



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
PERNAMBUCO - *CAMPUS* BARREIROS
DEPARTAMENTO DE DESENVOLVIMENTO EDUCACIONAL**

CURSO TECNOLOGIA EM AGROECOLOGIA

DANILO HENRIQUE DOMINGOS DA SILVA

**DENSIDADE DO SOLO E RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DE UM ARGISSOLO
SOB DIFERENTES USOS**

BARREIROS-PE

2025

DANILO HENRIQUE DOMINGOS DA SILVA

**DENSIDADE DO SOLO E RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO DE UM ARGISSOLO
SOB DIFERENTES USOS**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao curso de tecnologia em agroecologia vinculado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, *Campus* Barreiros, em cumprimento às exigências acadêmicas para obtenção do título de Tecnólogo em agroecologia.

Orientador: Prof. Dr. Wagner Luís da Silva Souza

BARREIROS-PE

2025





REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
INSTITUTO FEDERAL DE PERNAMBUCO
COORDENAÇÃO DE TECNOLOGIA EM AGROECOLOGIA


Danilo Henrique Domingos da Silva

**DENSIDADE DO SOLO E RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DE UM ARGISSOLO
SOB DIFERENTES USOS**

Banca avaliadora:


Dr. Wagner Luís da Silva Souza - Orientador
(IFPE – Campus Barreiros)


Dr. Marcos Antônio Machado Mesquita - Avaliador Interno
(IFPE – Campus Barreiros)


Dr. Francisco Xavier dos Santos - Avaliador Externo ao curso
(IFAL – Campus Maragogi)

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 16 de janeiro de 2025

Este trabalho é dedicado à minha família que tanto me deu forças, apoio e foi minha inspiração para seguir com meus estudos e chegar até o final com muita dedicação.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter guiado todos meus passos nessa trajetória.

A minha família que tanto me apoiou sempre me motivando a seguir em frente.

A meu orientador, Wagner Luís da Silva Souza, pelas horas dedicadas a me ensinar, pelo apoio, pela paciência, dedicação e compreensão que teve comigo nas minhas dificuldades e dúvidas.

Aos meus amigos, Claudia Virginia, Gláucio Tavares e Rháflisa Batista, aos demais, por terem me ajudado durante essa trajetória desde o início do curso acompanhando meu desenvolvimento do início até a conclusão.

Agradeço à toda gestão do campus por sempre prestar apoio e assistência à todos nós alunos durante o curso.

Obrigado!!!

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Localização da área em estudo e os sistemas de manejo de uso de um Argissolo na agricultura familiar.	5
Figura 2 – Resistência de uma Argissolo à penetração de raízes em diferentes sistemas de manejo.	12
Figura 3. Pressões aplicadas na superfície do solo geradas pelos rodados dianteiros (A), traseiros (B) do trator TL 95E da New Holland e, sua dissipação em profundidade (C).....	14

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Classificação física do horizonte superficial de um Argissolo submetido a diferentes usos.....	8
Tabela 2 – Avaliação da densidade do solo (D_s), densidade de partículas (D_p), porosidade total (P_t), umidade gravimétrica atual durante a coleta (θ_c), resistência do solo à penetração de raízes (RP), de um Argissolo submetido à diferentes usos.	10

SUMÁRIO

RESUMO.....	1
ABSTRACT	2
1 INTRODUÇÃO.....	3
2 MATERIAL E MÉTODOS	4
2.1 Local de estudo	4
2.2 Histórico de manejo das áreas selecionadas.....	5
2.3 Definição do número de amostras	6
2.4 Resistência do solo à penetração de raízes (RP).....	6
2.5 Determinações das pressões das máquinas no solo	7
2.6 Caracterização física do solo	8
2.7 Análises estatística e delineamento experimental	8
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	8
3.1 Parâmetros físicos do solo objeto da pesquisa.....	8
3.2 Resistência à penetração de raízes	11
3.3 Pressão da máquina no solo na área sob cultivo de milho	12
4 CONCLUSÃO	15
REFERÊNCIAS.....	16

DENSIDADE DO SOLO E RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DE UM ARGISSOLO EM DIFERENTES USOS

SOIL DENSITY AND PENETRATION RESISTANCE IN DIFFERENT OF AN ULTISOLS IN DIFFERENT USES.

Danilo Henrique Domingos da Silva
daniohenrique201992@gmail.com

Wagner Luís da Silva Souza
wagner.souza@barreiros.ifpe.edu.br

RESUMO

A compactação do solo interfere nas propriedades físicas, químicas e biológicas do meio, afetando todas as fases do desenvolvimento vegetal, desde a germinação até o crescimento das raízes e da parte aérea das plantas. O objetivo deste estudo é avaliar a compactação do solo por meio da sua densidade e resistência à penetração de um Argissolo submetido à diferentes usos. As áreas selecionadas situam-se numa comunidade quilombola do engenho Siqueira, localizada no município de Rio Formoso-PE. Foram selecionadas quatro áreas com diferentes usos: área 1: sistema agroflorestal 1 (SAF-1); área 2: sistema agroflorestal 2 (SAF-2); área 3: cultivo convencional de milho; área 4: pousio. Em cada sistema de manejo foram coletadas quatro amostras simples na profundidade de 0,00 - 0,20 e, 0,20 – 0,40 m totalizando assim 32 amostras simples. A resistência à penetração de raízes no solo (RP) foi determinada utilizando-se o penetrômetro de impacto até a profundidade de 60 cm. As pressões dos rodados traseiro e dianteiro no solo foram determinadas por meio do software soilflex. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) com as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade por meio do programa estatístico SAS. O sistema agroflorestal (SAF-2) apresentou menores densidade do solo como também uma maior porosidade total e, uma melhor conservação da umidade do solo. A pressão do trator agrícola no solo sob uso de milho, na profundidade de 20 cm, gerou uma dissipação de 55% da pressão inicialmente aplicada na superfície do solo.

