

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Arroz e Feijão
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

A Cultura do Arroz no Brasil

*2ª Edição
Revisada e ampliada*

Alberto Baêta dos Santos
Luís Fernando Stone
Noris Regina de Almeida Vieira
Editores Técnicos

*Embrapa Arroz e Feijão
Santo Antônio de Goiás, GO
2006*

Exemplares desta publicação devem ser solicitados à:

Embrapa Arroz e Feijão

Rod. GO 462, Km 12
Caixa Postal 179
CEP 75375-000 Santo Antônio de Goiás , GO
Fone: (62) 3533-2110
Fax: (62) 3533-2100
sac@cnpaf.embrapa.br
www@cnpaf.embrapa.br

Embrapa Informação Tecnológica

Parque Estação Biológica (PqEB), Av. W3 Norte (final)
Fone: (61) 3340-9999
Fax: (61) 3340-2753
CEP 70770-901 - Brasília, DF
vendas@sct.embrapa.br
www.sct.embrapa.br

Supervisor Editorial: *Marina A. Souza de Oliveira*

Revisor de Texto: *Noris Regina de Almeida Vieira*

Normalização Bibliográfica: *Ana Lúcia Delalibera de Faria*

Tratamento das Ilustrações: *Sebastião José de Araújo e Fabiano Severino*

Editoração Eletrônica: *Fabiano Severino*

1ª edição

1ª impressão (1999): 1.000 exemplares

2ª edição

1ª impressão (2006): 2.000 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Arroz e Feijão

A cultura do arroz no Brasil / editores, Alberto Baêta dos Santos, Luís Fernando Stone, Noris Regina de Almeida Vieira. - 2. ed. rev. ampl. - Santo Antônio de Goiás : Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 1000 p. : il. ; 23 cm.

ISBN 85-7437-030-4

1. Arroz - Produção. 2. Arroz - Tecnologia. 3. Arroz - Pesquisa. I. Santos, Alberto Baêta dos, *ed.* II. Stone, Luís Fernando, *ed.* III. Vieira, Noris Regina de Almeida, *ed.* IV. Embrapa Arroz e Feijão.

CDD 633.18 (21. ed.)

© Embrapa 2006

Preparo do Solo

José Geraldo da Silva; José Aloísio Alves Moreira

RESUMO - A operação de preparo do solo é realizada para propiciar condições satisfatórias ao plantio, à germinação das sementes, à emergência das plântulas, ao desenvolvimento e à produção das plantas, para eliminar as plantas daninhas, para controlar a erosão e para descompactar o solo. Para desempenhar essas funções, estão disponíveis no mercado diversas marcas e modelos de equipamentos agrícolas, que preparam o solo numa só ou em várias operações. Convencionalmente, o preparo do solo para o cultivo do arroz em terras altas é realizado com implementos de discos, como a grade aradora, e em várzeas é feito com grade aradora ou com enxada rotativa. Na escolha de um sistema de preparo do solo para a cultura do arroz devem ser considerados os fatores relacionados à economia de combustível e de tempo e à conservação do solo e da água, evitando-se, principalmente nos cultivos realizados em terras altas, o uso continuado, por vários anos, de um único tipo de equipamento agrícola, operando na mesma profundidade ou muito superficialmente, para evitar a formação de camadas compactadas no solo.

INTRODUÇÃO

A operação de preparo do solo é realizada por inúmeras razões, dentre as quais podem ser citadas as seguintes: propiciar condições satisfatórias para a operação de plantio, a germinação das sementes, a emergência de plântulas, o desenvolvimento e a produção das plantas, contribuindo também para eliminar as plantas daninhas, controlar a erosão e descompactar o solo.

Para desempenhar essas funções, estão disponíveis no mercado diversas marcas, modelos e tipos de equipamentos agrícolas, que preparam o solo numa só ou em várias operações. Comumente, mais de uma operação são empregadas, combinando tipos de equipamentos numa ordem previamente definida, em função dos objetivos desejados. O preparo pode ser realizado com certa antecedência em relação à semeadura, visando ao controle de plantas daninhas ou à incorporação de resíduos vegetais, fertilizantes e corretivos. Nesses casos, é de praxe proceder a uma aração ou uma gradagem para incorporar o material ao solo e, imediatamente antes da semeadura, realizar as demais operações.

Para o cultivo do arroz nos diferentes sistemas de cultivo, são necessárias práticas distintas de preparo do solo. Com isso, as práticas



de preparo variam com a textura, a estrutura e o grau de compactação do solo, bem como com a disponibilidade de equipamentos e de recursos do produtor.

SISTEMAS DE PREPARO PARA CULTIVO DE ARROZ EM TERRAS ALTAS

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 1992a), os principais métodos de preparo do solo empregados para o cultivo do arroz em terras altas são os descritos a seguir.

Preparo com arado de disco

Consiste da aração seguida de uma ou mais gradagens destorroadoras logo após a aração e de uma gradagem “niveladora” imediatamente antes do plantio. Na aração direta, principalmente na presença de restos culturais e de plantas daninhas de grande porte, a área fica mal nivelada, resultando em leiva e torrões presos às raízes das plantas. Essas irregularidades implicam na necessidade de um maior número de gradagens para o destorroamento do solo, o que ocasiona a sua desestruturação na camada superficial e, ao mesmo tempo, afeta a porosidade criada pela aração, formando, em condições de solo úmido, o “pé-de-arado”.

Neste método, o perfil preparado é heterogêneo, em virtude do desempenho inadequado do arado de disco que, na presença de restos culturais e plantas daninhas, penetra irregularmente no solo. Nessa situação, além dos obstáculos criados à operação da semeadura, a lenta decomposição dos resíduos pode provocar desordens fisiológicas à cultura. O arado de disco não descompacta o solo convenientemente, saltando nos pontos de maior resistência, principalmente em condições de pouca umidade.

Preparo com grade aradora

É mais utilizado na região dos Cerrados. As grades aradoras realizam, numa só operação, a aração e a gradagem. O perfil do solo preparado pela maioria das grades aradoras é superficial, da ordem de 10 a 15 cm de profundidade. A estrutura superficial do solo apresenta-se extremamente fina e frágil. O solo preparado constantemente com esse implemento apresenta nítida descontinuidade entre o perfil preparado e o solo imediatamente abaixo. O corte superficial e a pressão dos pneus e dos discos da grade sobre o solo adensam a sua camada subsuperficial,



resultando na formação do “pé-de-grade”, com 5 cm ou mais de espessura, dificultando o crescimento das raízes e favorecendo a erosão laminar.

Normalmente, são necessárias duas passagens de grade aradora. Em alguns casos, a segunda gradagem é substituída por uma ou duas gradagens “niveladoras”. Em todos os casos, a tendência é a formação de uma superfície ainda mais pulverizada e de um “pé-de-grade” mais denso, que varia com o número de passadas do implemento e com a umidade do solo. Na superfície pulverizada pode originar-se uma camada endurecida de 2 a 3 cm de espessura, prejudicando a emergência das plântulas e a infiltração da água no solo.

Incorporação da resteva com grade, seguida de aração profunda

Consiste na inversão da ordem de realização das operações de preparo do solo. Inicialmente é feita a gradagem do terreno com grade aradora ou “niveladora”, dependendo da quantidade de plantas daninhas, restos culturais e teor de umidade do solo. De 10 a 30 dias após, é realizada a aração com arado de aiveca. As principais vantagens deste método são: a) incorporação mais homogênea dos restos culturais no perfil do solo, da superfície até aproximadamente 40 cm de profundidade; b) formação de uma boa estrutura no solo; c) não formação do “pé-de-grade” superficialmente; d) maior eficiência no controle de plantas daninhas; e) promoção da recuperação da fertilidade em profundidade.

Quando o solo é arado com teor de umidade adequado e com implemento bem regulado, a semeadura pode ser feita sem a necessidade de gradagem de nivelamento ou com, no máximo, uma operação de grade “niveladora”, preservando a porosidade e a estrutura criada pela aração.

O preparo do solo por esse método tem proporcionado aumento significativo na produtividade do arroz de terras altas, por reduzir sensivelmente os riscos de déficit hídrico durante os curtos períodos de estiagem. Isso tem sido possível devido ao maior armazenamento de água no perfil do solo, ao enraizamento mais vigoroso e profundo e à melhoria das propriedades físicas do solo. Deve ser utilizado, preferencialmente, para solos que apresentam compactação em profundidade e estejam muito infestados de plantas daninhas.

