

INFILTRAÇÃO E COMPACTAÇÃO DO SOLO COMO INDICADORES FÍSICOS DE QUALIDADE EM ÁREAS AGRÍCOLAS

RESUMO

A qualidade do solo advém de sua capacidade em propiciar a produtividade vegetal e animal, onde as propriedades físicas interferem no crescimento radicular, armazenamento e disponibilidade de água e trocas gasosas do solo. Este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade física de um solo em três áreas com histórico de cultivo de cana-de-açúcar no município de Teotônio Vilela/AL. Para isso, a infiltração e compactação do solo foram avaliados como indicadores, e os resultados do estudo subsidiaram perícia ambiental sobre possíveis danos e impactos causados pelo cultivo de cana-de-açúcar. A metodologia adotada foi a do infiltrômetro de anel e do penetrômetro de impacto Stolf. Os resultados foram comparados com os de uma área de mata nativa conservada e uma área com pastagem nativa. Foi observado que a Velocidade de Infiltração Básica (VIB) não diferiu entre as áreas sítios estudados, sendo classificada como Alta para todas. Com relação a Compactação do solo, as áreas de referência (mata nativa conservada e área com pastagem nativa) apresentaram maior compactação em relação às áreas onde ocorreu cultivo de cana-de-açúcar. Esses resultados demonstram que o cultivo de cana-de-açúcar não ocasionou compactação tampouco algum grau de perturbação no solo capaz limitar o uso dessas áreas para cultivo de outras espécies de plantas cultivadas.

Palavras-chave: Degradação, Qualidade do solo, Análise agroambiental.

ABSTRACT

Soil quality comes from its ability to promote plant and animal productivity, where physical properties interfere with root growth, water storage and availability, and soil gas exchange. This work aimed to evaluate the physical quality of a soil in three areas with a history of sugarcane cultivation in the municipality of Teotônio Vilela/AL. For this, soil infiltration and compaction were evaluated as indicators, and the results of the study supported investigation on possible damages and impacts on soil caused by sugarcane cultivation. The methodology adopted was the ring infiltrometer and the Stolf impact penetrometer. The results were compared with those of an area of conserved native forest and an area with native pasture. It was observed that the Basic Infiltration Rate (BIV) did not differ between the studied areas, being classified as High for all. To the soil compaction, the reference areas (preserved native forest and area with native pasture) was observed a greater compaction in

relation to the areas where sugarcane was cultivated. These results demonstrate that the cultivation of sugarcane did not cause compaction or any degree of disturbance in the soil capable of limiting the use of these areas for the cultivation of other species of cultivated plants.

Keywords: Degradation, Soil quality, Agro-environmental analysis.

1. INTRODUÇÃO

A qualidade do solo está atrelada a sua capacidade de propiciar dentro de um sistema natural ou manejado, a produtividade vegetal e animal, manter ou melhorar a qualidade da água e do ar e suportar a saúde humana e habitacional (KARLEN et al., 1997).

As propriedades físicas estão envolvidas em vários processos no solo, relacionados principalmente ao crescimento radicular, armazenamento e disponibilidade de água e trocas gasosas no seu interior.

A alteração da cobertura vegetal natural para fins de produção agrícola, pecuário ou florestal e suas práticas de manejo aplicado ao solo têm se tornado cada vez mais comum. Muitas vezes ocasionando perda de matéria orgânica, da diversidade de fauna, aumento da compactação do solo, e problemas de erosão e perda de fertilidade natural do solo (ARAÚJO & MONTEIRO, 2007).

A estrutura do solo é um forte indicador de qualidade do solo, principalmente quando se trata do desenvolvimento vegetal e da atividade de fauna edáfica (CAMPOS et al., 1990). Devido à influência direta dessa propriedade nas condições de compactação do solo, taxas de infiltração, vulnerabilidade à erosão, capacidade de penetração radicular, dentre outras (AGUIAR, 2008; CAMARGO, 2016).