Palavra-chave: pressão; compactação, soilflex, sistema agroflorestal.

ABSTRACT

Soil compaction interferes with the physical, chemical and biological properties of the environment, affecting all phases of plant development, from germination to root and aerial growth of plants. The objective of this study is to evaluate soil compaction through its density and resistance to penetration in an Ultisol subjected to different uses. The areas selected for study are located in a quilombola community of Engenho Siqueira, located in the municipality of Rio Formoso-PE. Four areas with different uses were selected: area 1: agroforestry system 1 (SAF-1); area 2: agroforestry system 2 (SAF-2); area 3: conventional corn cultivation; area 4: fallow land. In each management system, four simple samples were collected at a depth of 0.00 - 0.20 m and 0.20 - 0.40 m, totaling 32 simple samples. The resistance to root penetration in the soil (RP) was determined using an impact penetrometer to a depth of 60 cm. The pressures of the rear and front wheels in the soil were determined using the soilflex software. The data were subjected to analysis of variance (ANOVA) with the means compared by the Tukey test at 5% probability using the SAS statistical program. The agroforestry system (SAF-2) presented lower soil density as well as greater total porosity and better conservation of soil moisture. The pressure of the agricultural tractor in the soil under corn, at a depth of 20 cm, generated a dissipation of 55% of the pressure initially applied to the soil surface.

Keywords: pressure; compaction, soilflex, agroforestry system.

1 INTRODUÇÃO

Compactação é definida como um aumento da densidade do solo, causado pelo homem ou por animais, resultado do rearranjo das partículas do solo e consequente redução da porosidade; adensamento é o aumento da densidade do solo por processos pedogenéticos, como a dessecação, iluviação ou precipitação química (Reichert *et al*, 2010). Ainda, segundo os autores, o solo pode tornar-se adensado como consequência da sua composição textural, regime hídrico ou pela maneira com que ele foi formado. O adensamento das camadas subsuperficiais pode ocorrer pelo empacotamento dos sedimentos granulares, que podem ser parcialmente cimentados. Camadas endurecidas, chamadas de hardpans, podem, em casos extremos, exibir propriedades de uma rocha e tornarem-se quase completamente impenetráveis por raízes, água e ar. O adensamento natural do solo pode ser confundido com a compactação.

As forças que atuam no solo podem causar compactação e, são classificadas em externas e internas. O tráfego de veículos, animais ou pessoas, bem como o crescimento de certas raízes que aproximam as partículas do solo para sua passagem, são responsáveis pelas forças externas. Durante o processo de compactação, a aplicação de uma força faz com que as partículas do solo deslizem umas em direção as outras, causando um rearranjo das partículas e incremento da densidade. Nesse processo, a água no solo serve com um agente lubrificante das partículas, facilitando esse rearranjo. O grau de compactação do solo tem sido avaliado principalmente pela sua densidade (massa do solo, seco em estufa, dividido pelo volume do solo) ou pela resistência à penetração. (Reichert *et al*. 2010).

Quanto aos valores do grau de compactação do solo, ainda não existe consenso entre os autores sobre o nível crítico da densidade do solo (valor acima do qual o solo é considerado compactado). Camargo & Alleoni (1997) consideram crítico o valor de $1,55 \text{ g.cm}^{-3}$ em solos franco-argilosos à argiloso. Como também, Reichert *et al*. (2003) propuseram densidade do solo crítica para algumas classes texturais do solo como: $1,30$ à $1,40 \text{ g.cm}^{-3}$ para solos argilosos, $1,40$ a $1,50 \text{ g.cm}^{-3}$ para os franco-argilosos e, de $1,70$ a $1,80 \text{ g.cm}^{-3}$ para os franco-arenosos.

A resistência do solo a penetração (RP) é um dos parâmetros mais utilizados para avaliar o teor da compactação, pertinente aos atributos físicos do solo, considerado um indicador do grau de compactação, como a textura e umidade que

influenciam diretamente desempenho do solo, submetido a pressões externas e sendo útil para localizar camadas de solo compactadas (ROQUE *et al.*, 2008; COLET *et al.*, 2009). A RP, por meio de penetrômetro, quantifica a força exercida no solo em função da penetração de uma ponta cônica, simulando a resistência que o solo oferece à penetração das raízes (MOLIN *et al.*, 2012; LIMA *et al.*, 2013).

Arshad *et al.*, (1996) estabelece sete classes de resistência a penetração: Extremamente baixa ($RP < 0,010$ MPa), muito baixa ($0,010 < RP < 0,10$ MPa), baixa ($0,10 < RP < 1,0$ MPa), moderada ($1,0 < RP < 2,0$ MPa), alta ($2,0 < RP < 4,0$ MPa), muito alta ($4,0 < RP < 8,0$ MPa), extremamente alta ($RP > 8,0$ MPa). No entanto, vale ressaltar que, os valores críticos de RP para a maioria das culturas situam-se na faixa entre 1,5 a 2.5 MPa (TAYLOR *et al.*, 1966; TORMENA *et al.*, 1999)

