

**CULTIVO DE MANDIOCA NA REGIÃO NOROESTE DO PARANÁ SOB
VARIAÇÃO DE PREPARO DE SOLO E CALAGEM**

Denise Mahl¹, Ari Marciano Szymanski², Adriano Catossi Tinos¹

¹Universidade Estadual de Maringá - UEM, Departamento de Engenharia Agrícola, Campus do Arenito. Rodovia PR 482, km 45, CEP: 87820-000, Cidade Gaúcha, PR. E-mail: dmahl@uem.br, actinos@uem.br

²Rua Perobal, 3930, CEP 87501-300, Umuarama-PR. E-mail: aritec_agricola@hotmail.com.br

RESUMO: A mobilização do solo é uma prática tradicionalmente utilizada para o cultivo de mandioca. No entanto, seu uso intensivo pode contribuir para a ocorrência de processos erosivos e outros efeitos indesejáveis como a compactação subsuperficial do solo e a incorporação excessiva de nutrientes, que podem afetar sua produtividade. Este trabalho objetivou avaliar tipos de preparo de solo com vistas a redução da mobilização e seu efeito sobre a disponibilidade de fósforo e potássio, compactação do solo, produtividade e teor de amido da mandioca. O trabalho foi realizado em um solo de textura arenosa em Cidade Gaúcha-PR. O delineamento utilizado foi de parcelas subdivididas com quatro repetições, em que as parcelas foram compostas de quatro tipos de preparo de solo (plantio direto; preparo convencional; escarificação; e, preparo com equipamento de mobilização profunda e canterizada) e as subparcelas pela presença e ausência de calcário. Verificou-se que os tipos de preparo do solo influenciaram na compactação do solo, no teor de amido e na concentração de fósforo e potássio no solo, porém não interferiram significativamente na produtividade. Conclui-se que o plantio direto pode ser utilizado como alternativa viável para a produção de mandioca na região e que o calcário, para as condições do trabalho, não é necessário.

PALAVRAS-CHAVE: Plantio direto, índice de cone, produtividade.

**CASSAVA CULTIVATION IN THE NORTHWEST REGION OF PARANÁ STATE
UNDER VARIATION OF SOIL TILLAGE AND LIMING**

ABSTRACT: Soil tilled is a practice traditionally used for cassava cultivation. However, its intensive use may contribute to the occurrence of erosive processes and other undesirable effects such as subsurface soil compaction and the excessive incorporation of nutrients, which may affect their productivity. This study aimed to evaluate soil tillage types with a view to reducing soil tilled and its effect on the availability of phosphorus and potassium, soil compaction, productivity and starch content of cassava. The study was carried out in a sandy texture soil in Cidade Gaúcha-PR city. The experimental design was a split-plot with four replications, in which the plots were set out four types of soil tillage (no-tillage; conventional tillage; chisel plowing; and, tillage with equipment of deep soil tilled and bedded) and the subplots by the presence and absence of limestone. It was found that the soil tillage types influenced soil compaction, starch content and phosphorus and potassium concentration in the soil, but it did not interfere significantly in productivity. It is concluded that the no-tillage can be used as a viable alternative for the cassava production in the region and that the limestone, for the conditions of this study, is not necessary.

KEY WORDS: no-tillage, cone index, productivity.

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é originária da América do Sul e constitui um dos principais alimentos energéticos para mais de 700 milhões de pessoas, principalmente nos países em desenvolvimento (Embrapa, 2019). De acordo com o levantamento de dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), publicado por Conab (2018), para o ano de 2016, a produção mundial de raiz de mandioca correspondeu a 277,1 milhões de toneladas, sendo que o Brasil se destacou como o quarto maior produtor mundial, com uma produção de 21,08 milhões de toneladas de raiz de mandioca, ficando atrás da Nigéria, Tailândia e Indonésia.

A produção de mandioca do estado do Paraná, apesar da redução na quantidade de área plantada durante os dois últimos anos, continua sendo a segunda maior do país correspondendo a 15,7% da produção nacional. Em termos de produção agrícola perde apenas para o Pará, porém é o líder absoluto na industrialização dos produtos derivados, fécula, produtos modificados e farinha, sendo responsável por 68,1% da produção de fécula no país. O Paraná destaca-se também pela existência de várias indústrias de farinha o que lhe garante uma produção significativa e permite abastecer vários estados principalmente os do Nordeste em época de seca. Os cultivos mais tecnificados e com áreas maiores no estado se concentram nas Regiões Norte, Noroeste e Oeste. Da produção estadual estima-se que cerca de 70% seja destinada a fabricação de fécula, farinha e polvilho azedo, sendo que a distribuição espacial se concentra nos Núcleos Regionais de Paranavaí e Umuarama que juntos chegam a 61% da produção do estado (Groxko, 2019).

