

Resistência do solo à penetração das raízes avaliada por dois penetrômetros em uma área cultivada com mandioca

Liliane Scabora Miotto¹, Marcelo Alessandro Araujo², Cássio de Castro Seron³, Rogério Lavanholi⁴,
Marcelo Augusto Batista⁵, Cláudia Salim Lozano⁶

¹Engenheira Agrícola, doutoranda em Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá - Brasil.

²Professor Doutor do Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Maringá, Cidade Gaúcha - Brasil.

³Engenheiro Agrícola, doutorando em agronomia, Universidade Estadual de Maringá – Maringá - Brasil.

⁴Engenheiro Agrícola, doutorando em Engenharia de Sistemas Agrícolas, ESALQ/USP, Piracicaba - Brasil.

⁵Professor Doutor do Curso de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá – Brasil.

⁶Engenheira Agrícola, mestranda em Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá - Brasil.

liliscabora@hotmail.com; araujoomaa@yahoo.com.br; cassioseron@msn.com;
rogeriolavanholi@hotmail.com; mabatista@uem.br; claudia.lozano93@hotmail.com

Resumo: A compactação é um fator limitante ao crescimento e desenvolvimento das plantas. Ela surge principalmente devido à utilização de máquinas e implementos em condições inadequadas de manejo. Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo avaliar em um solo de textura média, parâmetros físicos ligados à compactação, tais como: densidade, porosidade e resistência do solo a penetração (RP) em uma área cultivada com mandioca que se encontrava no 1º ano de desenvolvimento. Além disso, também foram mensurados os valores de resistência à penetração nesta área utilizando dois modelos distintos de penetrômetros: de impacto e de anel dinamométrico. O experimento foi conduzido no Campus do Arenito, localizado em Cidade Gaúcha – PR. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico, textura média. Os resultados obtidos demonstraram que a área apresenta elevada densidade e baixa macroporosidade. Com relação à resistência do solo à penetração, obteve-se maiores valores nas camadas entre 0,20 a 0,40 m, para ambos penetrômetros, possivelmente devido ao efeito do “pé-de-grade” e/ou “pé-de-arado”. O penetrômetro de impacto apresentou, nas camadas abaixo de 0,10 m, os maiores valores de resistência do solo a penetração. O coeficiente de correlação entre os penetrômetros foi de 0,75.

Palavras-chave: Penetrômetro de anel dinamométrico, Penetrômetros de impacto, Qualidade física do solo.

Soil penetration of roots resistance valued for two penetrometer in a cultivated area with cassava

Abstract: Compression is a limiting factor to the growth and development of plants. It arises mainly due to the use of machinery and implements in inadequate management conditions. In this sense, the present study was to evaluate, in a sandy loam soil, physical parameters related to compression, such as bulk density, porosity and soil resistance to penetration (RP) in an area cultivated with cassava that was in the 1st year of development. Furthermore, also was the penetration resistance values measured in this area using two different penetrometers models: the impact and the dynamometer ring. The experiment was conducted on the campus of Arenito, located in Cidade Gaúcha-PR. The soil was classified as Oxisol, medium texture. The results obtained demonstrated that the area has high bulk density and low macroporosity. Regarding the penetration resistance was obtained higher values in the layers between 0.20 to 0.40 m depth, for both penetrometers, possibly due to the effect of "plow pan" and/or "tillage

pan". The impact penetrometer presented in the layers below 0.10 m depth, the highest values of RP. The correlation coefficient between the penetrometer was 0.75.

Key words: dynamometrical ring penetrometer, impact penetrometer, soil physical quality.

Introdução

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma planta rústica, com ampla adaptação às mais variadas condições de clima e solo (Fontanela, 2012). A cultura é amplamente cultivada devido à sua importância nutricional e industrial, sendo comumente cultivada em solos que possuem características como textura média a arenosa e com reduzido teor de matéria orgânica, pois possibilitam fácil crescimento das raízes, boa drenagem e facilidade de colheita (Fukuda e Otsubo, 2003). O estado do Paraná produz anualmente aproximadamente 4,113 milhões de toneladas de mandioca (Seab, 2012), sendo a região noroeste a responsável por grande parte desta produção.