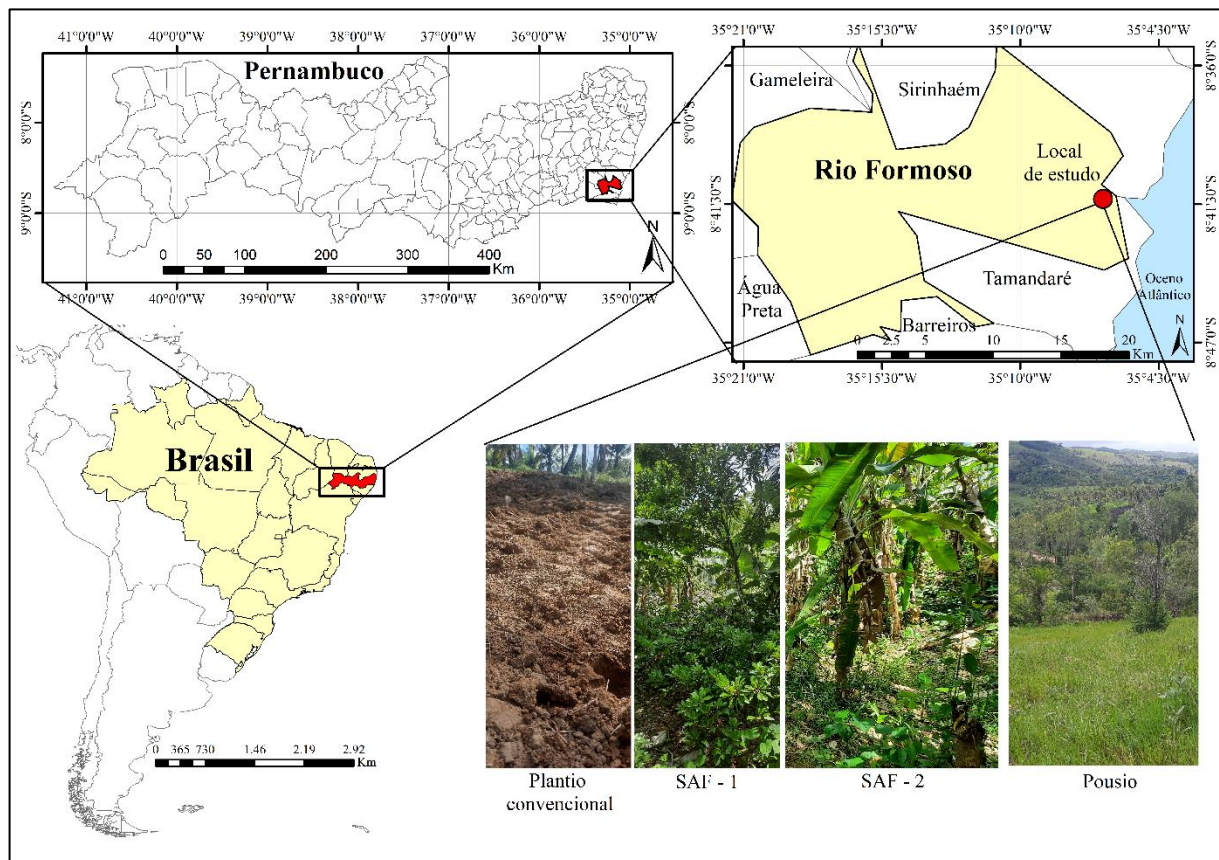
Diante disso, torna-se essencial compreender os fatores que influenciam a compactação do solo e suas consequências para os sistemas agrícolas, de modo a propor estratégias de manejo que promovam a conservação do solo e a produtividade sustentável. Este trabalho tem por objetivo avaliar a compactação do solo por meio da sua densidade e resistência à penetração.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local de estudo

As áreas selecionadas para estudo situam-se numa comunidade quilombola do engenho Siqueira, localizada no município de Rio Formoso-PE, o qual possui as seguintes coordenadas geográficas: $8^{\circ} 39' 41''$ S, $35^{\circ} 9' 6''$ O. Por está situado no Litoral Sul do estado de Pernambuco, é caracterizado por relevos ondulados a montanhosos, o índice pluviométrico da região é de 2100 – 2400 mm anuais com clima pseudo-tropical de acordo com a classificação de Köpen com temperaturas médias anuais de 25° C. Foram selecionadas cinco áreas distintas localizada em encosta de morro (figura 1).

Figura 1- Localização da área em estudo e os sistemas de manejo de uso de um Argissolo.



Fonte: Autor.

2.2 Histórico de manejo das áreas selecionadas

Todas as áreas encontram-se localizadas numa topossequência de encosta de morro, com declividade média de 23%,

A área 1, possui 1,70 hectares sob um sistema agroflorestal diversificado e complexo (SAF-1), na qual foi possível encontrar um sistema diversificado com frutíferas em geral no sistema de consorciação onde foi possível encontrar perenes e/ou permanente, e semi-perenes em menores proporções como: coco, banana, citros, abacate, caju, mamão, goiaba, jaca, cajá, cupuaçu, rambutão, sapoti, jenipapa, pitomba, graviola, dendê, macaíba, pitaya.

A área 2 possui 1,70 hectares com o uso atual do solo é caracterizado por um consórcio de banana e coco. Porém é possível identificar na área outras culturas perenes e/ou semi-perenes em menores proporções como: abacate, jaca, cacau, caju,

jenipapo, graviola, manga; abil, goiaba formando um sistema agroflorestal menos diversificado (SAF-2)

A área 3, possui 0,50 hectares sob o cultivo convencional de milho, a qual antes do plantio foi realizado o preparo periódico do solo ocorreu apenas com uma aração com arado de disco à 20 cm de profundidade e, uma gradagem leve por meio do uso de um trator agrícola (modelo New Holland TL 95E 4x4) cedido pela secretaria de agricultura do município.

A área 4, possui 1,50 hectares e, encontra-se com gramíneas sob pousio à praticamente 5 anos em relação ao tempo que foi realizada a coleta das amostras.

2.3 Definição do número de amostras

Os pontos para as coletas de solos foram anteriormente georreferenciado nas cinco áreas em estudo. Cada área foi coletada em cada um dos quatro sistemas de manejo, quatro amostras simples na profundidade de 0,00 - 0,20 m e, 0,20 – 0,40 totalizando assim 32 amostras para caracterização física do solo das áreas.