Essa estrutura do solo é comumente analisada por meio da avaliação de alguns indicadores, dentre eles a capacidade de infiltração de água e a resistência à penetração (compactação), que são comumente adotados como indicadores físicos de qualidade em áreas cultivadas. Tais indicadores se comportam como variáveis importantes nos atributos físicos do solo, uma vez que apresentam relações diretas com o regime hídrico e com o fornecimento e acúmulo de recursos essenciais, como água, nutrientes e oxigênio (GOMES & FILIZOLA, 2006).

Assim as mudanças no “status” da qualidade do solo têm sido avaliadas por intermédio de sistemas quantitativos em que indicadores apropriados proporcionam a comparação com valores desejáveis em diferentes intervalos de tempo, para um fim específico, e em ecossistemas diversos (KARLEN & STOTT, 1994; CHAER, 2001; MELO FILHO et al., 2007).

Nesse contexto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a infiltração e compactação como indicadores físicos de qualidade do solo em três sistemas

de manejo, visando subsidiar perícia ambiental na investigação de possíveis danos e impactos causados pelo cultivo de cana-de-açúcar em uma área de Caatinga no Semiárido Alagoano.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em três áreas que haviam sido cultivadas com cana-de-açúcar, situadas no município de Teotônio Vilela/AL, para subsidiar perícia ambiental requisitada pelo Poder Judiciário do Estado de Alagoas.

Para comparação entre os diferentes sítios, foi adotado como ecossistemas de referência uma área de mata nativa conservada e uma área com pastagem nativa, ambas situadas dentro do imóvel periciado (Figura 1).



Figura 1. Desenho esquemático dos diferentes sítios amostrais (A), com destaque dos locais onde ocorreram cultivos de cana-de-açúcar e ecossistemas de referência (B). Fonte: Elaborado pelos Autores.

2.1. Capacidade de Infiltração de Água

Os ensaios de infiltração foram realizados *in-situ*, adotando-se o método dos anéis concêntricos, utilizados na determinação da condutividade hidráulica do solo, através de dois cilindros (anéis) metálicos, dispostos de forma concêntrica, sendo um menor com diâmetro de 25 cm e um maior com 50 cm de diâmetro, ambos com altura de 30 cm, e enterrados no solo a 15 cm de profundidade (Figura 2).