O sistema de preparo do solo mais comum é o convencional. Este tipo de preparo do solo consiste no revolvimento mecânico das camadas superficiais e geralmente se utiliza uma aração e duas gradagens (Fasinmirin e Reichert, 2011). O uso frequente destes implementos no preparo do solo leva a compactação, a qual dificulta a penetração das raízes e a absorção de água, principalmente nas camadas subsuperficiais, formando o chamado “pé de arado” e/ou “pé-de-grade” (Embrapa, 2011; Camargo e Alleoni, 1997). Segundo Santana et al. (2014) o manejo do solo é um dos principais fatores que interfere na compactação, juntamente com a textura (Lima et al., 2013a) e o teor de água no solo (Moraes et al., 2012).

As propriedades físicas do solo são afetadas pela compactação, praticamente, em todas as fases do desenvolvimento vegetal, desde a germinação até o desenvolvimento radicular e da parte aérea da planta (Montanari et al., 2012). As raízes da cultura da mandioca, devido suas características e anatomia, apresentam alta sensibilidade à compactação, podendo resultar em diminuição da produtividade (Howeler et al., 1993).

Propriedades físicas do solo como densidade, porosidade e resistência do solo à penetração são comumente utilizados para a verificação de restrições do desenvolvimento de culturas (Tieppo et al., 2011; Silva et al., 2011; Araujo et al., 2004).

A compactação promove o aumento de massa por volume do solo, resultando assim em aumento na densidade, que por sua vez interfere na resistência do solo à penetração das raízes (RP) e porosidade do solo (Beutler et al., 2005). Mentges et al. (2010) avaliaram o efeito de diferentes situações de preparo nos atributos físico-hídricos de um solo de textura

arenosa e verificaram que a compactação elevou a densidade e a resistência mecânica à penetração do solo, reduziu a porosidade total e a macroporosidade, sem causar efeitos significativos na microporosidade. Segundo Silva et al. (2013) a frequente mensuração desses parâmetros é de extrema importância para avaliar o estado físico do solo referente a compactação, visando à adoção correta de práticas de manejo e conservação.

A resistência do solo a penetração é determinada por meio de penetrômetros, os quais indicam a resistência exercida pelo solo à penetração de uma ponta cônica, simulando a resistência que o solo oferece à penetração das raízes (Almeida et al., 2012; Molin et al., 2012; Campos et al., 2013; Oliveira Filho et al., 2015).

Os penetrômetros podem ser denominados como estáticos, em que o conjunto é pressionado contra o solo, e a resistência à penetração é registrada em um dinamômetro, ou dinâmicos em que a haste adentra no solo em virtude do impacto de um peso que cai em queda livre de uma altura constante (Stolf, 1991). Com a utilização de penetrômetros de princípios de funcionamento distintos no levantamento da resistência à penetração, é conveniente que se conheça a proximidade de seus resultados, visando à melhoria na interpretação dos dados (Lima et al., 2013a).

Avaliações das condições físicas do solo decorrentes do sistema de preparo convencional para a cultura da mandioca, no Noroeste do Estado do Paraná, são escassas. Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade física de um Latossolo Vermelho Distrófico em uma área cultivada com mandioca, e comparar os valores de resistência do solo a penetração obtidos com os penetrômetros de anel dinamométrico e de impacto.

Material e Métodos

O experimento foi realizado no Campus do Arenito da Universidade Estadual de Maringá, município de Cidade Gaúcha – PR, que está localizado na região noroeste do estado, sob as coordenadas geográficas 23°22'30" S, 52°56'00" W e altitude média de 404 m. Conforme a classificação de Köppen, a região apresenta clima do tipo Cfa, subtropical úmido.

O solo do estudo foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico (Embrapa, 2013; Panini et al., 2015). A Tabela 1 apresenta as características granulométricas do solo.

Tabela 1. Análise granulométrica do solo em estudo

Profundidade (m)	Areia grossa	Areia fina (g kg ⁻¹)	Silte	Argila
0,0-0,20	490	340	20	150
0,50	700	80	10	210

A área do estudo estava sendo cultivada com mandioca, variedade fécula branca, implantada em setembro de 2012, sendo que o preparo do solo antes do plantio foi o preparo convencional (aração e gradagem). Antes da implantação da cultura da mandioca a área encontrava-se sob pastagem a mais de dez anos (pastagem degradada). As coletas de dados dos parâmetros físicos foram realizadas em fevereiro de 2013. Os dados analisados na área foram: densidade do solo (Ds), porosidade do solo (macroporosidade, microporosidade e total) e resistência do solo à penetração (RP), utilizando-se os penetrômetros de anel dinamométrico e de impacto.