Na região noroeste do Paraná tem sido comum, em áreas de pastagens, a prática de rotação com a cultura da mandioca. No entanto, tradicionalmente tem se utilizado práticas de preparo do solo com intensa mobilização. De acordo com Boller et al. (1998), as práticas de preparo do solo com uso intensivo de arados e grades associadas ao excessivo tráfego de máquinas, contribuem para a destruição da estrutura da camada superficial e, consequentemente, com a formação de uma camada subsuperficial compactada, favorecendo a erosão e a degradação do solo. Neste sentido tem-se buscado o uso de sistemas que reduzem a desagregação do solo e consigam manter uma camada vegetal sobre a superfície do solo. No entanto a redução da mobilização do solo para o cultivo da mandioca pode afetar diretamente sua produtividade, pois a ausência de mobilização interfere nas qualidades físicas do solo que são de grande importância para o desenvolvimento da cultura (Watanabe et al., 2002).

Segundo Souza e Carvalho (1995) há indicações de que, para algumas culturas, o plantio direto e o preparo mínimo propiciam produtividades mais elevadas em comparação com o preparo convencional do solo. No caso específico da mandioca, vários trabalhos foram conduzidos com o intuito de adequar os sistemas de preparo de solo (Watanabe et al., 2002; Tormena et al., 2002; Pequeno et al., 2007a) e o uso de diferentes plantas de cobertura para melhorar as condições de seu cultivo (Silva et al., 2008; Otsubo et al., 2008). Alguns trabalhos revelaram que o sistema de plantio convencional (em solo mobilizado) proporcionou melhores resultados quando comparado ao plantio direto (Oliveira et al., 2001; Pequeno et al., 2007b).

Watanabe et al. (2002) em um solo de textura arenosa (66%) compararam três sistemas de preparo do solo os quais foram definidos como: convencional (aração com aivecas e gradagem), mínimo (escarificação e destorroamento) e plantio direto (revolvimento somente nas linhas de plantio). Os autores observaram que o plantio direto promoveu aumentos na densidade e redução na macroporosidade do solo e, a resistência do solo à penetração nesse sistema apresentou valores restritivos ao crescimento das raízes em comparação aos demais sistemas.

Da mesma forma, Pequeno et al. (2005) avaliando o efeito da mobilização do solo sobre a produtividade da mandioca na região noroeste do Paraná, compararam os mesmos sistemas de preparo do solo utilizados por Watanabe et al. (2002) e concluíram que o sistema de preparo com maior mobilização (com uso de arado e grade) proporcionou maior produtividade e que o preparo mínimo mostrou-se promissor para os solos da região, não ocorrendo o mesmo com o plantio direto. No entanto, resultados encontrados por Otsubo et al. (2012) demonstraram que o plantio direto de mandioca sob cobertura de aveia foi uma alternativa viável de cultivo.

Além dos sistemas tradicionais de mobilização do solo, encontra-se disponível no mercado um equipamento de preparo profundo, o qual foi projetado inicialmente para realizar o preparo de solo, em forma de cultivo mínimo, para a cultura da cana-de-açúcar, pois esta, por apresentar sistema radicular profundo e por apresentar solos compactados em função do intenso tráfego de máquinas, muitas vezes requer operações de preparo do solo mais profundas. Este equipamento, denominado “Penta”, proporciona a “canteirização” do canavial e a técnica consiste em preparar, corrigir e adubar o terreno somente onde serão plantadas as linhas de cultivo da cultura, mantendo as entrelinhas sem reforma, como um local para o tráfego de máquinas (Marasca, 2014). Considerando sua forma diferenciada de mobilizar o solo e a redução do número de operações agrícolas que este equipamento proporciona, pretende-se também avaliar seu desempenho sobre o cultivo da mandioca.

Neste sentido, considerando a heterogeneidade dos solos brasileiros, a variabilidade encontrada nos resultados de pesquisas e a importância de estudos locais para definir os melhores métodos de manejo de solo, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de sistemas de preparo do solo, associados à presença e ausência da calagem, sobre parâmetros de solo e sobre a produtividade e teor de amido da cultura da mandioca, em solos arenosos da região Noroeste do Paraná.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Campus do Arenito da Universidade Estadual de Maringá, no município de Cidade Gaúcha-PR, Noroeste do Paraná. O solo é classificado como Latossolo Vermelho distroférico (Embrapa, 2013), de textura arenosa, enquanto o clima é classificado como Cfa, subtropical úmido, segundo a classificação de Köppen (1998) e a precipitação média anual é de 1.400 mm. O solo apresentava cobertura vegetal de gramínea do gênero *Brachiaria brizantha*.

O solo da área experimental foi caracterizado por sua cobertura vegetal e por análises físico/químicas, de resistência do solo à penetração e umidade, sendo que:

a) Para a caracterização da fertilidade e granulometria foram realizadas quatro coletas simples em duas profundidades 0,00-0,15 e 0,16-0,30 m, formando uma amostra composta, a qual foi encaminhada para análise em Laboratório privado (certificado pela CELA).

b) A resistência do solo à penetração (usada como indicativo da compactação do solo) foi determinada utilizando-se um penetrômetro motorizado (modelo PNT 2000/Motor), no perfil de 0,00-0,55m de profundidade, realizando-se uma leitura a cada centímetro de profundidade do solo. Foram realizadas 16 repetições em pontos aleatórios na área experimental antes da implantação do experimento.