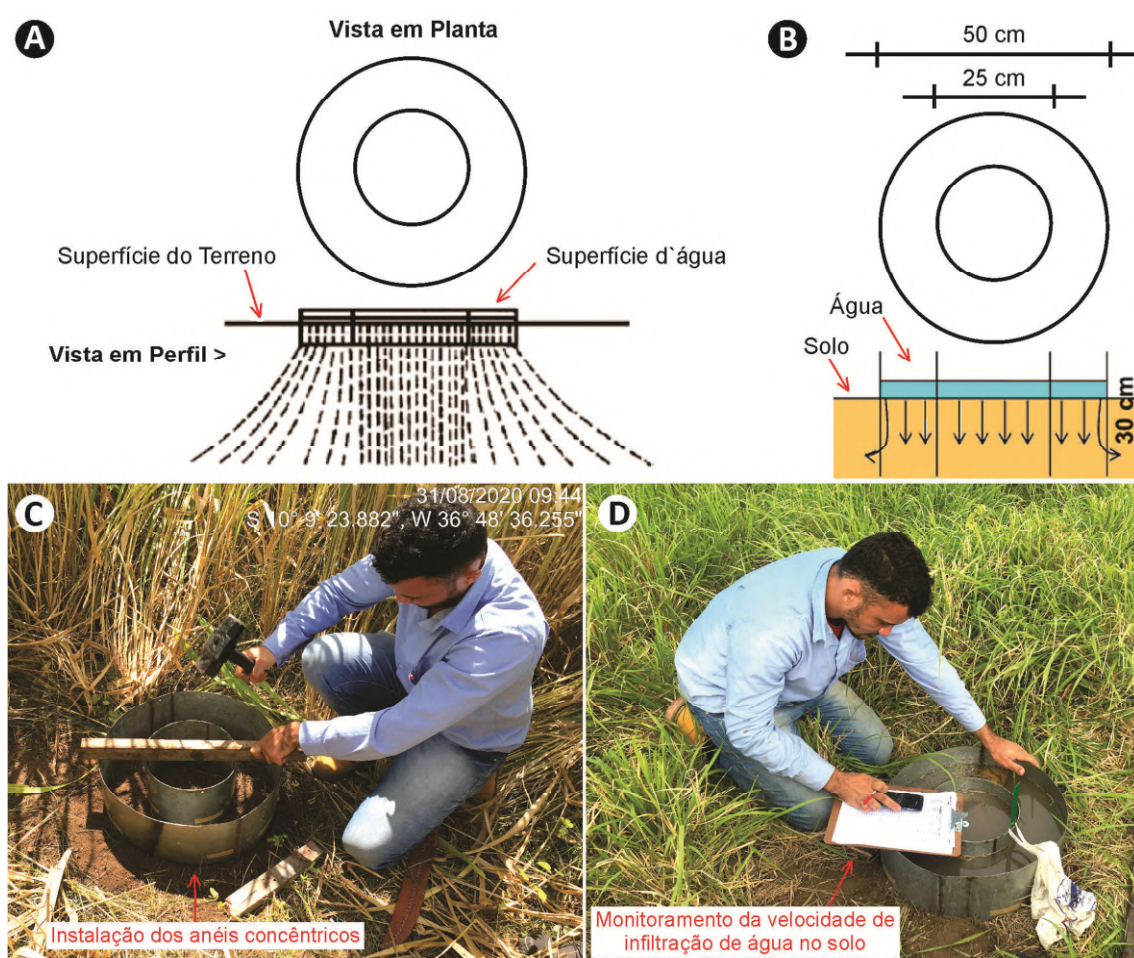


Figura 2. Detalhe esquemático dos anéis concêntricos (A e B). Registro fotográfico da instalação dos anéis (C), e a respectiva execução dos ensaios de infiltração *in-situ* (D). Fonte: Elaborado pelos Autores.

As medidas de infiltração foram realizadas no anel interno (Figura 1-D), visto que o anel externo tem por finalidade impedir que a infiltração se processe no sentido lateral do solo (Figura 1-A).

Após a instalação dos anéis, revestiu-se o anel interno com plástico, colocando-se água em seu interior, e ao mesmo tempo adicionando água no anel exterior, sempre mantendo no anel externo uma carga hidráulica semelhante ao anel interno.

Com o auxílio de uma régua graduada acompanhou-se a infiltração vertical no cilindro interno, em intervalos de tempo de três minutos.

Ao estabilizar as leituras neste intervalo, aumentou-se o tempo de cronometragem para cada cinco minutos. Quando ocorreu a estabilização neste intervalo, a cronometragem das leituras passou a ser realizada a cada dez minutos, mantendo-se até que fosse atingida uma infiltração constante quando o valor da leitura se repetiu por pelo menos três vezes.

Para determinar a velocidade de infiltração básica (VIB) em função da infiltração acumulada, utilizou-se o modelo matemático desenvolvido por Kostiakov e descrito por Prevedello (1996):

$$I = K \times T^n$$

Em que:

I = lâmina infiltrada no tempo (cm);

T = tempo;

K = constante dependente do solo;

n = constante dependente do solo variando de 0 a 1.

Os coeficientes da equação de infiltração foram determinados por regressão linear, aplicando-se os logaritmos nos dois lados da equação potencial, resultando na seguinte equação:

$$\text{Log}I = \text{log}K + m (\text{log}T)$$

Correspondendo a uma equação linear em que o coeficiente angular (B) e a interseção (A) da reta foram definidos por: $Y = A + BX$. Sendo que:

Y = logI (infiltração acumulada);

A = logK;

B = m;

X = logT (tempo acumulado).