2.4 Resistência do solo à penetração de raízes (RP)

A resistência à penetração de raízes no solo (RP) foi determinada utilizando-se o penetrômetro de Impacto (modelo IAA/PLANALSUCAR STOLF), a partir da superfície do solo até a profundidade de 60 cm, sendo realizado quatro ensaios de RP em cada um dos locais georreferenciados anteriormente nas amostras simples.

A determinação da resistência à penetração, com o penetrômetro de impacto foi realizada utilizando um penetrômetro adaptado do modelo IAA/Planalsucar–Stolf. A transformação da penetração da haste do aparelho no solo (cm/impacto), em resistência à penetração, foi obtida pela equação simplificada por Stolf (1991), conforme demonstrado a seguir:

$$RP_{kgf.cm^{-2}} = \left[\frac{(M+m) \times g}{A} + \frac{f \times M \times g \times h}{10 \times A} \right] \times N \quad (1)$$

em que: RP: resistência mecânica do solo à penetração, $kgf\ cm^{-2}$; M: massa do êmbolo (4,0 kg) ($Mg = 4,0\ kgf$); m: massa do aparelho sem êmbolo (1,070 kg) ($mg = 1,070\ kgf$); h: altura de queda do êmbolo, 40 cm; f: fração de energia restante para promover

a penetração $[M/(M+m)]$; N: número de impactos por decímetro; A: área da base do cone de penetração ($1,28 \text{ cm}^2$) e; g: aceleração da gravidade ($9,8 \text{ m.s}^{-2}$).

No penetrômetro de impacto, para a obtenção da resistência a penetração do solo em MPa, os valores de RP (kgf cm^{-2}) foram multiplicados pelo fator 0,0980665.

Para realização do teste de média, utilizou-se o maior valor numérico da resistência a penetração na profundidade de 0,00 – 0,20 e, 0,20 – 0,40 m, obtida em cada um dos quatro pontos dos sistemas de manejo em estudo. Os dados foram tabulados com apoio do programa computacional de Stolf (1991) Posteriormente, tendo-se os valores de RP em MPa até os 60 cm de profundidade, confeccionou-se o gráfico da resistência a penetração de raízes por meio do software Sigma plot.

2.5 Determinações das pressões das máquinas no solo

O trator agrícola utilizado a área sob cultivo de milho no preparo periódico do solo foi do modelo New Holland TL95E pesando 4.600 kg. Considerando que, o trator montado com um equipamento de arrasto, possui uma distribuição de 50% em ambos os eixos logo, têm-se um peso distribuído de 1.150 kg por rodado. O rodado simples no eixo dianteiro do trator é constituído por pneus Firestone 16.9 -16 com uma insulflagem de 200 kPa e, no rodado traseiro simples da Goodyear 18.4-34 com 180 kPa, ambos possuem 75% de água de lastro.

As informações foram plotadas no software Soilflex (Keller et al 2007), com inserção de outras informações como o espaçamento da bitola dos veículos, espaçamento entre eixos, largura do rodado etc., obtendo-se, assim, as pressões exercidas no solo pelo rodado veículo.

2.6 Caracterização física do solo

Tabela 1- Classificação física do horizonte superficial de um Argissolo submetido a diferentes usos.

Sistemas de Manejo	Prof. (m)	Ds (g. cm ⁻³)	Dp	Pt	Areia	Argila %	Silte	Agrupamento Textural*
Pousio	0-0,20	1,48	2,56	42,25	47,40	21,55	31,05	Média
SAF - 2		1,26	2,57	50,87	36,09	22,88	41,03	Média
Cultivo de milho		1,34	2,57	47,8	41,48	21,38	37,14	Média
SAF - 1		1,13	2,54	55,61	48,77	20,21	31,01	Média
Pousio	0,20-0,40	1,44	2,5	42,05	38,07	21,88	40,05	Média
SAF - 2		1,28	2,58	50,23	31,34	30,88	37,78	Média
Cultivo de milho		1,33	2,57	48,11	27,75	30,38	41,87	Média
SAF - 1		1,22	2,54	52,1	32,90	28,88	38,22	Média

Fonte: Autor.

(*) Conforme Santos *et al.* (2013)

2.7 Análises estatística e delineamento experimental

Os dados também foram submetidos à análise de variância (ANOVA) com as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade por meio do programa estatístico SAS, versão *student 2.0*, seguindo as coletas um delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições em cada sistema de manejo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Parâmetros físicos do solo objeto da pesquisa.

Na tabela 1, observa-se que não houve diferenças significativas para a densidade de partículas do solo (Dp) nos quatro sistemas de manejo em estudo como também, para a resistência a penetração de raízes no solo (RP).

Para os valores de densidade do solo (Ds), constata-se na profundidade de 0,0 – 0,20 m, a densidade do solo variou de 1,13 – 1,48 g.cm⁻³, sendo que, no sistema de manejo que apresentou a maior a maior Ds (1,48 g.cm⁻³) foi o sistema sob uso de pousio o qual, diferiu significativamente em relação ao sistema sob SAF-2 (1,26 g.cm⁻³) e com o sistema agroflorestal (SAF-1) (1,13 g.cm⁻³) sendo este último, apresentando a menor densidade do solo em relação à todos os sistemas avaliados e, assim diferindo significativamente entre eles. Ao se analisar a profundidade de 0,20-

0,40 m observa-se que a D_s variou de 1,22 à 1,44 g.cm^{-3} , apresentando o mesmo comportamento significativo da camada de 0 – 0,20 m. O sistema SAF-2, apresentou o menor valor de densidade do solo (1,22 g.cm^{-3}) a qual apresentou diferenças significativas em relação aos demais sistemas.