Preparo mínimo

Este método de preparo do solo consiste na passagem de implementos como o arado escarificador ou a grade “niveladora”, visando romper apenas a camada superficial adensada e, no caso da grade, o controle



das plantas daninhas de pequeno porte. É recomendado para solos descompactados e com pouca incidência de plantas daninhas, com o principal objetivo da manutenção da estrutura do solo, além da redução dos custos.

O arado escarificador rompe o solo numa profundidade de 20 a 30 cm e mantém grande parte dos resíduos vegetais na superfície, protegendo o solo da erosão. Além disso, o escarificador permite o preparo do solo seco, maior rendimento operacional e economias de combustível e de tempo de operação, quando comparado com os arados de disco e de aiveca.

Plantio direto

É um método de semeadura no qual a semente e o adubo são colocados diretamente no solo não revolvido, usando-se semeadoras adubadoras especiais. É recomendado para solos descompactados, com fertilidade homogênea no perfil até 40 cm, sendo o controle de plantas daninhas dependente de herbicidas. A superfície do terreno deve possuir uma camada de restos culturais que auxilia a conservação do solo e da umidade. Antes da implantação do plantio direto, o solo deve ser corrigido com o objetivo de se obter um vigoroso desenvolvimento do sistema radicular.

SISTEMAS DE PREPARO PARA O CULTIVO DO ARROZ EM VÁRZEAS

Conforme a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 1992b), no sistema de cultivo de arroz irrigado podem ser definidos dois sistemas de preparo do solo, em solo seco e alagado.

Preparo do solo seco

Consiste numa aração a 20 - 25 cm de profundidade, visando à incorporação dos restos culturais e plantas daninhas. Havendo muita palhada e muitas plantas daninhas, é aconselhável realizar a operação de incorporação com grade aradora, entre dez e 30 dias antes da aração. A seguir são efetuadas duas ou três gradagens, dependendo do solo, com intervalo de uma semana, sendo a última imediatamente antes da semeadura, visando a obter destorroamento adequado e controle eficiente de plantas daninhas. Em solo excessivamente compactado, onde, após a aração, permanecem torrões difíceis de serem desmanchados a seco, recomenda-se molhar o solo antes de se fazer a última gradagem. As gradagens são realizadas mediante o uso de grade "niveladora".



Na operação de semeadura, em linha ou a lanço, o solo deve apresentar uma camada superficial finamente destorroada, de maneira a possibilitar condições adequadas à germinação das sementes. Assim, o uso da enxada rotativa constitui uma alternativa para o destorroamento, devendo, entretanto, ser usada quando a grade “niveladora” não tiver condições de realizar satisfatoriamente essa operação.

Independentemente do método de preparo do solo usado, é necessário fazer o aplainamento da superfície do terreno, para corrigir as irregularidades no quadro. Essa prática permite a uniformização da lâmina de água, o controle mais eficiente das plantas daninhas e favorece o sistema de plantio com sementes pré-germinadas.

Preparo do solo alagado

Em áreas onde não há condições de preparar o solo seco, a alternativa é o preparo do solo com água. Os equipamentos mais utilizados para a realização desse preparo são a enxada rotativa, a lâmina traseira e a grade de dentes.

O procedimento para efetuar o preparo do solo alagado consiste na inundação do solo, na aração e, por fim, no nivelamento da área com lâmina traseira e/ou com grade niveladora. A inundação do terreno deve ser feita com sete dias de antecedência à aração. Esse período pode variar, dependendo do solo e da quantidade de resíduos da cultura anterior. A aração realizada com enxada rotativa objetiva o revolvimento do solo e a incorporação da matéria orgânica. Geralmente, uma única aração bem realizada é suficiente. Entretanto, uma segunda aração se justifica, principalmente se a primeira foi superficial, não incorporando, satisfatoriamente, os restos culturais. Em solo profundo, é conveniente realizar a primeira aração com o solo seco, a fim de não desagregá-lo profundamente, o que pode ocasionar atolamento de máquinas no momento da gradagem ou da colheita. Havendo necessidade de uma segunda aração é conveniente que esta seja feita uma semana após a primeira, para eliminar as plântulas emergidas.

Em terreno desnivelado, onde as partes mais altas não ficam suficientemente umedecidas, não sendo possível usar a grade de dentes é necessário o uso da lâmina traseira para efetuar pequenos cortes e transportar a terra das partes mais altas para as mais baixas.

Para a gradagem, ou nivelamento final, procede-se à drenagem do excesso de água, deixando somente a quantidade suficiente que permita observar as partes altas e baixas do terreno. Durante a gradagem, deve-se



levar a lama às partes mais baixas, para obter um melhor nivelamento. Em solo bem nivelado, o arroz apresenta florescimento e maturação mais uniforme, facilitando a determinação da época adequada da aplicação de tratamentos culturais e da colheita, a qual influi na qualidade dos grãos.

Gomes et al. (2004) relatam que grande parte da área de arroz irrigado emprega os sistemas conservacionistas de manejo do solo, incluindo o sistema de plantio direto e de cultivo mínimo. Na safra de 2001/02, a área cultivada no Rio Grande do Sul com os referidos sistemas foi de 47,5% da área total destinada ao arroz. Conforme os autores, na implantação do plantio direto em arroz irrigado, o preparo do solo é realizado em áreas de pousio nos meses de janeiro a março (preparo de verão) e, normalmente, compreende uma aração e duas gradagens, quando o solo apresenta textura arenosa, ou franca, e aplainamento. Não existe a necessidade de desmanchar por completo os torrões, pois, como a semeadura do arroz é realizada após alguns meses, essa tarefa é completada pelas chuvas de inverno. Em solos argilosos, dependendo das condições de umidade, o número de operações poderá ser maior no momento do preparo. No sistema de cultivo mínimo, as operações de preparo do solo são semelhantes às realizadas no sistema de plantio direto, diferindo apenas na época de realização, visto que estas ocorrem do final do inverno ao início da primavera, de 60 a 45 dias antes da semeadura. Em determinados casos, como, por exemplo, quando o solo apresentar textura franco arenosa, pode ser dispensada uma operação de aração ou de gradagem. O preparo do solo antecipado, tanto no cultivo mínimo, como no plantio direto, visa a corrigir pequenas imperfeições de microrelevo, preparar a superfície do solo para receber as sementes de arroz e, principalmente, estimular a germinação de sementes de plantas daninhas, como as de arroz vermelho e preto, num período em que estas não podem concorrer com a cultura do arroz.

ÉPOCA DE PREPARO

Antes de preparar o solo, deve-se avaliar a possibilidade de trafegar no terreno com trator e máquinas pesadas. A capacidade do solo em suportar e permitir o trabalho dessas máquinas depende muito da umidade existente. Conforme Mazuchowski & Derpsch (1984), a época ideal para se preparar o solo é determinada quando o trator opera com o mínimo de esforço, produzindo uma melhor qualidade no serviço que estiver realizando em termos de estrutura, tamanho de agregados, porosidade do solo e controle de plantas daninhas. A época ideal do preparo do solo é definida como o ponto de friabilidade, ou seja, o momento no qual o solo está com um teor de umidade em que parte



dele, sendo comprimida na mão, é facilmente moldada, mas que tão logo cessada esta força, a amostra é facilmente esboroadada.

De acordo com Castro (1989), quando o preparo é feito em solo muito úmido, ocorrem danos físicos na estrutura do solo, principalmente no sulco deixado pelas rodas do trator e na aderência nos órgãos ativos dos implementos, até o ponto de inviabilizar a operação. Por outro lado, o preparo com o solo muito seco exige maior número de operações para o destorroamento e maiores gastos de combustível e de tempo.

A época de preparo do solo pode variar em função dos objetivos da operação (Seguy et al., 1984). Se o principal objetivo for o controle de plantas daninhas ou a incorporação de resíduos vegetais, o preparo pode ser realizado com bastante antecedência à semeadura. Neste caso, recomenda-se proceder à aração após a última colheita, realizando a gradagem imediatamente antes da implantação da nova cultura. Outro procedimento seria o de incorporar o material vegetal ao solo com o uso da grade e, dez a 30 dias após, realizar a aração.

Tanto no solo seco como no alagado, a aração deve anteceder o plantio em cerca de 30 dias, para permitir a decomposição da matéria orgânica. A gradagem, ou o nivelamento final, deve ser efetuada imediatamente antes da semeadura.