c) O teor de água do solo foi determinado pelo método de secagem em estufa, à temperatura de 105°C durante 24 horas, coletando-se quatro repetições em quatro profundidades (0,00-0,10 m; 0,11-0,20 m; 0,21-0,30 m e 0,31-0,40 m), no momento das determinações de resistência mecânica do solo à penetração.

d) A quantificação da matéria seca da cobertura vegetal foi determinada pelo método de Chaila (1986), coletando-se quatro amostras aleatórias na área experimental e determinando-se a quantidade de matéria seca de *brachiaria* e de restos vegetais presentes na superfície. Utilizou-se uma armação metálica com dimensões de 0,50 x 1,00 m (0,50 m²) e o material recolhido foi acondicionado em sacos de papel, separando-se o material verde e os resíduos

vegetais oriundos de cortes anteriores da braquiária e de plantas daninhas. O material foi posteriormente levado à estufa a uma temperatura de 65°C, durante 72 horas. Após a secagem, o material foi pesado e os valores foram transformados em kg ha⁻¹.

A área experimental foi inicialmente dessecada (com trator e pulverizador montado, utilizando glifosato na dosagem de 3 L ha⁻¹, 26 dias antes do plantio da mandioca) e posteriormente foram demarcadas as parcelas e subparcelas. Aleatoriamente metade das subparcelas foram submetidas a aplicação de calcário calcítico (16 dias antes o plantio da mandioca), o qual foi distribuído a lanço (manualmente) e cuja quantidade foi definida de acordo com o resultado da análise de fertilidade do solo que apresentou o pH de 4,9. Considerando que para a cultura da mandioca o pH ideal é de 6,5 (Souza e Fialho, 2003), utilizou-se uma dosagem de 1400 kg ha⁻¹.

Após a calagem (nas subparcelas correspondentes), procederam-se os diferentes métodos de preparo de solo e na sequência realizou-se o plantio da mandioca. Para a mobilização do solo foi utilizado um trator, um arado de aivecas fixo, um escarificador, uma grade intermediária, uma grade niveladora e um equipamento de preparo profundo e canteirizado (Penta), que no momento do preparo do solo não continha todos os seus componentes e utilizava apenas a haste subsoladora e a enxada rotativa.

O delineamento utilizado foi o de parcelas subdivididas com quatro repetições, sendo que as parcelas foram compostas por quatro tipos de preparo de solo e as subparcelas pela presença e ausência de corretivo (calcário) de solo. Os tipos de preparo do solo consistiram de: plantio direto (PD); mobilização do solo com uso de equipamento de preparo profundo e canteirizado (PP); mobilização com uma gradagem intermediária seguida de escarificação e gradagem de nivelamento (PE); mobilização com uso de arado de aivecas, seguida de gradagem de nivelamento (PC). As dimensões das parcelas foram de 20,00 x 2,50 m (correspondendo a 2 passadas da plantadora).

Para o plantio da mandioca (realizado em 04/12/2014) em todas as parcelas, foi utilizado um trator (com potência de 62,5 kW) e uma plantadora (marca Planti Center, modelo Bazuca), com 2 linhas. As manivas utilizadas foram de variedade IAC-90, as quais foram plantadas em espaçamento de 0,9 m entre linhas e 0,5 m entre plantas. Realizaram-se regulagens de profundidade utilizando-se lastro para as parcelas de plantio direto. Foi realizada na mesma operação de plantio, a adubação com Superfosfato Simples (fonte de fósforo) na dosagem de 170 kg ha⁻¹ (definida em função da análise de fertilidade do solo).

Os tratos culturais realizados durante o ciclo da cultura foram: capinas manuais; aplicação de herbicida seletivo pré emergente (a uma dosagem de 4 L ha⁻¹ para o controle de plantas invasoras), aos oito dias após o plantio; adubação de cobertura (manualmente) aos 3 e 5 meses após o plantio, utilizando-se Cloreto de Potássio na dosagem de 124 kg ha⁻¹); e, poda das ramas aos 6 meses após o plantio da mandioca. A colheita foi realizada aos 16 meses após o plantio.

Foram avaliados parâmetros relacionados à: teor de água no solo, resistência do solo à penetração (índice de cone), fertilidade do solo, produtividade e teor de amido da cultura da mandioca.

O teor de água no solo e a resistência do solo à penetração foram determinados aos 15 dias após o plantio da mandioca e posteriormente no momento da colheita da cultura. A metodologia de coleta e determinação foi a mesma descrita anteriormente para a caracterização da área experimental, diferenciando-se apenas na quantidade de amostras que foi de uma para o teor de água, e, de quatro por subparcela para a resistência do solo a penetração. De posse dos valores de resistência do solo a penetração (MPa), calculou-se o índice de cone, determinando-se as médias dos valores a cada 0,10 m, até a profundidade de 0,50 m.

Para a avaliação da fertilidade do solo, em especial das concentrações de Fósforo e Potássio (além da amostra inicial para caracterizar o solo da área experimental) foram coletadas no momento da colheita da cultura, amostras na camada de 0,00 - 0,15 m de profundidade, oito repetições por parcela (tipo de preparo do solo) sendo quatro por subparcela (presença e ausência de corretivo de solo), as quais foram encaminhadas para um Laboratório privado especializado.