As baixas densidades do solo nos sistemas agroflorestais (SAF-1 e SAF-2) em ambas as profundidades possivelmente podem estar associadas a baixa atividade de manejo e tratos culturais ao longo do tempo, quando comparado à sistemas convencionais (Oliveira *et al*, 2022). No entanto, mesmo a baixa atividade de manejo nos SAF's pode-se constatar diferenças significativas entre usos e camadas iniciais quando comparado à solos de mata (virgens), logo, podendo-se atribuir às práticas de manejo nestes sistemas como indicadores de futuras compactações do solo nas primeiras camadas, como constatado no estudo de SILVA *et al.* (2011).

A porosidade total (Pt) nos quatro sistemas de manejo em estudo na profundidade de variou de 42,25 – 55,61 %. A maior Pt foi constatada no sistema agroflorestal (SAF-1) com valores de 55,61% a qual, apresentou diferenças significativas em relação ao sistema sob uso de pousio (42,25%) como também observa-se que, a Pt no SAF-1 não apresentou diferenças significativas com o sistema SAF-2 (50,87%) e, com o sistema sob cultivo convencional de milho (47,80%). Ao se analisar a profundidade de 0,20 – 0,40 m constata-se que a porosidade total variou de 42,05 à 52,10% e, mais uma vez o SAF-1 apresentou uma a maior Pt, com valores de 52,10% diferindo significativamente em relação ao sistema sob uso com pousio (42,05%) e, não diferindo significativamente em relação aos demais uso do solo, SAF-2 (50,23%) e, plantio convencional de milho (48,11%).

No presente estudo foi possível constatar em ambas as profundidades que, a densidade do solo é negativamente relacionada com a porosidade total pois, conforme tem-se a maior densidade do solo no sistema de pousio tem-se também uma menor porosidade total no mesmo sistema. O inverso ocorre no SAF-1 com menor densidade do solo repercutindo em maiores porosidades totais.

A porosidade do solo, remete diretamente na qualidade do solo, interferindo em atributos como a permeabilidade do solo, processos de infiltração, redistribuição da capacidade de retenção (RIBEIRO *et al.*, 2007). Além de se relacionar com o crescimento radicular, compactação, meso e macrofauna. Esses atributos do solo podem ser modificados de acordo com o manejo adotado, por isso torna-se de

extrema importância a utilização de práticas conservacionistas visando manter e melhorar essas características (CARMO *et al*, 2018).

A umidade volumétrica atual (θ_c) durante a coleta nos sistemas de manejo, na profundidade de 0 – 0,20 m variou de 18 à 24,77% nos quatro sistemas de manejo em estudo. O sistema agroflorestal (SAF-1) apresentou o maior valor de $\theta_c = 24,77\%$ o qual, diferiu significativamente em relação ao sistema sob uso de pousio ($\theta_c = 18\%$) e, ambos não diferiram significativamente em relação aos demais sistemas de manejo SAF-2 ($\theta_c = 21,44\%$) e milho convencional ($\theta_c = 20,25\%$). Ao se analisar a profundidade de 0,20 – 0,40 m constata-se que a θ_c variou de 18,30 à 23,91% e, seguindo o mesmo comportamento quanto aos níveis de significâncias da profundidade de 0 – 0,20 m. Provavelmente o grande número de componentes arbóreos nos SAF's, pode desempenhar uma função importante na conservação da umidade no solo, por meio do sombreamento parcial em períodos de estiagem como também, a cobertura morta do solo propiciada por resíduos vegetais, são um dos fatores fundamental na diminuição da evapotranspiração do horizonte superior do solo e, portanto, no aumento de retenção de umidade.

Tabela 2 – Avaliação da densidade do solo (Ds), densidade de partículas (Dp), porosidade total (Pt), umidade gravimétrica atual durante a coleta (θ_c), resistência do solo à penetração de raízes (RP), de um Argissolo submetido à diferentes usos.

Sistemas de Manejo	Prof. (m)	Ds (g. cm ⁻³)	Dp	Pt %	θ_c	RP (Mpa)
Pousio	0-0,20	1,48 A	2,56 A	42,25 B	18,00 B	0,73 A
SAF - 2		1,26 B	2,57 A	50,87 A	21,44 AB	0,84 A
Cultivo de milho		1,34 AB	2,57 A	47,80 AB	20,25 AB	0,88 A
SAF - 1		1,13 C	2,54 A	55,61 A	24,77 A	0,79 A
Pousio	0,20-0,40	1,44 A	2,50 A	42,05 B	18,30 B	0,82 A
SAF - 2		1,28 B	2,58 A	50,23 AB	21,60 AB	0,89 A
Cultivo de milho		1,33 AB	2,57 A	48,11 AB	22,22 AB	1,17 A
SAF - 1		1,22 C	2,54 A	52,10 A	23,91 A	0,79 A