DESEMPENHO OPERACIONAL DE ARADOS E GRADES

As operações de preparo do solo podem ser realizadas com diferentes combinações de equipamentos ou sistemas de preparo, que resultam em diferentes consumos de energia (Frisby & Summers, 1979). A seleção de um sistema de preparo depende da energia requerida individualmente por um equipamento, de como este requerimento varia em combinação com outros equipamentos e de seus efeitos sobre a conservação da água e do solo e a produção das culturas (Dowding et al., 1967). O preparo ótimo de um solo representa a adequação entre as condições do solo que favorecem o desenvolvimento das culturas, proporcionando máxima produtividade, com a disponibilidade de nutrientes e o custo operacional mínimo, especialmente em gastos de energia. De acordo com Sumner et al. (1986), os altos preços dos combustíveis e a necessidade de reduzir os custos da produção agrícola têm estimulado o interesse na seleção e operação correta do trator e de equipamentos, de forma a obter a máxima eficiência de utilização de energia.

O consumo de combustível pode ser empregado como um índice para comparar o requerimento de energia das operações de preparo,



embora muitos fatores influenciem seu valor. Segundo vários autores (Gill & Vanden Berg, 1968; Gumbs & Summers, 1985; Michel Junior et al., 1985), os principais são: textura e estrutura do solo; teor de água; tipo e regulagem do equipamento; velocidade de trabalho; profundidade do preparo; e deslizamento das rodas do trator. Conforme Bridges & Smith (1979), o consumo de combustível também é influenciado pela habilidade do operador, pela dimensão da área a ser trabalhada e pela potência do trator. Quanto mais potência disponível tiver o trator, maior será o seu consumo específico em litros por metro cúbico de solo mobilizado (Gumbs & Summers, 1985), principalmente quando o conjunto trator e equipamento não estiver bem dimensionado.

Frisby & Summers (1979) verificaram, durante o preparo de dois solos de texturas franco e franco argilosa, que o consumo específico de combustível requerido foi menor quando os solos possuíam teor de água próximo do limite de plasticidade. Teores de água acima ou abaixo desse limite favoreceram, respectivamente, o aumento do patinamento do trator e da resistência do solo ao cisalhamento, aumentando, conseqüentemente, o consumo de combustível.

Smith (1983), citado por Sumner et al. (1986), verificou que o arado de aiveca, operando a 22 cm de profundidade, exigiu cerca de três vezes mais combustível por unidade de área preparada que uma enxada rotativa operando a 9 cm, e que pequenas variações na profundidade de preparo e na velocidade de operação afetaram, estatisticamente, a demanda de potência e o consumo de combustível.

Hoogmoed & Derpsch (1985) avaliaram o desempenho de arado de disco, grade aradora e arados escarificadores em um Latossolo Vermelho. O consumo de combustível, em $L\ ha^{-1}$, foi mais elevado com o uso do arado de disco, devido à sua menor capacidade de trabalho. A grade aradora requereu menor consumo de combustível e apresentou maior capacidade de campo, sem diferir estatisticamente dos arados escarificadores. Ao se comparar o consumo de combustível, em relação ao volume de solo mobilizado por hectare, não foram verificadas diferenças significativas entre os equipamentos de preparo do solo avaliados.

Pesquisando em doze séries de solos, que variavam de textura franco argilosa a franco arenosa, Bowers Junior (1989) verificou que a operação com arado de aiveca consumiu mais combustível por hectare, seguida pelo arado escarificador, pela grade aradora e, por último, pelo equipamento de semeadura direta. O consumo de combustível variou de 25,96 a 40,39 $L\ ha^{-1}$ para o sistema de preparo com o arado de aiveca, de 20,88 a 28,36 $L\ ha^{-1}$ para o preparo reduzido, à base de escarificação ou de gradagem, e de 2,31 a 3,24 $L\ ha^{-1}$ para o de semeadura direta.



Gamero et al. (1986) determinaram o consumo de combustível em três sistemas de preparo de uma Terra Roxa estruturada. O consumo de combustível ocorreu, em ordem decrescente, nos seguintes sistemas: aração com arado de disco e duas gradagens "niveladoras"; gradagem com grade aradora e duas gradagens "niveladoras"; e preparo com enxada rotativa. Esses consumos foram, respectivamente, de 27,38, 18,71 e 9,65 L ha⁻¹ de óleo diesel. Os autores constataram, também, que a aração foi a operação individual que consumiu mais combustível por unidade de volume de solo mobilizado.

Wu et al. (1986) estudaram o desempenho de máquinas agrícolas por meio do desenvolvimento de modelos matemáticos que relacionavam a largura ótima de trabalho dos equipamentos, em termos de consumo de combustível e de tempo requerido para mobilizar uma determinada área, com a potência do trator. Considerando condições similares de solos e de operação, os autores verificaram que existe uma largura ótima de trabalho dos equipamentos de preparo para uma dada potência do trator, que varia segundo uma função linear.

Michel Junior et al. (1985) compararam o sistema de preparo de um solo de textura arenosa, utilizando a escarificação, com a aração com arado de aiveca, na produtividade de várias culturas. A velocidade de operação, o deslizamento das rodas do trator, o requerimento de tempo, os consumos de combustível e de energia e da potência foram medidos para cada operação em ambos os sistemas. O primeiro sistema proporcionou igual produtividade das culturas, consumindo, aproximadamente, 40% menos tempo, combustível e energia nas operações realizadas antes da semeadura.

Gill & Vanden Berg (1968) reportaram que o requerimento de força para o preparo depende do solo, da sua condição de umidade, da maneira de movimentar o solo e do formato dos peças ativas dos equipamentos. Portanto, para uma dada classe e umidade do solo, o requerimento de força depende do equipamento, da velocidade e profundidade de operação e dos manejos previamente realizados.

Folle et al. (1991a) avaliaram o desempenho de um arado de disco, operando em um Latossolo Vermelho com diferentes teores de água (11,7%; 22,1%; e 26,6%), com base na massa seca. Verificaram que o aumento do teor de umidade no solo condicionou diferentes formas de consistência, causando decréscimo na exigência de força específica na barra de tração do trator. Quando o solo passou da consistência dura para a friável e de friável para a plástica, as reduções foram de 10% e 15%, respectivamente.



O desempenho de um arado de disco, em um Latossolo Vermelho de textura argilosa, operando em diferentes velocidades de deslocamento, foi avaliado por Franz et al. (1991). Os autores verificaram que ocorreram acréscimos de até 17%, 215% e 193%, respectivamente, na força específica, na potência específica e na capacidade de campo, ao se variar a velocidade de 3,0 para 8,2 km h⁻¹.

O ângulo horizontal afeta o desempenho do arado exercendo grande influência na qualidade do preparo do solo. Folle et al. (1991b) estudaram o desempenho do arado de disco, operando com ângulos horizontais de 41°31', 36°52' e 31°15', à velocidade de 4,9 km h⁻¹, em um Latossolo Vermelho, com 16,32% de água. Verificaram que a redução do ângulo horizontal causou decréscimos de até 20% na largura de corte, 43% na profundidade de corte, 47% na força de tração específica e 21% na capacidade de campo.

Os efeitos da velocidade e da profundidade de trabalho sobre a força requerida pelo arado de aiveca, pelo arado escarificador e pelo arado de disco, em solos de texturas franco argilosa e franco arenosa, foram avaliados por Summers et al. (1986). A força na barra de tração foi considerada uma função linear da velocidade de deslocamento dos arados escarificador e de disco, e função quadrática do arado de aiveca. A força requerida pelos equipamentos foi diretamente proporcional à profundidade de trabalho.

Willcocks (1984) estudando preparos de solo de textura franco siltosa, a uma profundidade de 25 cm, constatou ser necessária uma força de 2,3 kN por haste e 42,8 kN m⁻² para tracionar os arados escarificador e de aiveca, respectivamente. Resultados similares foram obtidos por Bowers Junior (1985), em solo de textura franco siltosa, com teor de água de 10% e índice de cone de 1.358 kPa. Os valores verificados pelo autor foram 2,1 kN por haste do arado escarificador e 44,9 kN m⁻² de solo mobilizado pelo arado de aiveca.

EFEITO DO PREPARO DO SOLO

Relação massa e volume do solo

Têm-se observado que alguns atributos físicos do solo são alterados sempre que um implemento de preparo do solo é utilizado (Correa, 1985; Silva & Moreira, 1987). A geometria do sistema poroso decorrente do preparo do solo é freqüentemente instável e alterações com o tempo são comuns. Por isso, o efeito produzido por qualquer equipamento pode diferir com as condições físico hídricas reinantes por ocasião da realização da operação. As relações de massa e volume do solo podem ser alteradas toda vez que o solo for manejado por máquinas e implementos agrícolas.