Os valores da equação linear foram obtidos por regressão, dada pela seguinte equação:

$$n = \left(\frac{\left(\sum x * y - \frac{(\sum x * \sum y)}{N} \right)}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{N}} \right)$$

Em que:

N = número de leituras realizadas na régua, menos a leitura inicial;

A = $\bar{Y} - B * \bar{X}$;

C = anti log A.

A equação da velocidade de velocidade de infiltração básica (VIB) é obtida derivando-se a equação da infiltração. Vejamos:

$$VI = 60 * n * K * T^{n-1}$$

Em que:

VI = taxa de infiltração da água no solo (cm.h⁻¹);

T = tempo (min);

K = constante dependente do solo (infiltração no primeiro minuto);

n = constante dependente do solo variando de 0 a 1

A classificação dos resultados foi realizada conforme critério proposto por Fonseca & Silva (2006), em função da velocidade de infiltração apresentada pelo solo (Tabela 1).

Tabela 1. Classe de solo em função da Velocidade de Infiltração Básica (VIB).

Classe de Solo	VIB (mm/h)
Solo de VIB muito alta	> 3,0
Solo de VIB alta	1,5 - 3,0
Solo de VIB média	0,5 - 1,5
Solo de VIB baixa	< 0,5

Fonte: Fonseca & Silva (2006).

2.2. Resistência à Penetração (Compactação)

A compactação do solo foi avaliada *in-situ* através do método descrito por (STOLF, 1991). Sendo os ensaios executados com auxílio de um penetrômetro de impacto, modelo STOLF/KAMAQ-Z70.30983 (Figura 3).

O funcionamento desse equipamento baseia-se na penetração de uma haste metálica no solo, após receber o impacto de um peso de 4 kg em queda livre, há uma distância de 40 cm (RODRIGUES et al., 2013). A leitura da penetração é feita por meio de uma régua graduada em centímetros, acoplada na haste de penetração (Figura 3).



Figura 3. Detalhe esquemático do penetrômetro de impacto Stolf, modelo KAMAQ-Z70.30983. Fonte: Elaborado pelos Autores.

Os dados obtidos pela leitura do instrumento foram convertidos para RP em kgf cm^{-2} através da equação desenvolvida por Stolf (1991). Tornando-se possível indicar a resistência do solo à penetração empregando os critérios descritos por Stolf et al (2012).

A análise dos dados foi realizada por meio do software Excel, através de planilha específica desenvolvida por Stolf et al (2014), cujos resultados foram classificados segundo os limites de resistência à penetração propostos por Canarache (1990):

Tabela 3. Classes de interpretação dos limites de classes de resistência de solos à penetração e graus de limitação ao crescimento das raízes.

Classes	Limites (MPa)	Limitações ao Crescimento das Raízes
Muito Baixa	< 1,1	Sem limitação
Baixa	1,1 - 2,5	Pouca limitação
Média	2,6 - 5,0	Algumas limitações

Alta	5,1 - 10,0	Sérias limitações
Muito Alta	10,1 - 15,0	Raízes praticamente não crescem
Extremamente Alta	> 15,0	Raízes não crescem

Fonte: Canarache (1990). Apresentada por Camargo & Alleoni (2006).