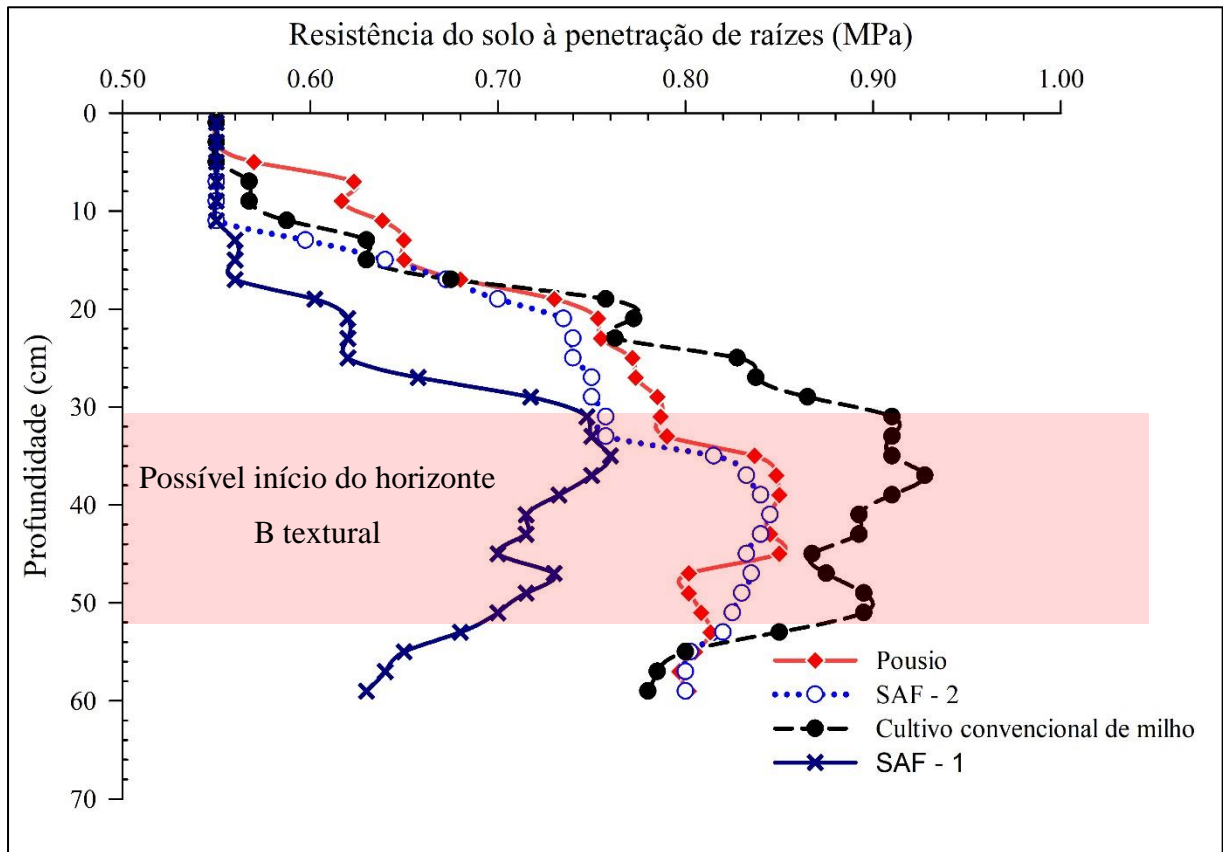
Médias seguidas por letras idênticas na mesma coluna, não apresentam diferenças significativas na mesma profundidade pelo teste Tukey à 5% de probabilidade.

3.2 Resistência à penetração de raízes

A resistência do solo à penetração (RP) integra os efeitos da densidade e da umidade nas condições físicas do solo necessárias para o crescimento das raízes. Os resultados da avaliação são apresentados na Figura 2, onde constata-se que há uma tendência de aumento da resistência à penetração de raízes em profundidade superiores a 30 cm para todos os sistemas avaliados, o que se deve provavelmente ao início do efeito do horizonte B textural característico da ordem dos Argissolos. Constata-se também que, até 0-30 cm de profundidade, os maiores valores de resistência do solo à penetração foram constatados no sistema com cultivo convencional de milho (linha preta) comparado aos demais sistemas de manejo. Pois, provavelmente o uso de máquinas agrícolas pode ter contribuído para o aumento da densidade do solo (tabela 2) e, conseqüentemente na sua resistência do solo à penetração de raízes.

No presente estudo, a resistência a penetração de raízes até 60 cm de profundidade não apresentou condições restritivas ao crescimento de raízes ($RP > 2,0$ MPa). Provavelmente a alta umidade volumétrica do solo (θ) no dia dos testes em todos os sistemas de manejo possa ter contribuído para uma redução da RP ao longo das camadas subjacentes. Tais resultados, diferem dos encontrados por Assis *et al.* (2014) e, Mito *et al.* (2016), ao avaliarem a resistência à penetração de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob diferentes culturas, constataram respectivamente que a partir de 10 cm e 20 cm de profundidade, todos os tratamentos, apresentaram classes de RP consideradas restritivas ($RP > 2,0$ MPa) ao desenvolvimento das culturas.

Figura 2 – Resistência à penetração de raízes de um Argissolo sob diferentes usos.



Fonte: Autor.