Para a determinação da densidade e porosidade do solo foram coletadas na área 24 amostras indeformadas no centro da camada de 0,00 - 0,20 m, com o auxílio de um amostrador específico e utilizando anéis volumétricos de 50 mm de diâmetro e 50 mm de altura. Após coletadas, as amostras foram envoltas em papel alumínio e acondicionadas em sacos plásticos. No laboratório, as amostras foram preparadas para as análises, retirando-se o excesso de solo das suas extremidades. Em seguida, foram saturadas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água numa bandeja, até atingir cerca de 2/3 da altura das amostras (Araujo et al., 2004).

Os dados de porosidade do solo (macro, micro e total) foram determinados utilizando-se as amostras previamente saturadas, pesadas e, posteriormente, submetidos à mesa de tensão a um potencial de -0,006 MPa, pesadas novamente e em seguida secas em estufa a $\pm 105^{\circ}\text{C}$ por 24 horas, para finalmente ser realizada a última pesagem. Para a determinação da densidade do solo foram utilizados os mesmos anéis volumétricos utilizados para o levantamento dos dados de porosidade do solo, considerando-se o peso da amostra após seca em estufa a $\pm 105^{\circ}\text{C}$ dividido pelo volume do anel. Tanto a metodologia para a determinação de porosidade, quanto para densidade do solo seguiram a descrição proposta por Embrapa (1997).

Na literatura é bastante difundido que a RP possui relação estreita com a umidade do solo (Araujo et al., 2004; Lima et al., 2013b). Neste sentido, no mesmo dia em que foi efetuada a medida da RP foram coletadas três amostras de solo da área, com auxílio de um trado holandês, em cada profundidade (0,00-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m) para determinação da umidade conforme metodologia descrita em Embrapa (1997). Os valores médios da umidade gravimétrica do solo são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores médios da umidade do solo nas diferentes profundidades

Profundidade (m)	Umidade (kg kg^{-1})
0,0-0,20	0,0816
0,20-0,40	0,0984
0,40-0,60	0,0929

A mensuração da RP, utilizando o penetrômetro de anel dinamométrico, foi efetuada conforme metodologia descrita em Tormena e Roloff (1996). Os resultados de resistência a penetração obtidos com o penetrômetro de anel dinamométrico foram transformados em MPa (unidade de pressão), conforme a equação (1) fornecida pelo fabricante do penetrômetro.

$$RP = \frac{1,8192 + 0,4848y}{a} \quad (1)$$

em que:

RP: resistência do solo à penetração ($\text{kgf cm}^{-2} * 0,0980665 = \text{MPa}$);

y: índice de cone (mm);

a: área do cone (cm^2)

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 (2) dos “holandeses” simplificada por Stolf (1991), conforme demonstrado a seguir:

$$RP = \frac{(M + m) \times g}{A} + \frac{f \times M \times g \times h}{10 \times A} \times N \quad (2)$$

em que:

RP: resistência mecânica do solo à penetração, kgf cm^{-2} ;

M: massa do êmbolo (1,507 kg) ($Mg = 1,507 \text{ kgf}$);

m: massa do aparelho sem êmbolo (1,070kg) ($mg = 1,070 \text{ kgf}$);

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 ($1,27 \text{ cm}^2$) 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 ambos os penetrômetros foram coletados aleatoriamente 40 dados de resistência à penetração na área, com intervalos de 0,10 m até a profundidade de 0,60 m no perfil do solo,

perfazendo um total de 240 dados de RP para cada penetrômetro. Foi respeitada uma distância de 0,50 m entre os pontos de coleta de cada modelo de penetrômetro.

As coletas foram realizadas com umidade do solo próximo da capacidade de campo (Tormena e Roloff, 1996). De maneira geral, na literatura é muito difundido o valor de 2,00 MPa como sendo limitante para o crescimento e desenvolvimento das raízes no solo (Araujo et al., 2004; Taylor, 1966), por esse motivo esse foi o valor adotado.

Os dados da variável RP foram analisados para verificar se houve diferenças estatísticas entre os penetrômetros, utilizando o teste *t* para amostras independentes. A demonstração estatística dos resultados foi feita por meio do uso do intervalo de confiança da média a 95 % ($p < 0,05$). Também foram realizadas correlações de Pearson entre os valores de RP obtidos pelos diferentes penetrômetros.

Resultados e Discussão

A Tabela 3 apresenta os valores de densidade e porosidade obtidos na área, na profundidade amostrada (0,00 – 0,20 m).