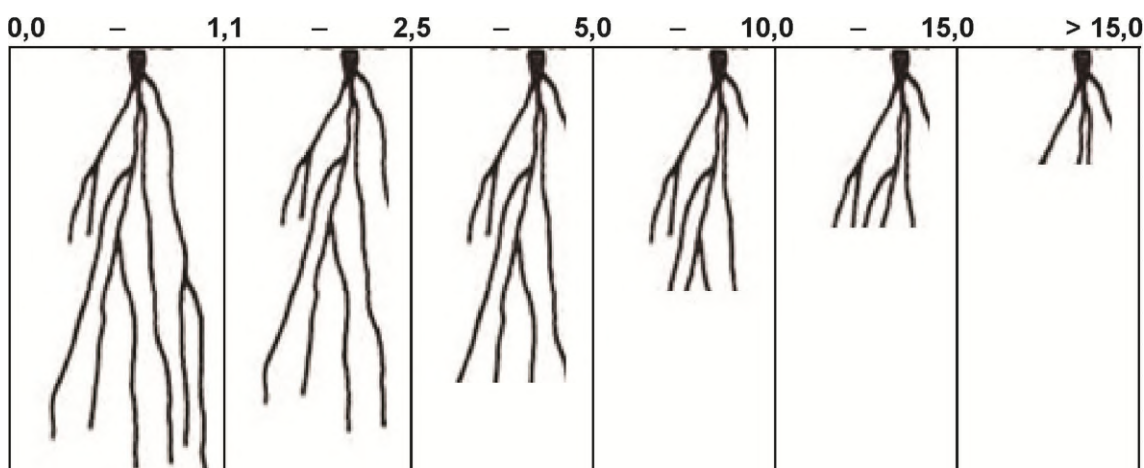
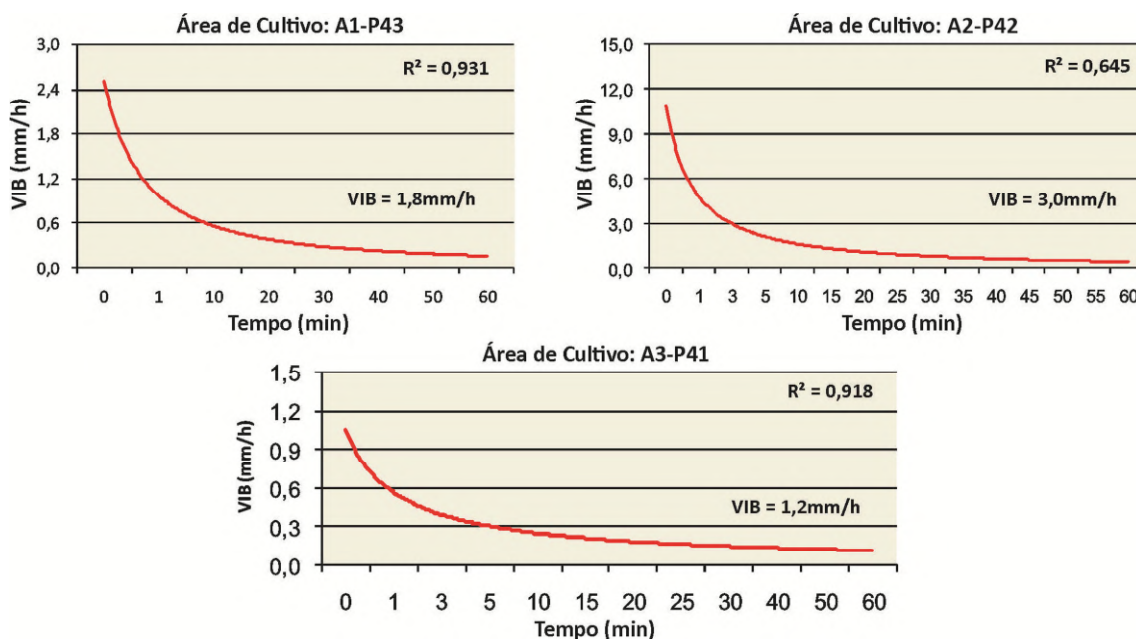


Figura 4. Limitações ao crescimento de raízes em função da compactação do solo (MPa). Fonte: Adaptado de Canarache (1990).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Velocidade de Infiltração Básica (VIB) nas áreas onde houve cultivo de cana-de-açúcar variou de 1,2 a 3,0 mm/h⁻¹, enquanto que nas áreas de referência essa oscilação ficou entre 1,2 a 1,5 mm/h⁻¹ (Figura 5).