As operações primárias de preparo que revolvem o solo, como a aração, frequentemente aumentam o espaço poroso do solo, principalmente por meio da macroporosidade. Foi o que Moreira (1987b) verificou em Latossolo Vermelho Amarelo textura arenosa, trabalhando com três sistemas de preparo. O solo preparado com arado proporcionou aumento da macroporosidade até a profundidade de 30 cm em relação aos outros preparos. Nesse caso o efeito imediato foi verificado na condutividade hidráulica saturada, $K(0)$. Na primeira camada estudada, de 0 a 20 cm, o valor desse parâmetro foi alto, refletindo o valor da macroporosidade. Já na camada de 20 a 30 cm, o valor encontrado para $K(0)$ foi o menor do perfil do solo, indicando que a restrição ao fluxo vertical de água está localizada nesta profundidade. A relação entre a macroporosidade do solo e a condutividade hidráulica saturada foi observada por Moreira (1987b) (Fig. 10.1).

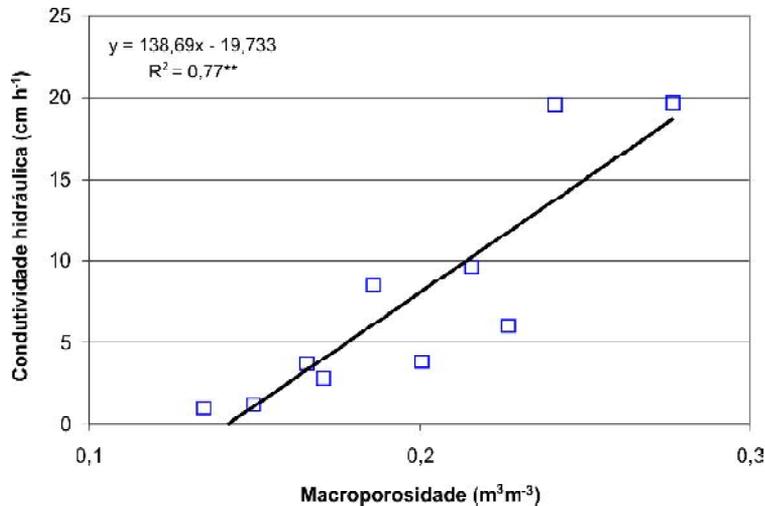


Fig. 10.1. Condutividade hidráulica saturada de um Latossolo Vermelho distrófico em função da macroporosidade do solo.

Fonte: Moreira (1987b).

Em Latossolo Vermelho Distrófico, Stone et al. (1994) verificaram, após sete cultivos sucessivos, que a macroporosidade, devido à aração do solo, diminuiu em relação aos valores iniciais nas camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm de profundidade. A microporosidade, por sua vez, praticamente não foi alterada. Dessa maneira, a redução na porosidade total foi devida quase que exclusivamente à diminuição na macroporosidade. Nesse caso, observou-se que as alterações



temporais nas características dos parâmetros analisados foram visíveis devido ao manejo contínuo a que este solo foi submetido.

Independente das modificações que a aração provoca na relação entre a massa e o volume do solo, deve-se ter em conta que a ação do equipamento pode influenciar a distribuição de nutrientes no perfil do solo. Ellis & Howse (1980) observaram que o preparo superficial concentrou P e K na superfície do solo em comparação com a distribuição mais uniforme na camada arada, causada pela inversão do solo na aração mais profunda. Silveira et al. (1994) verificaram que o pH e os teores de Ca + Mg, P e K nas camadas de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm de profundidade foram maiores com aração feita a 15 cm, em relação à feita a 30 cm. Stone & Moreira (1996) também observaram que a aração superficial do solo proporcionou maior concentração de nutrientes na camada de 0 a 15 cm de profundidade do que a aração profunda.

Na maioria das vezes, o estudo da compactação do solo é feito em função dos sistemas de preparo que a provocam. Entretanto, para se ter idéia de como a estrutura do solo é alterada em função do preparo, é importante também que as comparações sejam feitas com o solo em suas condições naturais. Moreira (1987a), estudando os perfis de Latossolo Vermelho Distrófico em condições naturais, sob mata, e sob preparo contínuo com grade aradora e arado de aiveca, verificou que a densidade do solo e as relações de porosidade foram bastante uniformes nas camadas amostradas no solo sob mata. Já no solo trabalhado com grade aradora, observou-se aumento bastante acentuado da densidade do solo, principalmente nas duas primeiras camadas. No solo trabalhado com arado, o maior valor da densidade foi verificado na camada de 20 a 30 cm. Como existe uma relação inversa da densidade do solo com a macroporosidade, os menores valores deste parâmetro são encontrados também nas mesmas camadas (Tabela 10.1).

Tabela 10.1. Densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade, de Latossolo Vermelho Distrófico submetido ao preparo do solo com grade aradora e arado de aiveca.

Prof. (cm)	Densidade do solo (kg dm ⁻³)		Porosidade total (m ³ m ⁻³)		Macroporosidade (m ³ m ⁻³)		Microporosidade (m ³ m ⁻³)	
	Grade	Arado	Grade	Arado	Grade	Arado	Grade	Arado
0-10	1,42	1,26	46,4	52,2	11,0	22,3	35,4	30,2
10-20	1,35	1,24	49,1	53,3	14,9	24,9	34,2	28,4
20-30	1,30	1,28	50,1	51,7	16,7	22,3	33,4	29,4
30-40	1,23	1,18	51,7	55,5	18,5	26,2	33,2	30,2

Fonte: Moreira (1987a).



A resistência que o solo oferece à penetração também é um indicativo da alteração na relação massa volume do perfil decorrente do preparo a que é submetido. Analisando dados de penetrometria, Moreira et al. (2003) observaram comportamento diferenciado entre os preparos de solo até 35 cm de profundidade (Fig. 10.2). O tratamento arado de aiveca apresentou-se mais homogêneo no perfil em relação aos outros preparos. Esse comportamento, além da ação do arado de aiveca, que deixa o solo mais revolvido, é reflexo provavelmente da maior quantidade de matéria orgânica no perfil, decorrente da incorporação de biomassa de capim braquiária desse tratamento. No tratamento grade aradora, verificou-se que a zona de maior compactação esteve na camada de 10 - 20 cm de profundidade. Comportamento semelhante, porém com menor magnitude, foi observado no tratamento SPD, sistema de plantio direto, o que já era esperado, pois, na implantação do sistema, devido ao não revolvidimento do solo, ocorreu o acomodamento das partículas, o que conferiu maior compactação ao longo do perfil.

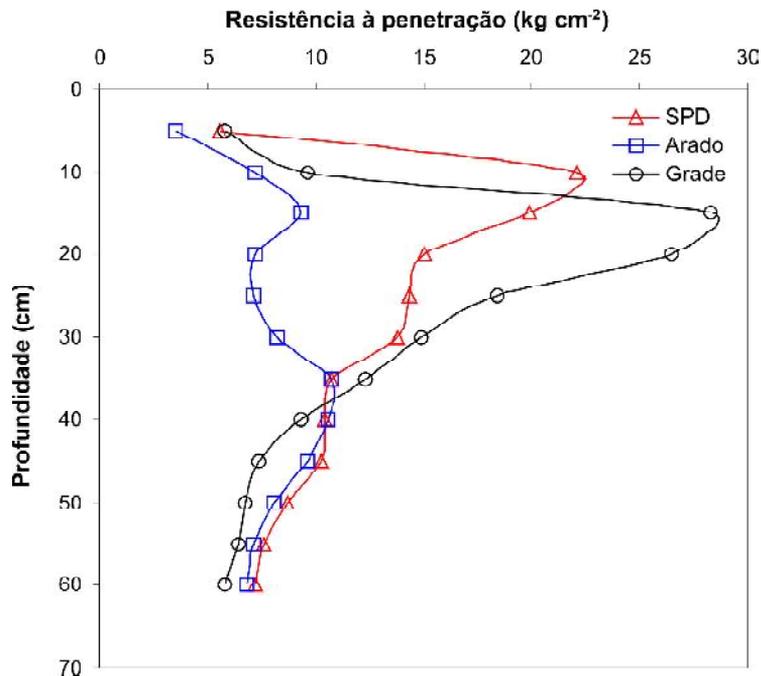


Fig. 10.2. Resistência à penetração de Latossolo Vermelho Distrófico em diferentes preparos de solo. Fonte: Moreira et al. (2003).