Tabela 3. Valores médios de Densidade (Ds), e porosidade do solo (Macro, Micro e Total) na área do estudo

Ds (Mg m ⁻³)	Poros		
	Macro	Micro (m ³ m ⁻³)	Total
1,75	0,0842	0,2352	0,3194

Na área o cultivo anterior era pastagem e no momento da coleta estava sendo cultivada mandioca, utilizando o sistema convencional de preparo do solo. Desta forma, considera-se que o elevado valor de densidade do solo observado, seja devido ao curto espaço de tempo decorrido entre a implantação da cultura e a coleta dos dados. Camargo e Alleoni (1997) atribuem o maior efeito do selamento superficial às características intrínsecas dos solos arenosos, sobretudo quando foram preparados para o plantio convencional a pouco tempo.

De acordo com Reynolds et al. (2002), o volume adequado de macroporos em um solo deve ser de no mínimo 0,10 m³ m⁻³. Nota-se que o solo do estudo apresenta percentual menor do que o considerado adequado, ou seja, este solo poderá ter restrição quanto a difusão de gases, na camada avaliada. Este comportamento da macroporosidade indica que as plantas cultivadas sob esta condição de solo poderão sofrer déficit de oxigênio na zona radicular,

sobretudo em condições de maior umidade do solo, como por exemplo, logo após uma chuva ou irrigação (Reynolds et al., 2002).

De acordo com Camargo e Alleoni (1997), um solo ideal deve apresentar $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ de volume de poros totais, que na capacidade de campo teria $0,335 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ocupado pela água e $0,165 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ocupado pelo ar, o que não ocorre na área em estudo, pois a porosidade total é de apenas $0,3194 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Por outro lado, os valores de microporos e porosidade total encontrados neste estudo são similares aos verificados por Araujo et al. (2004), em um Latossolo Vermelho Distrófico cultivado com mandioca, no sistema de preparo convencional do solo. Indicando o efeito do manejo sobre o comportamento da porosidade do solo.

A distribuição da macroporosidade e microporosidade do solo em função da densidade são apresentadas na Figura 1 e 2 respectivamente.

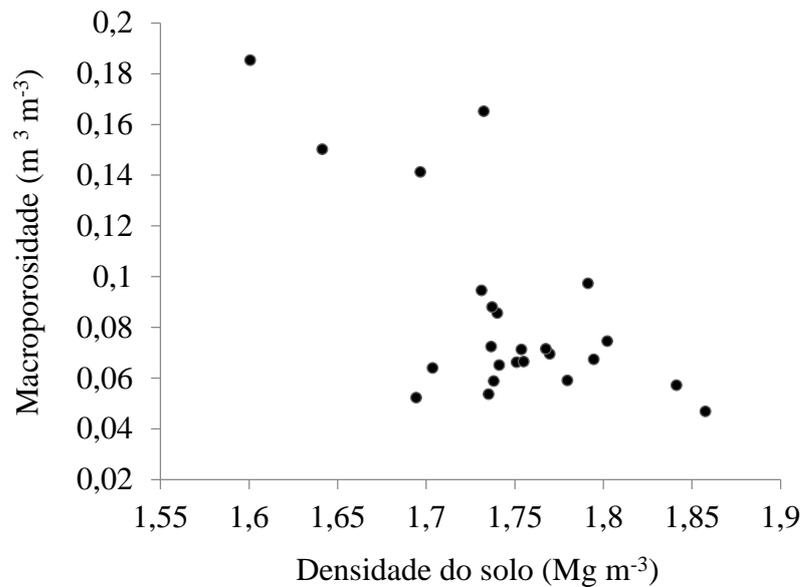


Figura 1. Macroporosidade em função da densidade do solo, na profundidade de 0-0,20 m.