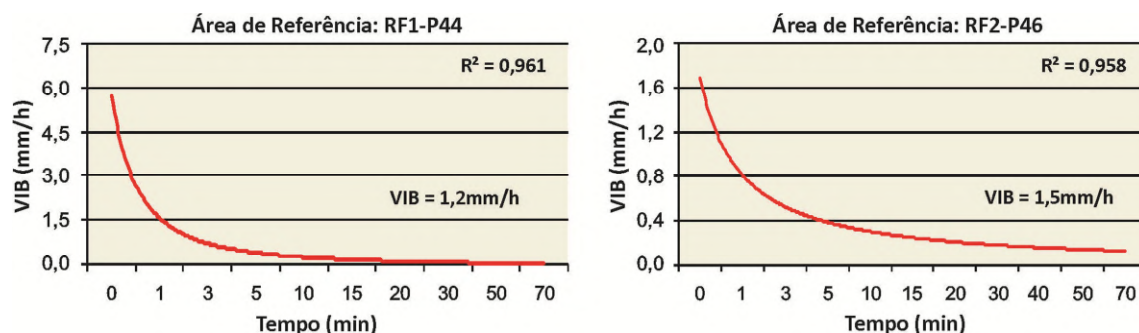


Figura 5. Velocidade de Infiltração Básica (VIB) do solo em áreas da Fazenda São Bento. Fonte: Elaborado pelos Autores.

Em geral observa-se uma baixa variação da VIB do solo entre os sítios avaliados (Tabela 4), cujo comportamento semelhante demonstra que não houve impacto do cultivo de cana-de-açúcar na capacidade de infiltração dessas áreas.

Tabela 4. Classificação da Velocidade de Infiltração Básica (VIB) do solo na Fazenda São Bento.

Áreas de Cultivo	VIB (mm/h)	Classificação
A1-P43	1,8	Solo de VIB alta
A2-P42	3,0	Solo de VIB alta
A3-P41	1,2	Solo de VIB alta
Áreas de Referência		
RF1-P44	1,2	Solo de VIB alta
RF2-P46	1,5	Solo de VIB alta

Fonte: Elaborado pelos Autores.

Essa alta VIB relaciona-se com a textura e estrutura do solo, sugerindo que o solo avaliado possui textura franco-argilosa, cuja VIB varia de 2,5 a 15 mm/h⁻¹ (BERNARDO et al., 2006). O que é considerando normal, visto que a infiltração de água em solos de textura média tende a ser maior do que em solo de textura argilosa, independente do sistema de cultivo (OLIBONE et al., 2015).

Por outro lado, verificou-se que as áreas de referência (mata nativa conservada e uma área com pastagem nativa) apresentaram maior compactação do que as áreas onde ocorreram os cultivos de cana-de-açúcar, denotando também que o cultivo de cana-de-açúcar nas áreas da Fazenda São Bento não ocasionou compactação no solo capaz de ocasionar limitações ao crescimento de raízes (Tabela 5).

Tabela 5. Classificação da resistência à penetração e limitação ao crescimento das raízes nos solos da Fazenda São Bento. Bento, Teotônio Vilela/AL.

Áreas de Cultivo	Profundidade Compactação		Resultado
	(cm)	(MPa)	
A1-P43	8,0	2,8	Algumas limitações
A1-P43	46	4,3	Algumas limitações
A2-P42	20	2,8	Algumas limitações
A2-P42	52	4,3	Algumas limitações
A3-P41	44	2,1	Baixa
A3-P41	53	2,8	Algumas limitações
Áreas de Referência			
RF1-P44	15	6,5	Sérias limitações
RF1-P44	53	4,5	Algumas limitações
RF2-P46	5,0	6,2	Sérias limitações
RF2-P46	31	12,3	Raízes não crescem

Fonte: Elaborado pelos Autores.

As áreas onde houve cultivo de cana-de-açúcar apresentaram compactação entre 2,8 a 4,3 Mpa o que pode ocasionar alguma limitação ao crescimento das raízes.

No entanto, essa compactação encontra-se em camadas mais profundas do solo (Figura 6), o que não afetaria a grande maioria dos cultivos agrícolas, cujas plantas apresentam sistema radicular variando até 35 cm de profundidade.