Infiltração de água

Em relação à fase solo do ciclo hidrológico, o preparo do solo deve ter como objetivos permitir o máximo armazenamento da água no perfil de solo, sua conservação e facilitar o seu uso pelas plantas.

A obtenção de um efetivo armazenamento hídrico no perfil está na dependência das condições que o solo oferece para a infiltração, em detrimento do deflúvio, e para dificultar a circulação de água na superfície, forçando sua penetração no interior do solo.

Quando o objetivo é a produção agrícola, é normal dar mais importância à quantidade de água e sua variação temporal e espacial no perfil de solo, em detrimento de como esta se infiltra para o interior do solo, onde é passível de ser absorvida pelo sistema radicular.

A ação do trabalho do solo sobre a infiltração pode se dar pelo aumento de porosidade das camadas ou horizontes de superfície e/ou pela criação de obstáculos à circulação total ou parcial da água na superfície do solo. O aumento da porosidade normalmente é conseguido por meio de preparos que quebram ou reviram o solo, pela ação de implementos como os arados, grades e subsoladores.

A princípio, tem-se observado que esses equipamentos realmente proporcionam, em uma primeira etapa, o aumento da porosidade do solo na camada trabalhada. Entretanto, se as operações são feitas do modo contínuo, podem alterar significativamente a relação entre a massa e o volume de solo, ocasionando camadas compactadas na profundidade de atuação dos equipamentos de preparo. Conhecidos como pé-de-grade ou pé-de-arado, segundo o equipamento que a provoca, a compactação tem efeito marcante na infiltração devido à redução da seção de escoamento que o solo, principalmente pela macroporosidade, oferece à movimentação vertical da água no perfil.

Essa situação ficou bem caracterizada quando se estudou a infiltração de água em um Latossolo Vermelho Distrófico, submetido a três sistemas de preparo. Sob preparo contínuo com grade aradora, as taxas de infiltração foram bem menores que as observadas no preparo em se utilizaram diferentes arados (Fig. 10.3).

Nessas condições, o uso prolongado da grade aradora proporcionou, ao longo do perfil, camadas de restrição ao fluxo de água para o interior do solo, caracterizadas pela redução da macroporosidade e aumento da densidade do solo (Tabela 10.1).



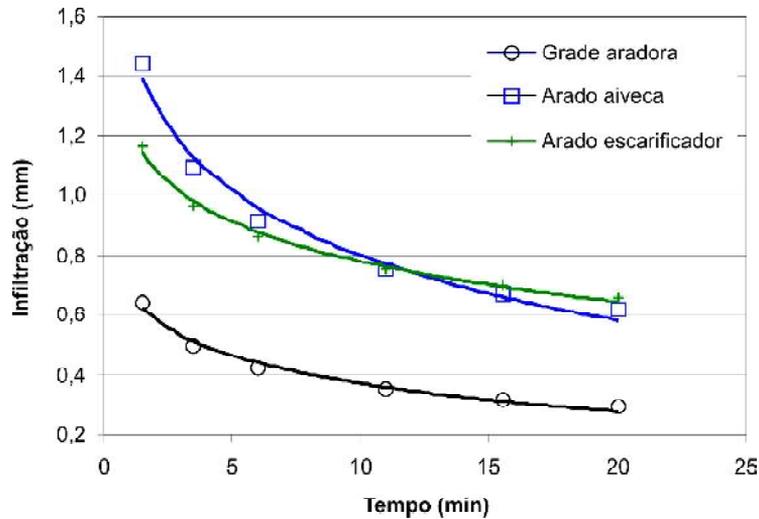


Fig. 10.3. Infiltração de água em Latossolo Vermelho Distrófico submetido a diferentes preparos de solo.

Na superfície do solo, devido à ação energética dos arados e, principalmente, das grades aradoras sobre a estrutura do solo, os equipamentos deixam a camada trabalhada “pulverizada”. Simultaneamente à pulverização do solo e os episódios de chuvas e secamento, desenvolve-se o encrostamento da superfície, também alterando as propriedades hidrodinâmicas do solo. Mesmo em trabalhos, considerados intermediários entre grade aradora e o SPD, como o arado de aiveca, o uso prolongado do equipamento pode provocar alterações nas relações de porosidade do solo.

Por outro lado, restrição à circulação da água pode ser obtida pela manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo e também por meio de uma estrutura em pequenos torrões que aumentam a rugosidade da superfície. Normalmente, os preparos conservacionistas, entre eles o SPD, proporcionam essas condições.

A energia cinética das gotas de chuva é absorvida na superfície pelos agregados e partículas do solo. A consequência imediata desse fato é a destruição da rugosidade estrutural e o nivelamento da superfície do solo. Esse fenômeno de superfície é o principal responsável pelo encrostamento superficial e o selamento ou obstrução dos poros, que podem afetar a taxa de infiltração de água, principalmente em solos sem proteção superficial. Esses efeitos nos solos dos Cerrados têm sua ação potencializada devido à dificuldade



na proteção da superfície do solo, em função da rápida degradação dos restos de cultura. Roth et al. (1988), trabalhando com um oxisol submetido a diferentes preparos, entre os quais o convencional, o cultivo mínimo e o plantio direto, verificaram que o principal fator que influenciou a infiltrabilidade foi a formação de superfícies selantes, decorrente do percentual de cobertura do solo. Para os três sistemas, 100% de cobertura da superfície permitiu ao solo a infiltração de 60 mm de chuva, enquanto somente 20% da água aplicada infiltrou quando o solo esteve descoberto e a superfície completamente selada.

Restos de culturas deixados no solo freqüentemente reduzem a força dos fatores climáticos, agindo como barreira à erosão do solo e ao escoamento superficial, principalmente pela moderação da energia contida nas gotas de chuva que caem sobre o solo. Nessas condições, é importante salientar que o nível da cobertura superficial é mais importante que o preparo do solo.

Entretanto, a prática do SPD com uma quantidade significativa de resíduos, proporcionando uma cobertura adequada, assegura a proteção física eficaz da superfície do solo. Nesse caso, a energia cinética da chuva é dissipada pela palhada, que age como um anteparo protetor. Assim, a quantidade de água que atravessa a camada de palha chega ao solo com a velocidade reduzida e pode se infiltrar lentamente sem deformar a matriz original do solo. Em solos com maior declividade, mesmo a água que não se infiltra imediatamente tem a sua velocidade reduzida devido à presença de uma estrutura peculiar que confere à superfície do solo um microrelevo rugoso constituído de pequenos torrões, que aumenta significativamente a tortuosidade do terreno, aumentando o tempo de oportunidade para a infiltração da água. Moreira et al. (2003), trabalhando com Latossolo Vermelho Distrófico, verificaram que no SPD com cobertura de capim braquiária o perfil de solo foi mais efetivo em permitir a infiltração de água que no sistema convencional com grade aradora e solo descoberto. O parâmetro analisado foi a condutividade hidráulica saturada e os valores alcançados foram 137, 5 e 41,1 mm h⁻¹, para o SPD e grade aradora, respectivamente.

Armazenamento e retenção de água

Além da porosidade e cobertura superficial, o armazenamento de água no perfil de solo e suas flutuações temporais e espaciais podem ser um indicativo da eficiência do solo em permitir a infiltração da água. Moreira (1987a), trabalhando com Latossolo Vermelho



Distrófico, submetido a diferentes preparos, verificou que o armazenamento hidrico até 170 cm de profundidade foi sempre superior no solo sob SPD em comparação àqueles trabalhados com arado de aiveca e grade aradora (Fig. 10.4). Analisando isoladamente as camadas de solo, o autor verificou que na profundidade de 0 a 10 cm, no solo sob grade, de dezembro de 2001 a março de 2002, houve sempre mais água armazenada no perfil em relação ao solo preparado com arado de aiveca (Fig. 10.5). Sabe-se que nas tensões matriciais mais baixas, a distribuição do tamanho dos poros é altamente correlacionada com o armazenamento de água no solo. Dessa maneira, aqueles sistemas de preparo que provocam maior revolvimento do solo e, portanto, aumentam o seu volume, como é o caso do preparo com arado de aiveca, armazenam menos água na camada revolvida em comparação à outra camada idêntica mais compactada, como observada no preparo com grade (Tabela 10.1). Entretanto, em que pese o menor armazenamento de água, o preparo de solo com arado proporciona ao perfil uma melhor condição de macroporosidade que permite maior desenvolvimento do sistema radicular e infiltração de água.