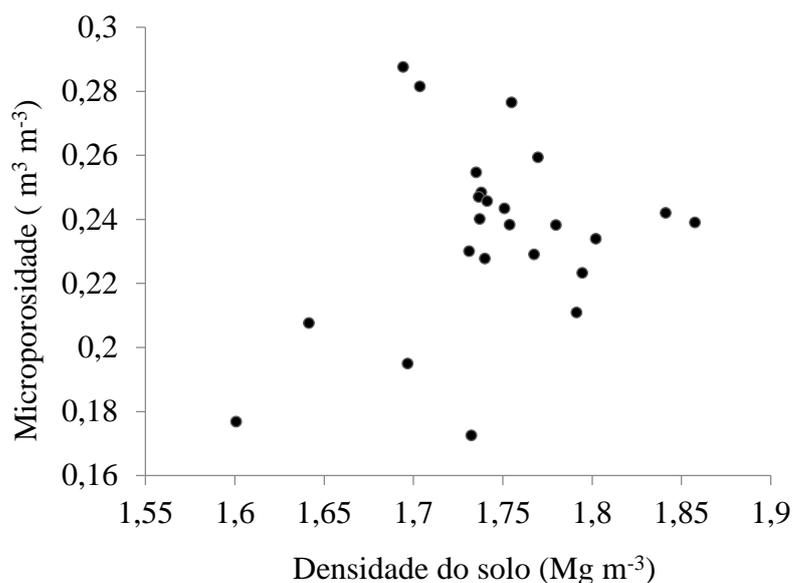


Figura 2. Microporosidade em função da densidade do solo, na profundidade de 0-0,20 m.

Pode-se verificar que com o aumento da densidade houve a redução da macroporosidade (Figura 1), fato este ocorrido provavelmente devido ao sistema convencional de preparo do solo, que promove a desagregação criando condições para que ocorra maior decomposição da matéria orgânica, tornando a estrutura do solo mais sensível à compactação. Comportamento semelhante foi encontrado por Watanabe et al. (2002). Araujo et al. (2004) também verificaram redução da macroporosidade em função da elevação da densidade em sistema de preparo convencional do solo cultivado com mandioca.

A Figura 2 mostra o comportamento da microporosidade em função da densidade. Indicando que, a medida que a D_s aumenta o volume de microporos também aumenta. Para Rossetti e Centurion, (2013) quando o volume de microporos é maior, pode se ter um benefício em relação à retenção de água; todavia, há perda de aeração e circulação de gases, aspectos que indicam compactação e perda da qualidade física do solo.

A Figura 3 apresenta os dados de resistência à penetração encontrados na área, comparando-se os penetrômetros de impacto e de anel dinamométrico.

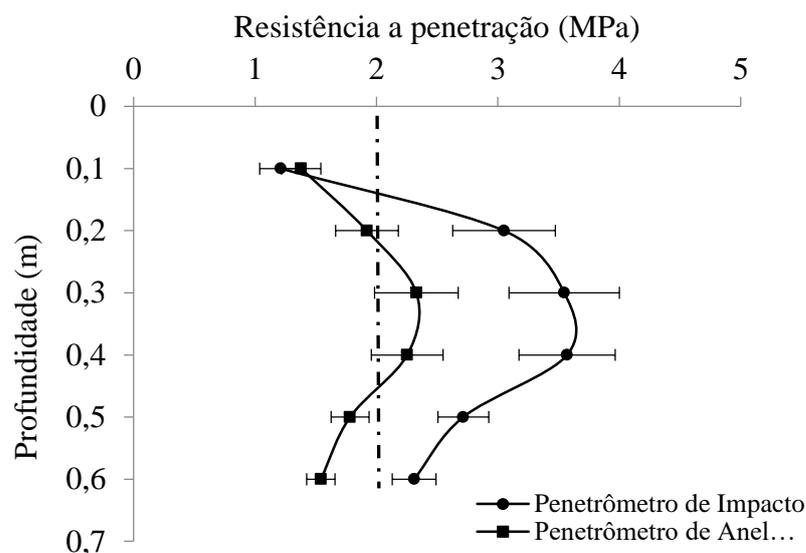


Figura 3. Resistência do solo à penetração, utilizando o penetrômetro de impacto e o de anel dinamométrico. As barras referem-se ao intervalo de confiança da média, e a sobreposição dos intervalos de confiança, na mesma profundidade, indica ausência de diferenças entre as médias de RP, para os dois penetrômetros avaliados.

Na Figura 3 os dados demonstram que somente na profundidade 0,10 m não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre os dados de RP coletados pelos diferentes penetrômetros. A partir da profundidade 0,20 m, os valores de RP do penetrômetro de impacto mostraram-se estatisticamente superiores ($p < 0,05$) aos encontrados pelo penetrômetro de anel dinamométrico. Comportamento semelhante a este foi encontrado por Beutler et al. (2007), que comparando três tipos de penetrômetros, em dois tipos de solo (textura média e textura argilosa), verificaram maiores valores de RP para o penetrômetro de impacto em relação ao de anel dinamométrico e ao eletrônico, quando avaliadas camadas com maiores níveis de compactação. Do mesmo modo, Beutler et al. (2002) e Stolf (1991), também encontraram maiores valores de RP com o penetrômetro de impacto, quando comparado com penetrômetro de anel dinamométrico. Desta forma entende-se que em solos com maior grau de compactação, o penetrômetro de impacto apresenta valores superiores de RP, não possibilitando sua comparação direta com valores críticos, às plantas, de RP obtidos com o penetrômetro estático de anel dinamométrico (Beutler et al., 2007).