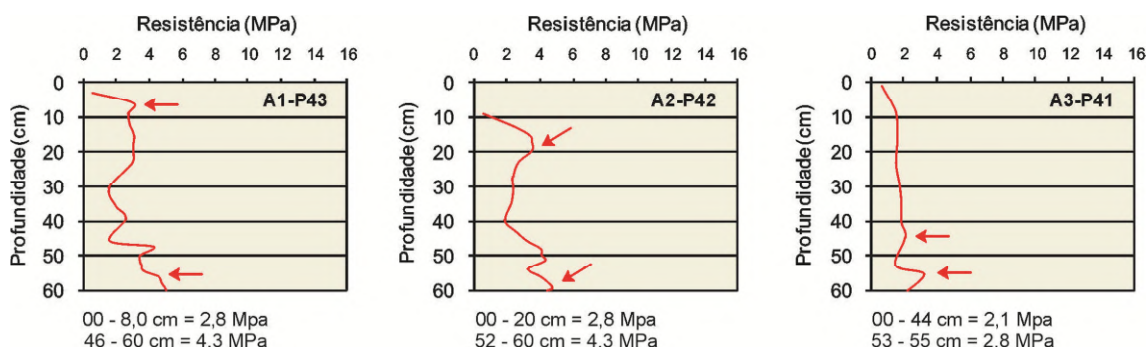


Figura 6. Resistência do solo à penetração (MPa) em diferentes profundidades nos locais onde ocorreram cultivo de cana-de-açúcar na Fazenda São Bento. Fonte: Elaborado pelos Autores.

Por outro lado, nas áreas de referência foi observado uma a maior compactação do solo (Tabela 5), inclusive nas camadas mais superficiais do solo (Figura 7). Comportamento esse que em função do histórico de uso, relaciona-se principalmente ao pisoteio animal nessas áreas.

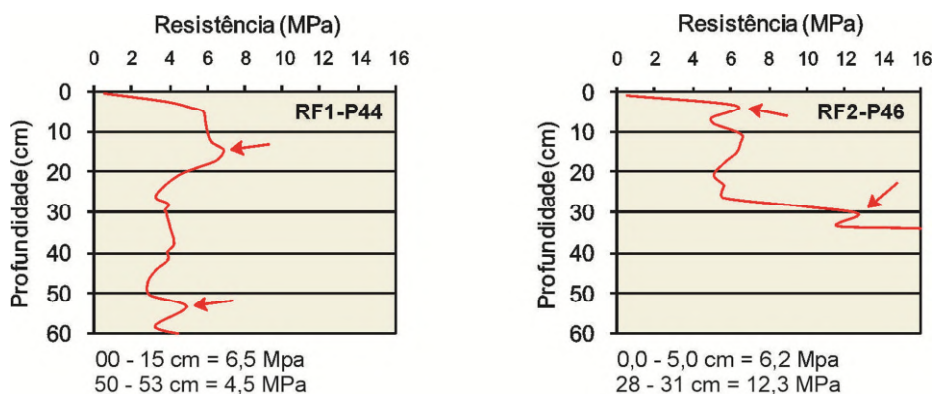


Figura 6. Resistência do solo à penetração (MPa) em uma área de mata nativa conservada (RF-1) e uma área com pastagem nativa (RF-2), ambas na Fazenda São Bento. Fonte: Elaborado pelos Autores.

A compactação do solo reduz a infiltração de água, aumenta o risco de erosão, provoca déficit hídrico e nutricional das plantas, fazendo com que as raízes se desenvolvam superficialmente (MORAES et al., 1995). Afetando diretamente o crescimento das plantas, que a parte aérea é diretamente influenciada pelas raízes (MASLE & PASSIOURA, 1987).

O processo de compactação do solo pode alterar a estrutura do solo, aumentar a sua densidade, diminuir a porosidade, reduzir a permeabilidade e alterar o padrão de crescimento radicular (BATEY & MCKENZIE, 2006).

Nesse contexto, fica evidenciado que a avaliação da resistência do solo à penetração associada a capacidade de infiltração de água, torna-se uma estratégia útil, fácil e de rápida execução, para caracterização das condições físicas do solo influenciadas por diferentes tipos de manejos.