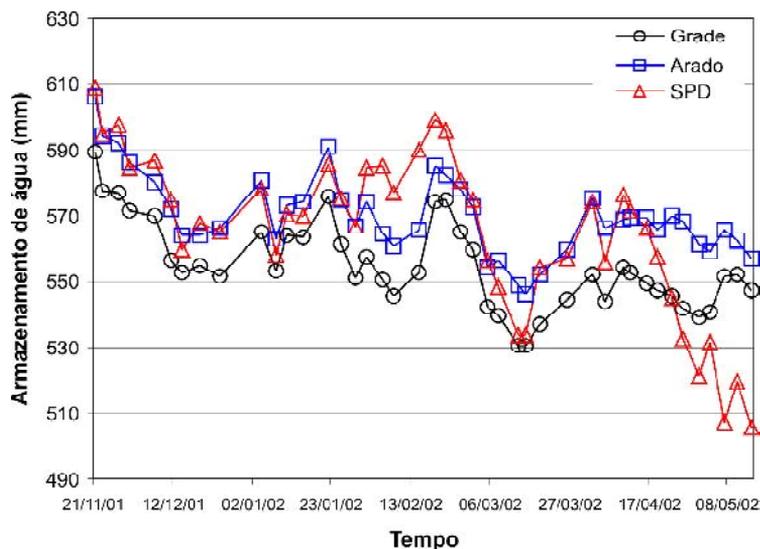


Fig. 10.4. Armazenamento de água na camada de 0 - 170 cm de profundidade de um Latossolo Vermelho Distrófico submetido a diferentes preparos de solo.

Fonte: Moreira (1987a).



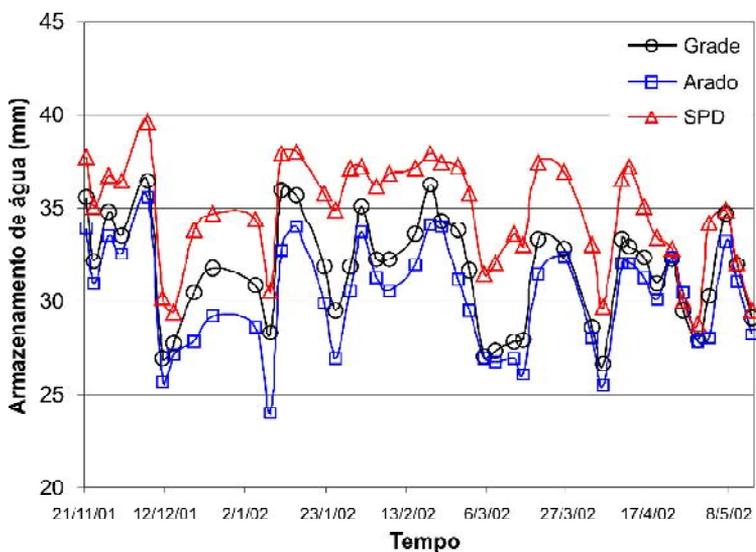


Fig. 10.5. Armazenamento de água na camada de 0 - 10 cm de profundidade de um Latossolo Vermelho Distrófico submetido a diferentes preparos de solo.

Fonte: Moreira (1987a).

De acordo com Raissac & Moreira (1987a) o comportamento hídrico na camada 0 a 10 cm do solo preparado com arado provém da ação conjunta de três fatores: evaporação direta da superfície do solo; absorção de água pelo sistema radicular do arroz; e rápida infiltração da água para as camadas mais profundas do solo. Isso é confirmado analisando-se o armazenamento de água nas camadas mais profundas, de 20 a 40 cm (Fig. 10.6) e 60 a 80 cm (Fig. 10.7). O armazenamento sempre superior no solo sob arado confirma a melhor recarga de água nesse sistema de preparo em relação ao preparo com grade.

Em solos preparados continuamente, independente do equipamento utilizado, geralmente há diminuição da porosidade total, principalmente pela redução da macroporosidade, com o conseqüente aumento da densidade (Moreira, 1987a). Em muitos casos, essa compactação aumenta a retenção de água a um dado potencial matricial sem, contudo, aumentar a água disponível para as plantas (Moreira et al., 1988). De fato, Stone et al. (1994) verificaram que a água disponível entre -0,01 e -0,1 MPa, amplitude de faixa de água disponível para a maioria das culturas nos oxissolos, diminuiu com a compactação. O valor da água disponível na camada de 0 - 20 cm caiu de 10,6 mm para 8,0 mm e, na camada de 20 a 40 cm, de 9,0 mm para 7,2 mm.



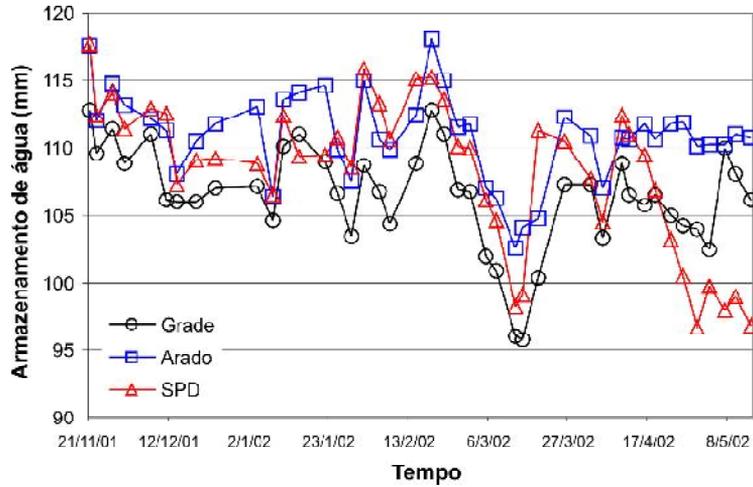


Fig.10.6. Armazenamento de água na camada de 20 a 40 cm de profundidade de um Latosolo Vermelho Distrófico submetido a diferentes preparos de solo.

Fonte: Moreira (1987a).

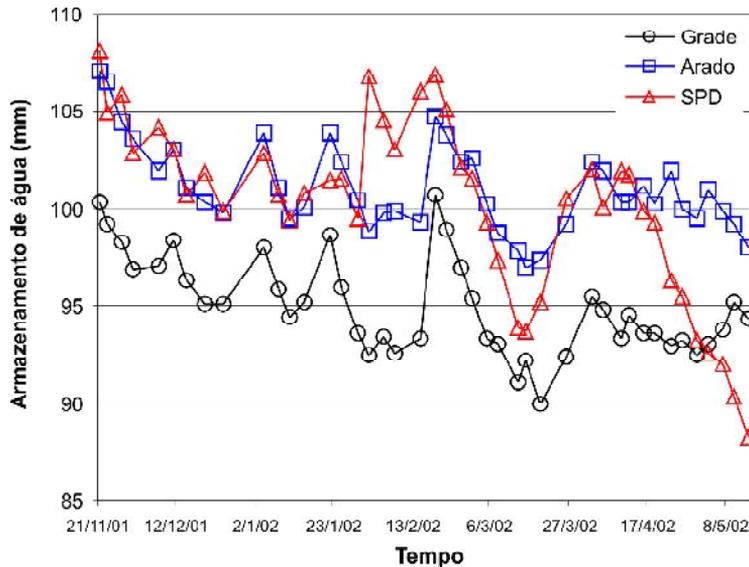


Fig.10.7. Armazenamento de água na camada de 60 a 80 cm de profundidade de um Latosolo Vermelho Distrófico submetido a diferentes preparos de solo.

Fonte: Moreira (1987a).



Estudando parâmetros hídricos de curvas de retenção de água de Latossolo Vermelho Distrófico, Moreira et al. (2003) observaram que a umidade do solo à saturação, θ^2 indicativo da porosidade total, foi bastante reduzida nas camadas 10 à 20 e 20 a 30 cm do solo, quando este foi trabalhado com grade aradora. Quando o trabalho foi feito com arado de aiveca, as camadas de menor porosidade foram observadas nas profundidades de 20 a 30 e 30 a 40 cm. Em ambos os preparos observa-se que as camadas compactadas aconteceram nas profundidade de atuação dos equipamentos, ocasionando os chamados pé-de-grade e pé-de-arado, respectivamente. No solo sob plantio direto, a camada de maior densidade ocorreu na profundidade de 30 a 40 cm, possivelmente devido à ação do arado de aiveca, equipamento utilizado antes da implantação do SPD (Tabela 10.2).

Tabela 10.2. Parâmetros das curvas de retenção de água.