Em um estudo realizado por Lima et al. (2013b), para comparação de valores de resistência a penetração entre dois penetrômetros em Latossolo Amarelo, os autores observaram que os penetrômetros de impacto e o eletrônico da marca Falker, apresentaram médias de 1,75 MPa. Sendo, portanto, semelhantes na avaliação da RP em todas as

profundidades analisadas por estes autores, sugerindo que ambos modelos testados podem ser utilizados para solos com características texturais semelhantes ao de estudo.

Assis et al. (2014) ao avaliarem a resistência à penetração de um Argissolo Vermelho-Amarelo com diferentes culturas de cobertura com penetrômetro de impacto, observaram que a partir da profundidade de 0,10 m, todos os tratamentos, exceto o solo cultivado com milho, apresentaram classes de RP consideradas restritivas ($RP > 2,0$ MPa) ao desenvolvimento das culturas. Este comportamento corrobora os resultados encontrados no presente estudo, pois a partir da profundidade de 0,20 m os valores de RP encontrados com o penetrômetro de impacto foram sempre superiores a 2,0 MPa (Figura 3).

Outro aspecto relevante do presente trabalho é que, os dados encontrados mostram que apesar das diferenças no modo de utilização e sensibilidade dos penetrômetros avaliados, ambos conseguiram detectar (mesmo que com valores de RP significativamente diferentes), a presença de camadas compactadas, como verificado no intervalo de 0,20 – 0,40 m de profundidade. Também deve ser considerado que, quando se trata de penetrômetro de impacto, devido ao seu princípio de funcionamento, para solos como o deste estudo, o valor limitante de RP 2,0 MPa precisa ser reavaliado, sobretudo nas camadas abaixo de 0,10 m de profundidade.

A correlação dos valores de resistência determinados pelos penetrômetros em cada profundidade amostrada é exibida a seguir (Tabela 4).

Tabela 4. Correlações de Pearson entre os valores de resistência do solo à penetração determinados com os penetrômetros de anel dinamométrico e impacto nas diferentes profundidades avaliadas

	Profundidade (m)					
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60
Modelo Penetrômetro	Impacto					
Anel	0,77	0,72	0,70	0,83	0,46	0,17

Verifica-se que as maiores correlações ocorreram até a profundidade 0,40 m ($r \geq 70$), a partir desta camada as correlações diminuem, provavelmente devido o efeito da textura, pois há um aumento do teor de argila nas camadas mais profundas (Tabela 1).

Stolf (1991) argumenta que, nos meios sujeitos a compressões elásticas, como ocorre nos solos argilosos, a resistência dinâmica apresenta-se maior que a estática, e a diferença percentual aumenta com a resistência do meio. Beutler et al. (2007) observaram que o penetrômetro de impacto registrou o maior valor de RP no Latossolo Vermelho distrófico, textura média, somente quando utilizado na condição de maior nível de compactação (maior

Ds). Enquanto, para o Latossolo Vermelho eutrófico (LVef), textura argilosa, os autores constataram que os maiores valores de RP ocorram já a partir do segundo nível de compactação (Ds intermediária), e continuaram aumentando no nível seguinte. Estes autores atribuem esta diferença ao maior conteúdo de argila no LVef, que confere maior coesão entre as partículas e maior resistência à penetração.

Na Figura 4, é apresentada a correlação entre os penetrômetros de anel dinamométrico e de impacto, considerando conjuntamente todas as profundidades analisadas.