4. CONCLUSÕES

Não houve diferenças significativas entre os atributos físicos do solo avaliados nos diferentes sítios.

O cultivo de cana-de-açúcar não provocou alterações na capacidade de infiltração e compactação do solo, quando comparado com a área de mata nativa conservada e área com pastagem nativa.

O método de infiltrômetro de anel assim como o penetrômetro de impacto Stolf, são técnicas simples e eficazes para mensuração *in situ* de variáveis físicas do solo que podem ser adotadas como indicadores do processo de degradação.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, M. I. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas), Viçosa: UFV, 2008. 89f.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R.; Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Revista de biociências**, v 23, n.3, p.66-75, 2007.

BATEY, T.; MCKENZIE, D.C. Soil compaction: identification directly in the field. **Soil Use and Management**, v.22, n.2, p.123-131, 2006.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8.Ed. Atual e Ampliada. Viçosa: UFV, 2006. 625p.

CAMARGO, F. F. **Indicadores físicos, químicos e biológicos da qualidade do solo em sistemas agroflorestais agroecológicos na área de preservação ambiental Serra da Mantiqueira, MG**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Lavras: UFLA, 2016. 242f.

CAMARGO, O. A. & ALLEONI, L. R. F. **Efeitos da compactação em atributos do solo**. 2006. Artigo em Hypertexto. 13p.

CANARACHE, A. Penetrometer - a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v.16, n.1, p.51-70, 1990.

CHAER, G. M. **Modelo para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos**. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola), Viçosa: UFV, 2001. 89f.

Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p.121-126, 1995.

FONSECA, F. C & SILVA, L. D. B. **Hidrologia: infiltração**. Capítulo 5. UFRRJ, 2006. 21p.

GOMES, M. A. F. & FILIZOLA, H. F. **Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola**. Embrapa Meio Ambiente. Jaguariúna, 2006. 8p.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. **Soil Science Society America Journal**, v.61, n.1, p.4-10, 1997.

KARLEN, D. L.; STOTT, D. A framework for evaluating physical and chemical indicators. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Eds.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, Wisconsin, USA: Soil Science Society American, 1994. Cap.4, p.53-72. (Special Publication, 35).

MASLE, J. & PASSIOURA, J. B. The effect of soil strength on the growth of young wheat plants. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.14, p.643-656, 1987.

MELO FILHO, J. F.; SOUZA, A. L. V.; SOUZA, L. S. Determinação do índice de qualidade subsuperficial em um Latossolo Amarelo Coeso dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.6, p.1599-1608, 2007.

MORAES, M. H.; BENEZ, S. H.; LIBARDI, P.L. Efeitos da compactação em algumas propriedades físicas do solo e seu reflexo no desenvolvimento das raízes de plantas de soja. **Bragantia**, v.54, n.2, p.393-403, 1995.

OLIBONE, D.; OLIBONE, A. P. E.; GILBERTO KERES, G.; SILVA, E. M. Velocidade de infiltração de água em sistemas de produção no cerrado. In: XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. **Anais...** Natal, 2015.

PREVEDELLO, C. L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba. Salesward-Discovery, 1996. 446p.

RODRIGUES, J. P. S.; NEVES, S. A.; CAMPOS, C. A. A. Algumas considerações a respeito da utilização de penetrômetro de impacto na predição de processos erosivos. In: XV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. **Anais...** Vitória, 2013.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, n.1, p.229-235, 1991.

STOLF, R.; MURAKAMI, J. H.; BRUGNARO, C. SILVA, L. G.; SILVA, L. C. F.; MARGARIDO, L. A. C. Penetrômetro de impacto STOLF: Programa computacional de dados em Excel-VBA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.1, p.774-782, 2014.

STOLF, R.; MURAKAMI, J. H.; MANIERO, M. A.; SOARES, M. R.; SILVA, L. C. F. Incorporação de régua para medida de profundidade no projeto do penetrômetro de impacto stolf. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.1, p.1476-1482, 2012.

REALIZAÇÃO