Tratamento ⁽¹⁾	Profundidade (cm)	$\theta^{(2)}$ (m ³ m ⁻³)	$\theta^{(3)}$ (m ³ m ⁻³)	$\alpha^{(4)}$ (kPa ⁻¹)	$\eta^{(5)}$
SPD	0-10	0,49	0,21	0,167	1,597
	10-20	0,48	0,18	0,184	1,676
	20-30	0,48	0,18	0,189	1,785
	30-40	0,46	0,20	0,156	1,719
AA	0-10	0,52	0,16	0,189	1,936
	10-20	0,52	0,17	0,195	1,732
	20-30	0,48	0,19	0,193	1,683
	30-40	0,48	0,20	0,185	1,725
GA	0-10	0,47	0,17	0,173	1,721
	10-20	0,44	0,20	0,222	1,526
	20-30	0,44	0,17	0,157	1,676
	30-40	0,47	0,16	0,158	1,861

⁽¹⁾ SPD- sistema de plantio direto, AA- arado de aiveca, GA- grade aradora

⁽²⁾ umidade de saturação

⁽³⁾ umidade residual

⁽⁴⁾ parâmetro empírico de ajuste

⁽⁵⁾ parâmetro empírico adimensional de ajuste

Fonte: Moreira et al. (2003).

A princípio, com o comportamento do perfil de solo em relação ao seu espaço poroso, era de se esperar menor infiltração de água e, conseqüentemente, menor armazenamento de água no SPD. Entretanto, analisando-se a Fig. 10.3, observa-se que os tratamentos SPD e arado de aiveca tiveram comportamento semelhante quanto à quantidade de



água armazenada no perfil durante o ciclo de cultivo do arroz. Embora os dados indiretos de porosidade total sinalizassem uma dificuldade de infiltração de água, o solo no SPD encontrava-se protegido pela cobertura morta, além da rugosidade superficial. Assim, aliando-se o efeito da cobertura ao da maior estabilidade estrutural, a infiltração de água no SPD foi elevada, ocasionando menor perda por escoamento superficial. No tratamento grade aradora, o armazenamento de água foi menor que o verificado nos tratamentos SPD e arado de aiveca. Por não dispor de uma superfície adequadamente protegida, solos preparados com grade aradora tendem a formar camadas compactadas que dificultam a recarga de água no perfil. Como os três tratamentos receberam a mesma precipitação pluvial, provavelmente a diferença de conteúdo água foi devida à perda por escoamento superficial.

Desenvolvimento de raízes

Em geral, a baixa produtividade média do arroz de terras altas, no Brasil, é resultante, basicamente, de dois fatores: má distribuição das chuvas nas principais regiões produtoras e aplicação de quantidades insuficientes de adubos e corretivos.

A maior parte das áreas de produção está localizada na região dos Cerrados, onde a estação chuvosa é freqüentemente interrompida por períodos de seca, os veranicos. A alta demanda atmosférica durante esses períodos, associada à baixa capacidade de retenção de água, resultam em déficits hídricos que podem causar severas perdas na produção.

De acordo com Raissac & Moreira (1987b), para o aumento da produtividade do arroz em oxissolos, o preparo do solo deve contribuir para: diminuição da compactação superficial; aumento da profundidade de enraizamento; aumento da reserva útil radicular; e maior desenvolvimento da parte aérea.

Além do aspecto químico, a interferência do solo no desenvolvimento do sistema radicular pode ser de natureza física. Assim, um melhor enraizamento pode ser decorrente da diminuição da densidade do solo na parte superficial. Raissac & Moreira (1987b), estudando a relação densidade do solo e do sistema radicular do arroz, observaram que existe correlação negativa entre esses dois parâmetros (Fig. 10.8), mostrando que independente do sistema de preparo, a compactação na superfície do solo resulta em limitação do desenvolvimento do sistema radicular. Entretanto, em que pese uma



certa variabilidade, os pontos representativos do preparo com arado mostram a superioridade desse sistema de preparo do solo no estabelecimento do sistema radicular.

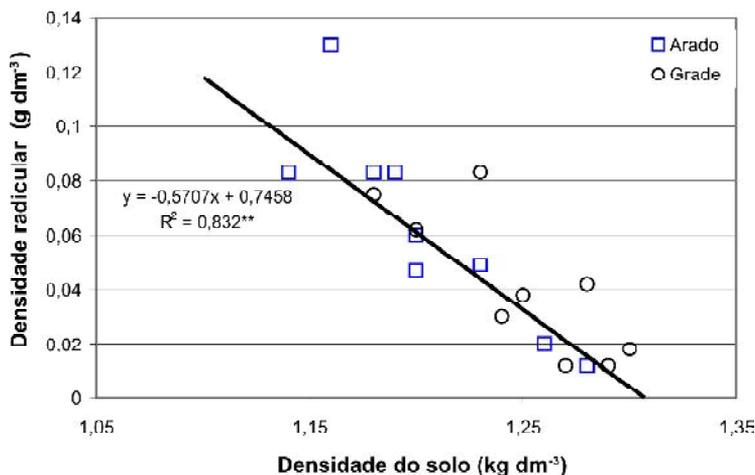


Fig. 10.8. Densidade radicular do arroz de terras altas em função da densidade de um Latossolo Vermelho Distrófico submetido ao preparo do solo com arado de aiveca e grade aradora.

Fonte: Raissac & Moreira (1987b).

Latossolos de Cerrados em condições naturais geralmente têm sua macroporosidade variando de 0,250 a 0,300 m³ m⁻³. Valores dessa magnitude podem sugerir uma ampla faixa de tolerância à compactação do solo em relação ao desenvolvimento do sistema radicular. Necessariamente isto deve ser considerado com muita cautela, visto que Grohmann & Queiroz Neto (1966), trabalhando com solos compactados, verificaram que houve impedimento físico ao desenvolvimento do sistema radicular do arroz, quando a densidade do solo alcançou valores superiores a 1,38 kg dm⁻³ em Latossolo Roxo. Nessa densidade, a macroporosidade foi 0,168 m³ m⁻³. Em Latossolo Vermelho Distrófico trabalhado com grade aradora, a macroporosidade foi de 0,140 m³ m⁻³, com a respectiva densidade de 1,40 kg dm⁻³. Pode-se esperar, portanto, nesse grande grupo de solo, comum nos Cerrados, problemas de desenvolvimento e penetração do sistema radicular em profundidade, quando a macroporosidade e a densidade do solo alcançarem esses valores. De fato, Guimarães et al. (2002), estudando os efeitos de densidades do solo sobre o desenvolvimento do arroz de terras altas em Latossolo Vermelho Distrófico, verificaram que o sistema radicular do arroz é muito sensível à compactação do solo, diminuindo seu crescimento com o aumento da densidade do solo a partir de 1,2 kg dm⁻³.



Consumo de água

Quando o solo apresenta uma camada subsuperficial compactada, os efeitos da deficiência hídrica são mais acentuados, devido ao menor desenvolvimento das raízes em profundidade e ao menor armazenamento de água. Nessas condições, a mobilização do solo, objetivando a eliminação da camada compactada, pode minimizar os efeitos do déficit hídrico. Foi o que verificaram Moreira & Raissac (1990), ao estudarem a alimentação hídrica do arroz cultivado em Latossolo Vermelho Distrófico, com preparo profundo, 25 a 30 cm, e sistema radicular bem desenvolvido e com preparo superficial contínuo, 10 a 15 cm, com menor densidade radicular. Para a determinação do consumo de água foi feito o estudo do balanço hídrico, durante 21 dias do mês de janeiro e 20 dias do mês de fevereiro de 1987. Esses períodos foram marcados pela baixa precipitação, caracterizando épocas de déficit hídrico no solo e grande demanda de água pelo arroz. A evolução do plano de fluxo nulo foi determinada para quantificar os fluxos ascendentes de água no solo, evapotranspiração da cultura (ETc) e descendentes, drenagem profunda. Verificou-se que o arroz cultivado em solo com preparo profundo alcançou, durante os 41 dias, o equivalente a 150 mm de ETc, o que proporcionou o consumo médio diário de 3,7 mm. Para o arroz cultivado em solo com preparo superficial a ETc foi de 120 mm, com média diária de 2,9 mm.