A produtividade e o teor de amido das raízes de mandioca foram determinados a partir da coleta das raízes de oito plantas de cada subparcela, decorrido o período de 1 ano e quatro meses após o plantio. As raízes foram pesadas e o valor médio foi multiplicado pela população de plantas, determinando-se sua produtividade (kg ha⁻¹). Para se determinar o teor de amido (renda), separaram-se amostras compostas por 5 kg de raízes por subparcela, as quais foram imersas em um recipiente com água e pesadas em balança hidrostática, seguindo metodologia descrita em Cereda et al. (2003).

Os dados foram analisados estatisticamente com a utilização do software Sisvar (Ferreira, 1999), sendo submetidos à análise de variância e nos casos de variações significativas ($P < 0,05$) procedeu-se o teste de Tukey a 5% de significância para comparar as médias dos resultados.

Caracterização da área experimental

De acordo com os resultados obtidos pela análise granulométrica, o solo da área experimental apresentou 86,25% de areia, 10,50% de argila e 3,25% de silte, o que caracteriza o solo como tipo 1, arenoso (Embrapa, 2006). Com relação aos principais nutrientes/elementos químicos do solo, a análise química revelou valores de: 0,34 Cmolc dm⁻³ de potássio (K) e 17,92 mg dm⁻³ de fósforo (P). De acordo com o Manual de Adubação e Calagem (2004), considerando que o solo é classificado como tipo 1 arenoso, os resultados da análise química do solo revelam que a concentração de potássio e de fósforo para essa classe de solo são consideradas altas. Desta forma, a recomendação de adubação para a implantação da cultura foi a de se fazer apenas com o intuito de manutenção da fertilidade do solo, tendo em vista que a cultura da mandioca exporta grande parte dos nutrientes que são absorvidos durante o seu ciclo.

A área experimental apresentou 9,00 t ha⁻¹ de matéria seca da cobertura vegetal de *Brachiaria brizantha*, sendo 3,90 t ha⁻¹ proveniente de material verde e 5,10 t ha⁻¹ de resíduos de cortes anteriores, ficando acima da quantidade mínima ideal para cobertura vegetal do solo no sistema plantio direto, que de acordo com Alvarenga et al. (2001) deve ser de 6,0 t ha⁻¹.

Os valores obtidos para o teor de água do solo e para o índice de cone (que caracteriza a existência de compactação ou não) antes de iniciar as operações de preparo do solo são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Teor de água (%) e índice de cone (MPa) do solo obtidos antes de realizar as operações de preparo do solo da área experimental

Profundidade (m)	Teor de água (%)	Índice de cone (MPa)
0,01 - 0,10	10,12	0,33
0,11 - 0,20	10,86	1,26
0,21 - 0,30	10,81	1,60
0,31 - 0,40	12,22	1,96
Média	11,00	1,29

Observa-se que os valores de índice de cone aumentaram à medida que aumentou a profundidade de coleta no solo (Tabela 1). No entanto, mesmo para a maior profundidade o valor obtido ainda é considerado aceitável e não caracterizam compactações acentuadas. De acordo com Merotto e Mundstock (1999) valores de índice de cone acima de 3,5 MPa impõem limitações críticas ao desenvolvimento radicular para a maioria das plantas.

Com relação aos teores de água por ocasião desta avaliação (quando o solo ainda não havia sido manejado e encontrava-se com significativa quantidade de cobertura vegetal), os valores não apresentaram significativas oscilações em função da profundidade, certamente por apresentar grande quantidade de cobertura vegetal na superfície do solo e pelo fato de o período avaliado (mês de novembro) ser característico de precipitações mais frequentes.

Parâmetros avaliados

Para o estudo do efeito de diferentes tipos de preparo do solo e da aplicação ou não de calcário em solos arenosos, avaliaram-se parâmetros de teor de água, índice de cone, concentração de fósforo e potássio, produtividade e teor de amido das raízes de mandioca. Os resultados de teor de água no solo aos quinze dias após o plantio e no período da colheita da mandioca são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Teor de água do solo em função dos tipos de preparo do solo aos 15 dias após o plantio e no momento da colheita da mandioca

Profundidade (m)	Tipo de preparo do solo							
	PP	PD	PC	PE	PP	PD	PC	PE
	15 dias após o plantio				Na colheita			
0,01 - 0,10	7,99	8,80	9,89	9,43	8,37	5,56	5,00	6,78
0,11 - 0,20	9,35	9,52	9,58	10,28	10,59	11,66	10,75	11,19
0,21 - 0,30	7,25	10,10	8,39	9,05	12,73	12,45	11,58	13,44
0,31 - 0,40	7,25	10,93	8,56	8,70	12,85	15,23	12,72	11,75
Média	7,96	9,84	9,11	9,37	11,14	11,22	10,01	10,79

PP: mobilização com uso de equipamento de preparo profundo e canteirizado; PD: plantio direto; PC: mobilização com uso de arado de aivecas, seguida de gradagem de nivelamento; PE: mobilização com uma gradagem intermediária, seguida de escarificação e gradagem de nivelamento.