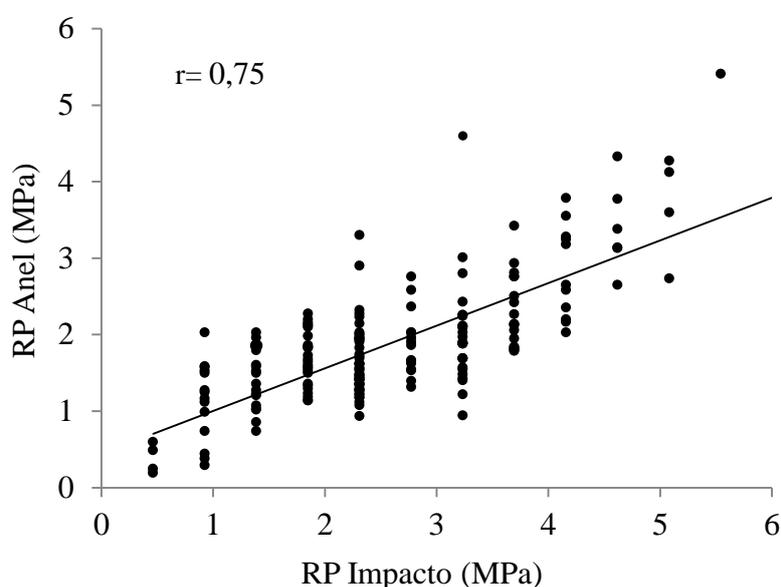


Figura 4. Correlação de Pearson entre os valores de resistência do solo à penetração determinados com o penetrômetro de anel dinamométrico e de impacto, considerando conjuntamente todas as profundidades analisadas.

Os penetrômetros apresentaram correlação positiva ($r = 0,75$). Estes valores corroboram com os encontrados por Roque et al. (2003) que obtiveram $r = 0,80$ e estão abaixo daqueles encontrados por Beutler et al. (2002) que encontraram $r > 0,96$. Em síntese, estes resultados sugerem que os penetrômetros avaliados, nesta condição de solo e manejo, conduzem a valores relativamente semelhantes e que podem ser utilizados para o fim proposto. Porém, deve ser considerado que o penetrômetro de impacto conduz a valores absolutos de RP superiores, sobretudo nas camadas mais densas.

Conclusões

A área apresentou macroporosidade média inferior ao limite mínimo de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. À medida que os valores de Ds aumentam houve decréscimo de macroporos e acréscimo de microporos;

A camada que apresentou maiores valores de RP, foi na profundidade de 0,20 – 0,40 m, devido ao efeito do preparo convencional do solo que promoveu a formação de camada compactada denominada de “pé de grade” ou “pé de arado”;

O penetrômetro de impacto apresentou, nas camadas abaixo de 0,10 m de profundidade, valores significativamente superiores de resistência à penetração, em relação ao penetrômetro de anel;

Houve uma boa correlação entre os penetrômetros ($r=0,75$). Porém, quando da utilização do penetrômetro de impacto, sugere-se que, o valor de RP tido como crítico (2,0 MPa) seja utilizado com cautela.

Referências

- ALMEIDA, C. X.; CENTURION, J. F.; JORGE, R. F.; BARBOSA, J. C.; ANDRIOLI, I. Funções de pedotransferência para a curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 36, n. 1, p. 1745- 1755. 2012.
- ARAÚJO, M. A; TORMENA, C. A; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 337-345. 2004.
- ASSIS, E. B.; NUNES, M. C. M.; BARELLI, M. A. A.; SEABRA JUNIOR,S.; SERAFIM,M. E. 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.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G.; FERRAZ, M. V. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade da soja. **Revista brasileira de Ciênciado Solo**, Viçosa, v. 29, n. 6. 2005.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SILVA,A. P. Comparação de penetrômetros na avaliação da compactação de latossolos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n.1. 2007.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SOUZA, Z. M.; SILVA, L. M. Utilização dos penetrômetros de impacto e de anel dinamométrico em Latossolos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.22, n.2, p.191-9. 2002.
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, 132 p. 1997.

CAMPOS, M. C. C.; AQUINO, R. E.; OLIVEIRA, I. A.; BERGAMIM, A. C. Variabilidade espacial da resistência mecânica do solo à penetração e umidade do solo em área cultivada com cana-de-açúcar na região de Humaitá, Amazonas, Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.8, p.305-310. 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed., Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013, 353 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Produção de milho na agricultura familiar**. Circular Técnica, 159. Sete Lagoas, MG. 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análises de solos**. Rio de Janeiro, 212 p. 1997.

FASINMIRIN, J.T.; REICHERT, J.M. Conservation tillage for cassava (*Manihot esculenta* Crantz) production in the tropics. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.113, n1, p.1-10. 2011.

FONTANELA, E. **Preparos e propriedades físicas de um solo arenoso para cana-de-açúcar e mandioca no Rio Grande do Sul**. 2012. 156 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria: UFSM, 2012.

FUKUDA, C.; OTSUBO, A.A. **Cultivo da mandioca na região centro sul do Brasil**. Embrapa Mandioca e Fruticultura. 2003. Disponível em http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca_centrosul/solos.htm. Acessado em 05 de agosto de 2015.