3.3 Pressão da máquina no solo na área sob cultivo de milho

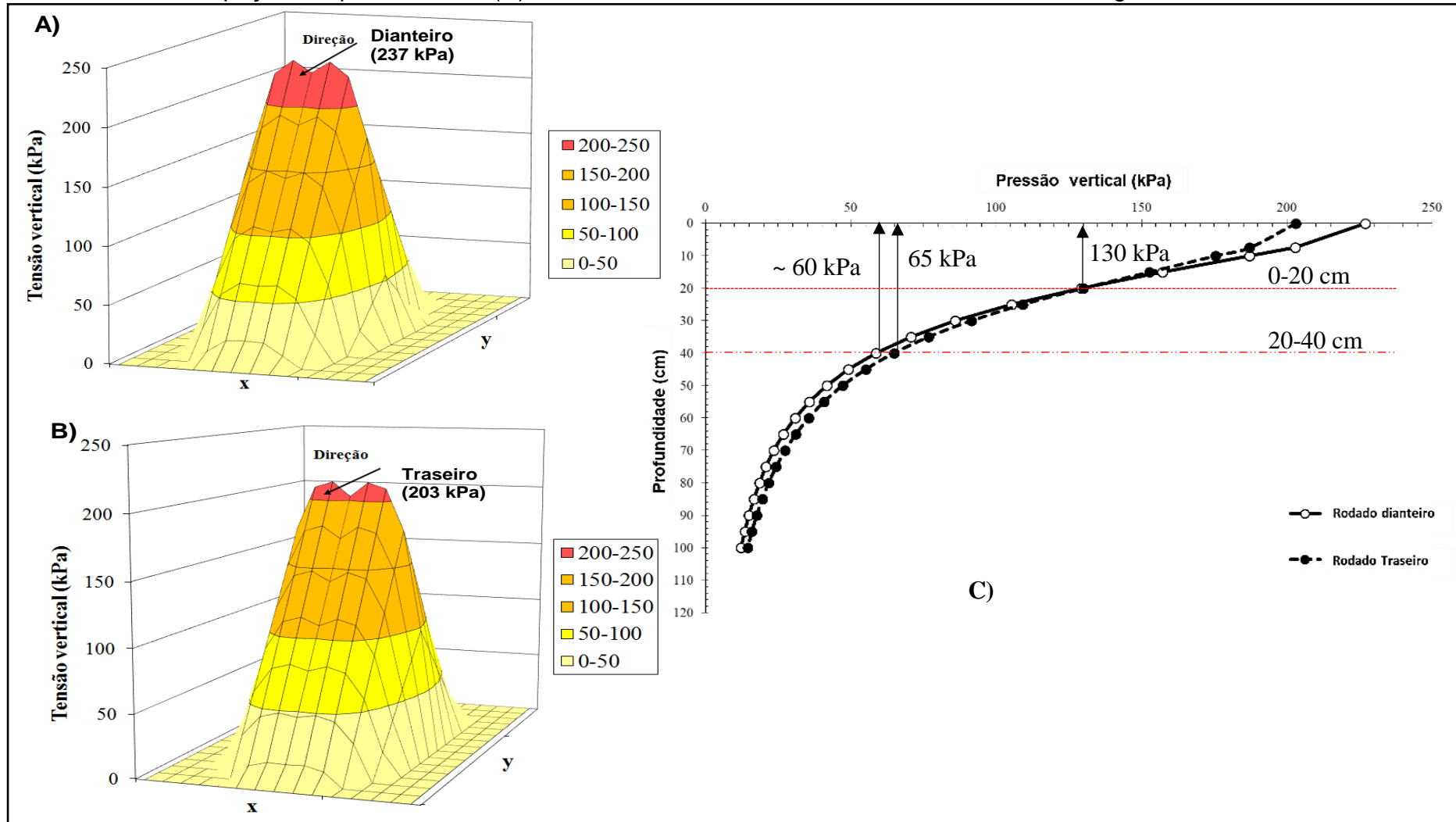
Na figura 3-A, observa-se que o rodado dianteiro gerou maiores pressões na superfície do solo, quando comparado com o rodado traseiro (figura 3-B). As maiores pressões de insuflagem (200 kPa) e a menor largura do pneu (430 mm), foram responsáveis por maiores pressões aplicadas na superfície do solo, geradas pelo rodado dianteiro que foi de 237 kPa. Já em relação ao rodado traseiro, a pressão na superfície do solo foi menor e, correspondendo à 203 kPa, devido a menor insuflagem nos pneus (180 kPa) e uma maior largura (470 mm). Diversos estudos, como os de Lozano et al. (2013); Arvidsson e Keller, (2007); Arvidsson & Ristic (1996) constataram diferenças de pressões aplicadas na superfície do solo quando ocorrem mudanças na relação largura-insuflagem de rodados agrícolas.

Segundo Arvidson & Keller (2007), a pressão média que um pneu exerce sobre a superfície do solo é aproximadamente a sua pressão de insuflagem. No entanto, Reaves & Cooper (1960), comentam a razão de carga aplicada na superfície do solo,

em relação à pressão exercida à 25 cm de profundidade, é de aproximadamente 8,3:1. Sendo assim, analisando à uma profundidade de 20 cm, constata-se que a pressão aplicada por ambos rodados, praticamente se igualam à aproximadamente 130 kPa. Desse modo, ficando estabelecida uma relação entre a carga aplicada na superfície e na profundidade de até 20 cm, de aproximadamente 1,8:1 para o rodado dianteiro e, 1,6:1 para o rodado traseiro.

Logo, a pressão a pressão dissipada até a camada de 20 cm corresponde a uma redução de aproximadamente de 55% da pressão aplicada na superfície por ambos rodados, o que provavelmente diminuiu os efeitos do processo de compactação nas camadas mais profundas conforme constatado nos ensaios de resistência a penetração de raízes no sistema sob cultivo de milho. Sendo assim, provavelmente, as maiores RP contatada no comportamento do gráfico (figura 2) na profundidade de 30 – 50 cm é, proveniente ao início do horizonte B textural característicos da ordem dos Argissolos

Figura 3. Pressões aplicadas na superfície do solo geradas pelos rodados dianteiros (A), traseiros (B) do trator TL 95E da New Holland e, sua dissipação em profundidade (C) na área sob cultivo convencional de milho em um Argissolo.



Fonte: Autor.

4 CONCLUSÃO

- O sistema agroflorestal (SAF-1) apresentou menores densidade do solo como também, uma maior porosidade total e, uma melhor conservação da umidade do solo;
- O sistema de pousio apresentou maiores densidade do solo repercutindo assim, numa menor porosidade total e, conseqüentemente menores poros para armazenamento de água conforme contatado na menor umidade volumétrica do solo;
- A alta umidade volumétrica nos sistemas de manejo em estudo, pode ter contribuído para valores de baixa resistência a penetração de raízes os quais, não apresentaram valores críticos ($RP > 2,0$ MPa);
- A pressão do trator agrícola no solo, na área com cultivo convencional de milho, na profundidade de 0,0 – 0,20 m, gerou uma dissipação de 55% da pressão inicialmente aplicada na superfície do solo.
- O uso do trator na área com milho não gerou aumento significativos na resistência à penetração de raízes nesse sistema como também na densidade do solo.

