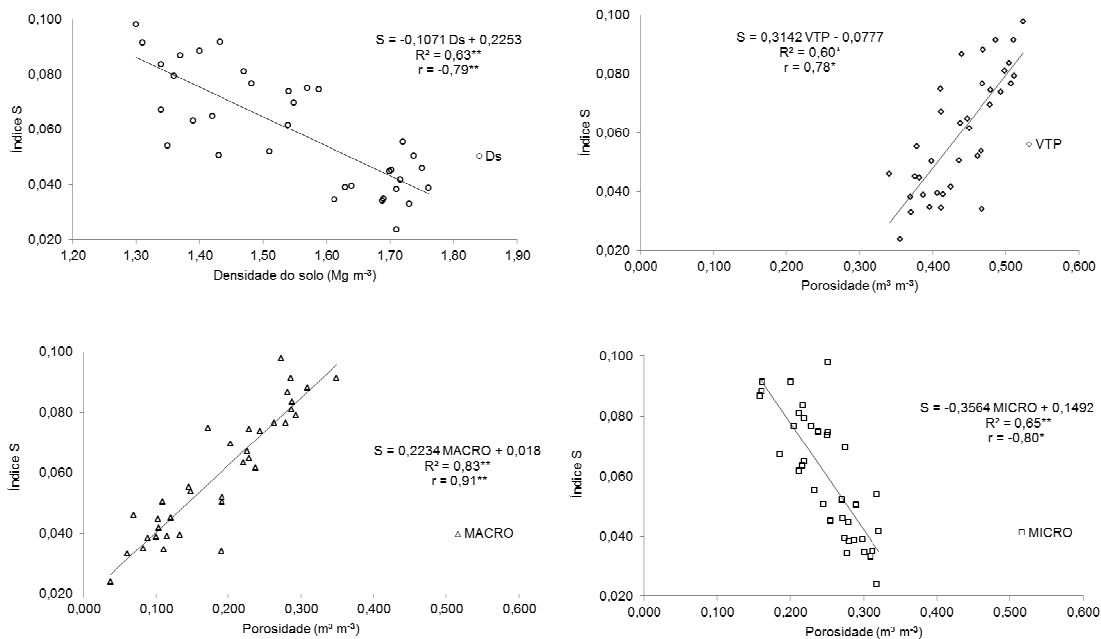
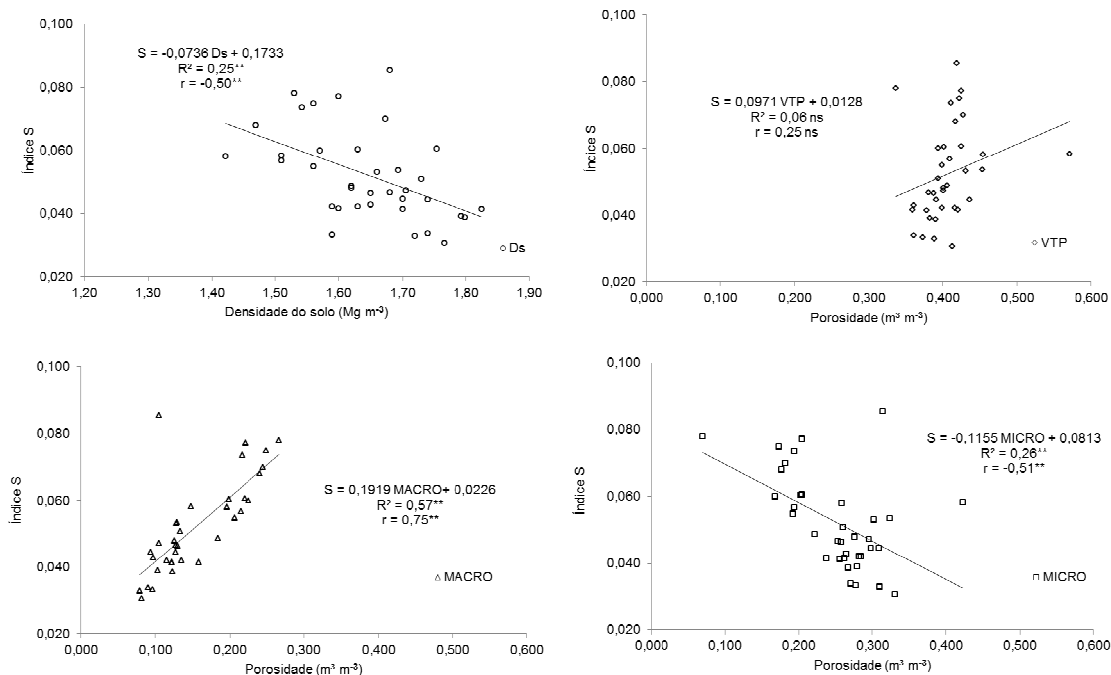