HOWELER, R.H.; EZUMAH, H.C. & MIDMORE, D.J. Tillage systems for root and tuber crops in the tropics. **Soil Till. Res.**, 27:211-240. 1993.

LIMA, R. P; LEÓN, M. J. D; SILVA, A. R. Compactação do solo de diferentes classes texturais em áreas de produção de cana-de-açúcar. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 01, p. 16-20. 2013a.

LIMA, R. P; LEÓN, M. J. D; SILVA, A. R. Comparação entre dois penetrômetros na avaliação da resistência mecânica do solo à penetração. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 04, p. 577-581. 2013b.

MENTGES, M.I. et al. Propriedades físico-hídricas do solo e demanda energética de hastas escarificadora em Argissolo compactado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.315-321. 2010.

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

MONTANARI, R.; ZAMBIANCO, E. C.; CORRÊA, A. R.; PELLIN, D. M. P.; CARVALHO, M. P.; DALCHIAVON, F. C. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho correlacionados linear e espacialmente com a consorciação de guandu com milheto. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 1, p.125-135. 2012.

MORAES, M. T; DEBIASI, H; FRANCHINI, J. C; SILVA, V. R. Correction of resistance to penetration by pedofunctions and a reference soil water content. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 06, p. 1704-1713. 2012.

OLIVEIRA FILHO, F. X.; MIRANDA, N. O.; MEDEIROS, J. F.; SILVA, P. C. M.; MESQUITA, F. O.; COSTA, T. K. G. Zona de manejo para preparo do solo na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**.v.19,n.2. p.186-193. 2015.

PANINI, R. L.; ARAUJO, M. A; BERTOLDI, I. R; MORAES JÚNIOR, J. C; USHIWATA, S. Y; SOUZA, S. L. Levantamento de uso atual e classificação dos solos do campus do arenito em Cidade Gaúcha – PR. In: **IX Encontro Internacional de Produção Científica UniCesumar – IX EPCC**, 2015. Editora UniCesumar, Maringá – PR. 2015. Anais Eletrônico.

REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: Density and storage parameters. **Geoderma**, v.110, p.131-146. 2002.

ROQUE, C.G.; CENTURION, J.F.; ALENCAR, G.V.; BEUTLER, A.N.; PEREIRA, G.T.; ANDRIOLI, I. Comparação de dois penetrômetros na avaliação da resistência à penetração de um Latossolo Vermelho sob diferentes usos. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.25, p.53-57. 2003.

ROSSETTI, K. V.; CENTURION, J. F. Sistemas de manejo e atributos físico hídricos de um Latossolo Vermelho cultivado com milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.472-479. 2013.

SANTANA, A. V.; FERREIRA, E. M.; GUIMARÃES, L. E.; CALIL, F. N.; TSAI, H. M. Resistência à penetração em solo sob sistema integração lavoura-pecuária-floresta, pasto convencional e mata nativa do cerrado. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.18; p. 2676. 2014.

SEAB - SECRETÁRIA DE ESTADO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO. Departamento de Economia Rural – DERAL. **Mandiocultura –Análise da conjuntura Agropecuária**. 2012.

SILVA, C. A. T.; CEZAR, T. C. M.; NÓBREGA, L. H. P. Porosidade de latossolos e práticas de manejo agrícola para a conservação do solo. **Varia Scientia Agrárias**, v. 02, n. 02; p.153-164. 2011.

SILVA, P. C.; COSTA, R. A.; BARBOSA, K. F.; MARTINS, A. M.; PEREIRA, C. B. J. Propriedades físicas indicadoras da qualidade do solo sob diferentes culturas e sistemas de manejo no sudoeste goiano. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, n.17; p.2201. 2013.

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

TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER Jr., J. J. **Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials**. Soil Science, 102p. 1966.

TIEPPO, R.C.; GABRIEL FILHO, A. SILVA, S. L.; GNOATTO. Desenvolvimento de um penetrômetro manual eletrônico. **Acta Scientiarum**. Technology. Maringá, v. 33, n. 1, p. 9-15. 2011.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.20, p.333-339, 1996.

WATANABE, S.H.; TORMENA, C. A.; ARAÚJO, M. A.; VIDIGAL FILHO, P. S.; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. S.; MUNIZ, A. S. Propriedades físicas de uma Latossolo vermelho distrófico influenciadas por sistema de preparos do solo utilizados para implantação da cultura de mandioca. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.24, n.5, p.1255-1264. 2002.