REFERÊNCIAS

AMADO, T.J.C.; FIORIN, J.E.; ARNS, U.; NICOLOSO, R.S.; FERREIRA, A.O. Adubação verde na produção de grãos e no sistema plantio direto. In: LIMA FILHO, O.F.; AMBROSANO, E.J.; ROSSI, F.; CARLOS, J.A.D. Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática. Brasília: Embrapa, p.81-125, 2014.

ARRUDA, E. M.; ALMEIDA, R. F.; DOMINGUES, L. A. S.; SILVA JUNIOR, A. C.; MORAES, E. R.; BARROS, L. R.; SOUSA, J. L. O.; LANA, R. M. Q. Soil porosity and density in sugarcane cultivation under different tillage systems. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, p. 2689-2696, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.10608>.

ARSHAD, M.A.; LOWERY, B. & GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: **DORAN, J.W. & JONES, A.J.**, eds. Methods for assessing soil quality. Madison, Soil Science Society of America. 1996. p. 123- 141 (SSSA Special publication 49).

ARVIDSSON, J.; KELLER, T. Soil stress as affected by wheel load and tire inflation pressure. **Soil & Tillage Research**. v.96, p.284-291. 2007.

ARVIDSSON, J.; RISTIC, S. soil stress and compaction effects for four tractor tyres. **Journal of Terramechanics**, v.33, n.5, p.223-232,1996.

ASSIS, E. B. et al. Resistência à penetração em Argissolo vermelho-amarelo sob pousio e diferentes culturas de cobertura. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer -Goiânia, v.10, n.19; p.1668. 2014.

BENEVENUTE, P. A. N.; MORAIS, E. G.; SOUZA, A. A.; VASQUES, I. C. F.; CARDOSO, D. P.; SALES, F. R.; SEVERIANO, E. C.; HOMEM, B. G. C.; CASAGRANDE, D. R.; SILVA, B. M. Penetration resistance: An effective indicator for monitoring soil compaction in pastures. **Ecological Indicators**, v. 117, p. 1-9, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106647>

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; SILVA, A. P. Efeito da compactação na produtividade de cultivares de soja em latossolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 787-794, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000500004>

CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Esalq, 1997. 132 p.

CARMO et. al. Densidade e porosidade do solo em pastagem recuperada e degradada, na amazônia ocidental. **AGRARIAN ACADEMY**, v.5, n.9, p. 2018

COLET, M. J.; SVERZUT, C. B.; WEIRICH NETO, P. H.; SOUZA, Z. M. Alterações em atributos físicos de um solo sob pastagem após escarificação. **Ciência Agrotecnológica**, v.33, n. 2, p. 361-368, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542009000200001>

COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Compactação de um latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 933- 942, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000300003>

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 11, safra 2023/24, n. 10, décimo levantamento, julho 2024.

CORRECHEL, V., SILVA, A. P., TORMENA C. A. Influência da posição relativa à linha de cultivo sobre a densidade do solo em dois sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.165-173, 1999

KELLER, T. AND ARVIDDSON, J. A model for prediction of vertical stress distribution near the soil surface below rubber-tracked undercarriage systems fitted on agricultural vehicles. **Soil & Tillage Research**, 155, 116–123, 2016.

LIMA, R. P.; DE LEÓN, M. J.; DA SILVA, A. R. Compactação do solo de diferentes classes texturais em áreas de produção de cana-de-açúcar. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n.1, p.016-020, jan/fev, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2013000100003>

MIOTO, L.S. *et al.* Resistência do solo à penetração das raízes avaliada por dois penetrômetros em uma área cultivada com mandioca. **Acta Iguazu**, v.5, n.1, p.65-79, 2016.

MOLIN, J. P., DIAS, C.T.S.; CARBONERA, L. Estudos com penetrometria: Novos equipamentos e amostragem correta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.5, p.584–590. 2012.

REAVES, C.A.; COOPER, A.W. Stress distribution in soil under tractor roads. **Journal of Agricultural Engineering Society**, v. 41, p.20-31, 1960.

REICHERT, J. M; REINERT, D.J; SUZUKI, L.E.A.S; HORN, R. Mecânica do solo (cap. II). **IN: VAN LIER**, Q. J. Física do Solo. Sociedade Brasileira Ciência do Solo. UFV. 2010. 298p.

RIBEIRO, K.D.; MENEZES, S.M.; MESQUITA, M.G.B.F.; SAMPAIO, F.M.T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras - MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, n.4, p.1167-1175, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542007000400033>.

ROQUE, M. W.; MATSURA, E. E.; SOUZA, Z. M.; BIZARI, D. R.; SOUZA, A.L. Correlação linear e espacial entre a resistência do solo ao penetrômetro e a produtividade do feijoeiro irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1827-1835, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000500004>.

SANTOS, H.G. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3^oed. Brasília-DF, Embrapa. 2013.

SILVA, D. C. Atributos do solo em sistemas agroflorestais, cultivo convencional e floresta nativa. **Revista de estudos ambientais**, v.13, n.1, p.77- 86, 2011.

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.2, p.229-235, 1991.

STOLF, R.; FERNANDES, J. & FURLANI Neto, V.L. Penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf: recomendação para seu uso. **STAB**, 1:18-23, 1983. [(Reeditado: Piracicaba, IAA/PLANALSUCAR, 1983. 9p. (Série Penetrômetro de Impacto. Boletim, 1)]

TAYLOR, H.M. et al. soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. **Soil Sci.**, Baltimore, v. 102, p. 18-22, 1966.

TORMENA CA & ROLOFF G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 20:333-39, 1996.