*A ausência de letras após as médias significa que elas não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 1, os valores de teor de água não foram influenciados estatisticamente pelos tipos de preparo do solo (com maior, menor ou ausência de mobilização do solo) em nenhuma das faixas de profundidade, nem próximo ao plantio e nem no período da colheita. Desta forma, pode-se dizer que para as condições avaliadas, todos os tipos de preparo de solo permitiram armazenar e disponibilizar semelhantes quantidades de água para as plantas. Ao avaliar os valores médios obtidos, verifica-se que, sobretudo próximo ao plantio, o solo encontrava-se relativamente úmido em todo o seu perfil, fato comum em período com maiores frequências de precipitações como ocorre no mês de

dezembro em que foi realizada a avaliação. Por outro lado, no período da colheita (mês de abril), observa-se uma menor umidade na camada mais superficial do solo (de acordo com dados meteorológicos a região passava por um período de estiagem), no entanto, também neste momento ela não diferiu estatisticamente em função do tipo de preparo de solo.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados de índice de cone que permitem dar indicativos de presença ou não de camadas compactadas no solo.

Tabela 3 - Valores de índice de cone (MPa), 15 dias após o plantio e no período da colheita da mandioca em função dos tipos de preparo do solo

Profundidade (m)	Tipo de preparo do solo			
	PP	PD	PC	PE
15 dias após o plantio				
0,01 - 0,10	0,01 Ba	0,03 Da	0,01 Ca	0,01 Ba
0,11 - 0,20	0,04 Bb	0,99 Ca	0,26 Cab	0,16 Bab
0,21 - 0,30	0,28 Bb	1,94 Ba	0,79 BCb	0,72 ABb
0,31 - 0,40	0,81 ABb	2,92 Aa	1,52 ABb	1,45 Ab
0,41 - 0,50	1,37 Ac	2,91 Aa	2,25 Aab	1,58 Abc
Na colheita				
0,01 - 0,10	0,82 Aa	0,80 Ba	0,66 Ba	1,60 Ba
0,11 - 0,20	2,26 Ab	2,21 ABb	1,82 ABb	3,78 Aa
0,21 - 0,30	2,09 Ab	2,49 Aab	1,83 ABb	3,61 Aa
0,31 - 0,40	1,91 Aa	2,40 Aa	2,31 Aa	3,29 Aa
0,41 - 0,50	2,05 Ab	2,65 Aab	2,99 Aab	3,58 Aa

PP: mobilização com uso de equipamento de preparo profundo e canteirizado; PD: plantio direto; PC: mobilização com uso de arado de aivecas, seguida de gradagem de nivelamento; PE: mobilização com uma gradagem intermediária, seguida de escarificação e gradagem de nivelamento.

*Letras maiúsculas comparam as médias nas colunas (profundidades para cada preparo do solo). Letras minúsculas comparam as médias nas linhas (tipo de preparo para cada faixa de profundidade). Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 3 observa-se que no período de implantação da cultura (15 dias após o plantio), em parcelas que se utilizou o equipamento de preparo profundo e canteirizado (PP) os valores de índice de cone foram semelhantes entre si até a profundidade de 30 cm e diferiram da camada mais profunda avaliada (0,41 – 0,50 m). Tendência semelhante foi verificada para o preparo convencional do solo e para o preparo com uso de escarificador em que os valores obtidos até a camada de 20 cm de profundidade não diferiram entre si e foram menores do que os obtidos na faixa de 0,41 a 0,50 m. No caso das parcelas com escarificação, os valores de índice de cone obtidos para a camada de 0,31 a 0,40 m de profundidade foram semelhantes aos obtidos para a camada mais profunda. Por outro lado, a ausência de preparo de solo para o plantio da mandioca (PD) proporcionou valores

diferenciados estatisticamente (aumentaram com o aumento da profundidade) desde a camada superficial até a camada de 0,31 a 0,40 m de profundidade, e, a partir desta profundidade os valores foram estatisticamente iguais.

Na camada superficial do solo (0,01 a 0,10 m) os valores de índice de cone não foram influenciados pelos tipos de preparo do solo, tanto quando a avaliação foi feita aos 15 dias após o plantio da mandioca quanto no período da colheita. Desta forma, pode-se dizer que o período de 16 meses compreendido entre o plantio e a colheita da mandioca proporcionou um adensamento natural do solo de forma semelhante, na camada superficial, em todos os tipos de preparo do solo. Em relação às demais profundidades observa-se que, aos 15 dias após o plantio da mandioca, o plantio direto destacou-se por seus maiores valores de índice de cone, fato também comprovado por Watanabe (2001). Por outro lado o preparo de solo com equipamento de preparo profundo e canteirizado se destacou por seu maior valor de índice de cone na camada mais profunda avaliada, possivelmente pelo fato de atuar com uma haste subsoladora que atinge 0,60 m de profundidade.