Figura 2 - Correlação e regressão linear entre densidade do solo (Ds), volume total de poros (VTP), macroporosidade (MACRO) e microporosidade (MICRO) do solo e índice S no P2. (r ** **: Significativo a 1 e 5%, respectivamente pelo teste de t, R² ** * : Significativo a 1 e 5%, respectivamente, pelo teste de F).



Conclusão

O Índice S se correlacionou positivamente com o volume total de poros e macroporosidade e, negativamente com densidade e microporosidade do solo, mostrando-se uma boa ferramenta para avaliar a qualidade do solo dos Tabuleiros Costeiros.

A subsolagem proporcionou melhoria na qualidade física dos solos de Tabuleiros Costeiros analisado segundo o Índice S, demonstrando redução na densidade do solo e aumento no volume total de poros, sendo que não houve efeito ao longo do tempo na linha de plantio do cafezal.

Referências

- ANDRADE, R. S. ; STONE, L. F. Índice S como indicador da qualidade física de solos do Cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 382-388, 2009.
- BAVOSO, M. A. et al. Preparo do solo em áreas de produção de grãos, silagem e pastejo: efeito na resistência tênsil e friabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 235-244, 2010.
- CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**. Maringá, v.35, n.3, p.271-276, 2013.
- CUNHA, E. D. Q. et al. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. I - Atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.2, p.589-602, 2011.
- DEXTER, A. R. Soil physical quality.Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, Armste v.120, n 3-4, p.201-214, 2004.

DOURADO NETO, D. et al. **Programa para confecção da curva de retenção de água no solo, modelo Van Genuchten. Soil Water Retention Curve, SWRC** (version 3,00 beta). Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa CNPS, 2006. p.306.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA CNPS, 1997. 212p.

INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES - IJSN. **Mapeamento geomorfológico do estado do Espírito Santo**. Vitória, ES, 2012. 19 f.: il. (Nota técnica, 28).

JORGE, R. F. et al. Distribuição de poros e densidade de latossolos submetidos a diferentes sistemas de uso e manejo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, Suppl. 1, p. 159-169, 2012.

LI, L. et al. Soil physical qualities in an Oxic Paleu stalf under different tillage and stubble management practices and application of S theory. **Soil and Tillage Research**, v.113, n.2, p.82-88, 2011.

MACHADO, J. L. et al. Inter-relações entre as propriedades físicas e os coeficientes da curva de retenção de água de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.2, p.495-502, 2008.

MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. **Water Resources Research**, v.12, n.3, p.513-522, 1976.

NACIF, P. G. S. et al. Efeitos da subsolagem em propriedades físico-hídricas de um Latossolo amarelo distrocoeso do estado da Bahia. **Magistra**, Cruz das Almas - BA, v. 20, n. 2, p. 186-192, abr./jun. 2008.

OLIVEIRA, S. R.; NETO, J. P. S. Dissipação de energia de compactação em função da

quantidade de palha no solo. **Magistra**, Cruz das Almas - BA, v. 23, n. 1-2, p. 53-60, jan./jun., 2011.

SILVA, A. P. et al. Indicadores da Qualidade Física do Solo. In: **Física do Solo**. Viçosa: SBCS, 2010. Cap. 7, p.241-281.

SILVA, B. M. et al. Índice S no diagnóstico da qualidade estrutural de Latossolo muito argiloso sob manejo intensivo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.28, n.3, p.338-345, 2012.

SOUZA, F. R. S. et al. Atributos físicos e desempenho agrônômico da cultura da soja em um latossolo vermelho distroférrico submetido a dois sistemas de manejos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 6, p. 1357-1364, nov./dez. 2010.

TORMENA, C. A. et al. Quantification of the soil physical quality of a tropical Oxisol using the S index. **Scientia Agricola**, v.65, n.1, p.56-60, 2008.

VAN GENUCHTEN, M. Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, n.5, p.892-898, 1980.

Recebido em: 24/05/2013

Aceito em: 11/09/2014