No período da colheita, destaca-se que em parcelas mobilizadas com o uso de equipamento de preparo profundo e canteirizado não houve variação significativa dos valores de índice de cone com o aumento da profundidade no perfil do solo, os quais atingiram 2,05 MPa na camada de 0,41 a 0,50 m de profundidade. No solo preparado com uso de escarificador observou-se que o valor de índice de cone da camada superficial foi significativamente superior aos obtidos nas demais camadas, os quais não diferiram entre si. No plantio direto os valores obtidos a partir da camada de 0,21 a 0,30 m de profundidade foram significativamente superiores aos obtidos na camada superficial, enquanto no preparo convencional do solo, os valores obtidos a partir de 0,31 a 0,40 m de profundidade foram significativamente superiores aos obtidos na camada superficial.

Ainda de acordo com dados da Tabela 3, destaca-se que no período da colheita da mandioca, na camada de 0,31 a 0,40 m de profundidade não houve variação dos valores de índice de cone em função do tipo de preparo do solo. Isto pode ser explicado pelo fato de as máquinas/implementos utilizadas atuarem a no máximo 0,30 m de profundidade, nos tipos de preparo convencional e com escarificação do solo.

De acordo com Canarache (1990) citado por Tavares Filho et al. (2001), valores de índice de cone acima de 2,5 MPa começam a restringir o crescimento das raízes da maioria das plantas. Sob este aspecto, no período avaliado imediatamente posterior ao plantio da mandioca, apenas parcelas com o plantio direto apresentaram valores de índice de cone superiores a 2,5

MPa e somente nas camadas abaixo de 0,30 m de profundidade, o que possivelmente não compromete o desenvolvimento das raízes as quais normalmente são mais superficiais. Já no período da colheita da cultura, as parcelas com plantio direto e as mobilizadas convencionalmente apresentaram valores superiores aos 2,5 MPa na camada mais profunda avaliada, bem como as parcelas com escarificação apresentaram valores relativamente altos já a partir da camada de 0,11 a 0,20 m de profundidade.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados das concentrações de Fósforo e de Potássio presentes no solo no período em que foi realizada a colheita da mandioca.

Tabela 4 - Resultados de Fósforo (mg dm^{-3}) e Potássio (Cmolc dm^{-3}) em função do tipo de preparo do solo e da ausência ou presença de calagem, no período da colheita da mandioca

Preparo do solo	Fósforo		Potássio	
	Sem calcário	Com calcário	Sem calcário	Com calcário
Profundo e canteirizado (PP)	7,05 Aa	7,90 Aa	1,60 Aa	1,60 ABa
Plantio direto (PD)	8,82 Aa	7,80 Aa	1,59 Aa	1,84 Aa
Convencional (PC)	10,17 Aa	6,67 Ab	1,70 Aa	0,85 Bb
Escarificado (PE)	8,00 Aa	8,25 Aa	0,85 Aa	1,20 ABa

*Letras maiúsculas comparam as médias nas colunas (variáveis em função dos tipos de preparo de solo) e letras minúsculas comparam as médias nas linhas (variáveis em função da presença e ausência de calcário). Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Ao comparar as concentrações iniciais de fósforo ($17,92 \text{ mg dm}^{-3}$) com as finais (período da colheita), para todos os tipos de preparo de solo e para a aplicação ou não de calcário, nota-se que os resultados diferiram dos encontrados por Fidalski (1999), onde os teores finais reduziram em comparação aos iniciais. Uma provável causa para a redução dessa concentração, de acordo com Howeler (1984) se deve possivelmente a extração de grande quantidade de nutrientes pela cultura, associada ao fato de que em virtude da alta concentração inicial de fósforo, fez-se apenas uma adubação de plantio com o objetivo de manutenção da fertilidade do solo.

Com relação à concentração de potássio no solo, os resultados obtidos revelaram que houve um incremento entre as concentrações iniciais ($0,34 \text{ Cmolc dm}^{-3}$) e finais deste nutriente no solo, resultado este que também diferiu dos encontrados por Fidalski (1999).

Ao observar os resultados da análise de solo após a colheita da mandioca nota-se que o preparo convencional do solo proporcionou maiores concentrações de fósforo e de potássio na condição de ausência de calagem comparada a aplicação de calcário. De acordo com Sandim (2012), isto se deve a ação do corretivo sob a disponibilidade destes nutrientes, pois com a

elevação do pH ocorre o aumento da disponibilidade de íons de alumínio e ferro, reduzindo a concentração dos íons de fósforo e potássio na solução do solo, prejudicando sua absorção pelas plantas. Para os demais tipos de preparo de solo a quantidade de fósforo e de potássio no solo não foi influenciada estatisticamente pela presença ou ausência de calcário.

Especificamente em parcelas com aplicação de calcário, o plantio direto apresentou maior concentração de fósforo em relação ao preparo convencional do solo. Os valores obtidos nos demais tipos preparos não diferiram estatisticamente.

Os resultados de produtividade e teor de amido para a presença e ausência da aplicação de corretivo de solo são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Produtividade (kg ha^{-1}) e teor de amido (kg) em função do tipo de preparo de solo e da aplicação ou não de calcário

Preparo do solo	Produtividade (kg ha^{-1})		Teor de amido (kg)	
	Sem calcário	Com calcário	Sem calcário	Com calcário
Profundo e canteirizado (PP)	15.319,44	15.743,05	0,67 A	0,62
Plantio direto (PD)	10.701,39	9.020,83	0,64 A	0,66
Convencional (PC)	10.791,66	12.437,50	0,55 B	0,57
Escarificado (PE)	15.006,94	16.583,33	0,64 A	0,62

*Letras maiúsculas comparam as médias nas colunas (variáveis em função dos tipos de preparo de solo). A ausência de letras após as médias significa que elas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Verificou-se que, estatisticamente, a produtividade da mandioca não foi influenciada nem pelos tipos de preparo do solo e nem pela aplicação de corretivo no solo. A ausência de efeito da calagem sobre a produtividade da mandioca diverge de resultados obtidos por Oliveira et al. (2001), no entanto concordam com Fidalski (1999) que relata não ser necessário uso da calagem em áreas do Arenito Caiuá, pois a produção de raízes de mandioca não apresenta respostas a calagem e adubação potássica em solos arenosos. A ausência de efeito do preparo do solo sobre a produtividade da mandioca discorda dos resultados obtidos por Oliveira et al. (2001) quem encontraram maiores produções de raízes tuberosas nos sistemas de preparo mínimo e convencional, mas, por outro lado estão de acordo com Fey et al. (2019) que ao testar seis tipos de manejo do solo concluíram que estes não influenciaram significativamente a produtividade da cultura da mandioca.

O teor de amido também não foi influenciado pela aplicação de corretivo do solo, mas na ausência de aplicação de calcário, o preparo convencional do solo proporcionou menores valores de teor de amido nas raízes de mandioca. Otsubo et al. (2013) também relataram que o

teor de amido das raízes de mandioca foi significativamente influenciado pelo manejo do solo, sendo que os menores valores foram obtidos sob preparo convencional do solo e maiores valores foram encontrados sob plantio direto da mandioca, associado às plantas de cobertura. Destacaram que essa característica é desejável, não somente por estar diretamente relacionada ao rendimento industrial, mas por ser o principal critério de pagamento das raízes aos produtores.

CONCLUSÕES

A ausência ou a mobilização do solo em seu preparo não interferiu na disponibilização de água no solo, na produtividade da mandioca e nas concentrações de fósforo e potássio no solo, mas influenciou no índice de cone do solo. O preparo convencional do solo, na ausência de calagem prévia, proporcionou menor teor de amido das raízes de mandioca em relação aos demais tipos de preparo do solo. Ocorreu redução da concentração de fósforo e potássio no solo quando da aplicação de calagem em solo preparado convencionalmente com aração e gradagem.

O plantio direto pode ser utilizado como alternativa viável para a produção de mandioca na região e o calcário, para as condições do trabalho, não é necessário.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, R.C.; CABEZAS, W.A.L.; CRUZ, J.C.; SANTANA, D.P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte. EPAMIG, v.22, p. 25-36, 2001.

BOLLER W; PREDIGER AJ; KLASSMANN V. 1998. Sistema de preparo de solo para implantação da cultura da batata (*Solanum tuberosum*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27. **Anais**. Lavras: UFLA/SBEA, Volume 3, p. 175-177.

CARVALHO, J.E.B.; PERESSIN, V.A.; ARAÚJO, A.M.A. **Manejo e controle de plantas daninhas**. In. SOUZA et al. Aspectos socioeconômicos e agrônômicos da mandioca. Cruz das Almas, Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2006. p. 560-590.

CEREDA, M.P.; VILPOUX, O.; TAKAHASHI, M. **Balança hidrostática como forma de avaliação do teor de massa seca e amido**. In: Tecnologia, uso e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas. Fundação Cargil, Botucatu, v. 3, n. 1. 2003.

CHAILA, S. Métodos de evaluación de malezas para estudios de población y control. **Malezas**, v.14, p.1-78, 1986.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Análise mensal. Mandioca: Fevereiro de 2018. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado->

agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-mandioca>. Acesso em: maio de 2019.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Mandioca. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/cultivos/mandioca>>. Acesso em: maio de 2019.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação do solo. Brasília: Embrapa. 2 ed., 2006. 306p.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação de solos. SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. Brasília: Embrapa 3 ed, 2013. 353p.

FERREIRA, D.F. Sistema de análises de variância (Sisvar). Versão 4.6. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 1999. (CD-ROM).

FEY, E.; CONTI, C.; SOUZA, J.H.; GOBBI, F.C. ; FURLAN, F. Influência do manejo do solo sobre a produtividade da mandioca de um e dois ciclos. Disponível em: <<http://energia.fca.unesp.br/index.php/rat/article/view/1216/613>>. Acesso em: maio de 2019.

FIDALSKI, J. Fertilidade do solo sob pastagens, lavouras anuais e permanentes na região noroeste do Paraná. **Revista Unimar**, Maringá, v.19, p. 853-861, 1997.

FIDALSKI, J. Respostas da mandioca à adubação NPK e calagem em solos arenosos do Noroeste do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.34, n.8, p. 1353-1359, 1999.

GROXKO, M. Prognóstico mandioca 2017/18. SEAB – Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento / DERAL - Departamento de Economia Rural. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/2018/Mandioca_2017_18.pdf>. Acesso em: maio de 2019.

HOWELER, R.H. Práticas culturais relacionadas ao solo na cultura de mandioca. In: SEMINÁRIO DE PRÁTICAS CULTURAIS DA MANDIOCA, 1, 1984, Salvador. **Anais**. Brasília: Embrapa-DDT, p. 95-112.

KLIEWER, I. Alternativas de controlo de plantas daninhas sem herbicidas. In: WORLD CONGRESS ON SUSTAINABLE, 2. 2003. **Anais**. Ponta Grossa: FEBRAPDP. p. 107-110.

Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Porto Alegre, 10 ed., 2004. 400p.

MARASCA, I. **Avaliação dos atributos físicos de um argissolo cultivado com cana-de-açúcar em área com adequação de relevo, utilizando equipamento de preparo profundo e canteirizado do solo**. Botucatu, 2014. 76f. Tese (Doutorado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.

MEROTTO JUNIOR, A.; MUNDSTOCK, C.M. Wheat root growth as affected by soil strength. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.197-202, 1999.

OLIVEIRA, J.O.A.P.; VIDIGAL FILHO, P.S.; TORMENA, C.A.; PEQUENO, M.G.; SCAPIM, C.A.; MUNIZ, A.S.; SAGRILO, E. Influência de sistemas de preparo do solo na produtividade da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.443-450, 2001.

OTSUBO, A.A.; BRITO, O.R.; PASSOS, D.P.; ARAUJO, H.S.; MERCANTE, F.M.; OTSUBO, V.H.N. Formas de preparo de solo e controle de plantas daninhas nos fatores agronômicos e de produção da mandioca. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.33, n.6, p. 2241-2246, 2012.

OTSUBO, A.A.; LORENZI, J.O. **Cultivo da mandioca na Região Centro-Sul do Brasil**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Agropecuária Oeste. Dourados. 2004. 116p.

OTSUBO, A.A.; MERCANTE, F.M.; SILVA, R.F.; BORGES, C.D. Sistemas de preparo do solo, plantas de cobertura e produtividade da cultura da mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.43, n.3, p.327-332, 2008.

OTSUBO, A.A.; SILVA, R.F.; MERCANTE, F.M. Produtividade de mandioca cultivada em plantio direto sobre diferentes plantas de cobertura. **Circular Técnica**, 21. EMBRAPA. Dourados, 2013. 5p.

PEQUENO, M.G.; VIDIGAL FILHO, P.S.; PINHEIRO NETO, R.; KVITSCHAL, M.V. Efeito de três sistemas de preparo do solo sobre a rentabilidade econômica da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v.29, n.3 p. 379-386, 2007a.

PEQUENO, M.G.; VIDIGAL FILHO, P.S.; TORMENA, C.A.; KVITSCHAL, M.V.; MANZOTTI, M. Efeito do sistema de preparo do solo sobre características agronômicas da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande. v.11, n.5, p.476–481, 2007b.

PEQUENO, M.G.; VIDIGAL FILHO, P.S.; TORMENA, C.A.; KVITSCHAL, M.V.; SAGRILO, E.; RIMOLDI, F. Produtividade da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) em três sistemas de preparo do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 11, 2005. **Anais**. Campo Grande: 2005. 1 CD-ROM.

SANDIM, A. S. **Disponibilidade de fósforo em função da aplicação de calcário e silicatos em solos oxidicos**. 2012. 99p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2012.

SILVA, R.F.; BORGES, C.D.; GARIB, D.M.; MERCANTE, F.M. Atributos físicos e teor de matéria orgânica na camada superficial de um argissolo vermelho cultivado com mandioca sob diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.32, n.6, p. 2435-2441, 2008.

SOUZA, L.S.; CARVALHO, F.L.C. Alterações em propriedades físicas e químicas do solo causadas por sistemas de preparo em mandioca. **Revista Brasileira de Mandioca**. Cruz das Almas, v.14, p.39-50, 1995.

SOUZA, L.S.; FIALHO, J.F. **Cultivo da mandioca na região do serrado**. Cruz das Almas, Embrapa Mandioca e Fruticultura. 2003.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G.M.C.; GUIMARAES, M.F.; FONSECA, I.C.B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.25, n.3, p.725-730, 2001.

TORMENA, C.A.; BARBOSA, M.C.; COSTA, A.C.S.; GONÇALVES, A.C.A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**. Piracicaba, v.59, n.4, p.795-801, 2002.

WATANABE, S.H. **Caracterização da qualidade física de um latossolo vermelho distrófico sob diferentes sistemas de preparo**. 2001. 69 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2001.

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 um latosso vermelho distrófico influenciadas por sistemas de preparo do solo utilizados para implantação da cultura da mandioca. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v.24, n.5, p. 1255-1264, 2002.