Produtividade de grãos

Muitas vezes a relação entre a produtividade de arroz e diferentes sistemas de preparo do solo é analisada levando-se em consideração a exploração agrícola em monocultura contínua. Estudando duas profundidades de aração proporcionadas por arado de disco e grade aradora, Raissac & Moreira (1987b) verificaram, após três anos de cultivo, que a produtividade de grãos e seus componentes foram afetados pelo sistema de preparo (Tabela 10.3). Nesse estudo, a ação principal da aração profunda feita a 25 - 30 cm de profundidade foi minimizar os efeitos do déficit hídrico pela maior infiltração de água e desenvolvimento do sistema radicular. Silveira et al. (1994) também obtiveram maiores produtividades com aração a 30cm em relação à profundidade de 15cm. Nesse caso, de acordo com os autores, as diferenças foram devidas, possivelmente, à redução da compactação do solo. Entretanto, em solos sem problemas de compactação, Robertson et al. (1977) e Camp et al., (1984) observaram que o preparo profundo não aumentou a produtividade e que, por ser uma operação dispendiosa, requerendo



equipamentos que demandam mais energia que o preparo convencional, o seu uso não deve ser generalizado. De fato, Stone & Moreira (1996) verificaram que, independente das condições hídricas do solo e na ausência de camada compactada, a produtividade do arroz é maior quando a aração é feita a 10 a 15 cm de profundidade em comparação com a feita a 30 - 35cm. A aração na profundidade de 10 a 15 cm proporcionou maior concentração de nutrientes na camada superficial do solo. Como não houve impedimento físico ao desenvolvimento das raízes, as maiores produtividades podem ser atribuídas à maior exploração da camada superficial do solo mais fértil.

Tabela 10.3. Componentes da produtividade e algumas características do arroz de terras altas cultivado em Latossolo Vermelho Distrófico submetido ao preparo de solo com arado e grade aradora.

Preparo do solo	Altura de planta (cm)	Massa seca de palha (t ha ⁻¹)	Plantas (nº m ⁻²)	Paniculas (nº m ⁻²)	Espiguetas vazias (%)	Produtividade (t ha ⁻¹)
Grade	95,3	2,48	116	111	38,1	1,9
Arado	116,8	2,89	134	129	36	2,8

Fonte: Raissac & Moreira (1987b).

Com o aumento da área irrigada por aspersão, sistema pivô central, é possível aumentar a produtividade das culturas em um sistema de exploração agrícola intensivo. A utilização de culturas diferentes, tanto no cultivo de verão quanto no cultivo de inverno, associada aos diferentes sistemas de preparo de solo, permite a criação de diversos sistemas agrícolas. O arroz é uma cultura frequentemente utilizada em sucessão às culturas de inverno, como o feijoeiro. Como o arroz é cultivado durante o período chuvoso, o uso da irrigação afasta os riscos de perdas da lavoura por deficiência hídrica. Nessas condições, o preparo do solo, além da manutenção do nível de produtividade, deve contribuir para a redução do custo de produção. Assim, Santos et al. (1997), estudando sistemas agrícolas irrigados por aspersão, verificaram que o plantio direto, apesar de proporcionar o menor custo de produção, foi menos eficiente que os preparos com grade aradora e com arado quanto à produtividade do arroz. O preparo com arado proporcionou aumento de 12,5% na produção, quando comparado com o preparo com grade. Stone et al. (1980) e Kluthcouski et al. (2002) também observaram baixas produtividades do arroz cultivado em áreas sob o plantio direto. Com relação à utilização do arado de aiveca, Stone et al. (1994), estudando cultivos sucessivos de



arroz e feijão, verificaram uma queda em torno de 50% na produtividade do arroz de terras altas no final de três anos de cultivo. Nesse caso, observa-se que ao longo do tempo a repetição do cultivo do arroz, na mesma área e época, foi mais importante que o equipamento utilizado, pois, no primeiro ano de cultivo, a produtividade média do arroz esteve em torno de 3.500 kg ha⁻¹.

Pelo que foi analisado, as possibilidades de se aumentar a produtividade do arroz variam muito com o sistema de preparo de solo empregado dentro de um sistema de exploração agrícola. Por isso, para a descrição de um manejo adequado do solo para a cultura do arroz é necessário compreender que a resposta física do perfil às diferentes operações de preparo é bastante diferenciada. A classe de solo, o conteúdo de água, o espaço poroso do solo na época do preparo, bem como a cultura antecedente são fatores que afetam as condições físicas criadas em uma dada operação de preparo.

REFERÊNCIAS

BOWERS JUNIOR, C. G. Southeastern tillage energy data and recommended reporting. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 28, n. 3, p. 731-737, May/June 1985.

BOWERS JUNIOR, C. G. Tillage draft and energy measurements for twelve southeastern soil series. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 32, n. 5, p. 1492-1502, Sept./Oct. 1989.

BRIDGES, T. C.; SMITH, E. M. A method for determining the total energy input for agricultural practices. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 22, n. 4, p. 781-784, July/Aug. 1979.

CAMP, C. R.; CHRISTENBURY, G. D.; DOTY, C. W. Tillage effects on crop yield in coastal plain soils. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 27, n. 6, p. 1729-1733, Nov./Dec. 1984.

CASTRO, O. M. de. **Preparo do solo para a cultura do milho**. Campinas: Fundação Cargill, 1989. 41 p. (Série Técnica, 3).

CORREA, J. C. Efeito de métodos de cultivo em algumas propriedades físicas de um latossolo amarelo muito argiloso do Estado de Amazonas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 20, n. 11, p. 1317-1322, nov. 1985.

DOWDING, E.; FERGUNSON, J. A.; BECKER, C. F. Comparison of four summer-fallow tillage methods based on seasonal tillage energy requirement, moisture conservation, and crop yield. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 10, n. 1, p. 1-3, 8, 1967.

ELLIS, F. B.; HOWSE, K. R. Effects of cultivation on the distribution of nutrients in the soil and the uptake of nitrogen and phosphorus by spring barley and winter wheat on three soil types. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 1, n. 1, p. 35-46, Nov. 1980.

EMBRAPA. Serviço de Produção de Informação. **Recomendações técnicas para o cultivo do arroz em regiões favorecidas**: zonas 31, 36, 40, 64, 83 e 89. Brasília, DF, 1992a. 124 p.



EMBRAPA. Serviço de Produção de Informação. **Recomendações técnicas para arroz irrigado no Centro-Oeste, Norte e Nordeste**: zonas 1, 15, 17, 40, 43, 58, 59, 61, 77 e 78. Brasília, DF, 1992b. 140 p.

FOLLE, S. M.; FRANZ, C. A. B.; ALONSO, A. dos S. Influência do teor de água no solo na demanda de tração de um arado de disco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 20., 1991, Londrina. **Resumos...** Londrina: SBEA, 1991a. p. 58.

FOLLE, S. M.; FRANZ, C. A. B.; ALONSO, A. dos S. Influência do ângulo horizontal de arado de discos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 20., 1991, Londrina. **Resumos...** Londrina: SBEA, 1991b. p. 59.

FRANZ, C. A. B.; FOLLE, S. M.; ALONSO, A. dos S. Influência da velocidade de deslocamento no desempenho de um arado de discos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 20., 1991, Londrina. **Resumos...** Londrina: SBEA, 1991. p. 58.

FRISBY, J. C.; SUMMERS, J. D. Energy-related data for select implements. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 22, n. 5, p. 1010-1011, Sept./Oct. 1979.

GAMERO, C. A.; BENEZ, S. H.; FURLANI JUNIOR, J. A. Análise do consumo de combustível e da capacidade de campo de diferentes sistemas de preparo periódico do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 15., 1986, São Paulo. **Anais..** São Paulo: SBEA, 1986. p. 1-9.

GILL, W. R.; VANDEN BERG, G. E. **Soil dynamics in tillage and traction**. Washington: USA, 1968. 511 p. (Agricultural Handbook, 316).

GOMES, A. da S.; PAULETTO, E. A.; VERNETTI JUNIOR, F de J.; SOUSA, R. O. de. Plantio direto e cultivo mínimo em arroz irrigado. In: GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. M. de (Ed.). **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 349-386.

GROHMANN, F.; QUEIROZ NETO, J. P. de. Efeito da compactação artificial de dois solos limo-argilosos sobre a penetração das raízes de arroz. **Bragantia**, Campinas, v. 25, n. 38, p. 421-431, dez. 1966.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro: II: efeito sobre o desenvolvimento radicular e da parte aérea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 213-218, maio/ago. 2002.

GUMBS, F. A.; SUMMERS, D. Effect of different tillage methods on fuel consumption and yield of maize. **Tropical Agriculture**, Trinidad, v. 62, n. 3, p. 185-189, 1985.

HOOGMOED, W. B.; DERPSCH, R. Chisel plowing as an alternative tillage system in Parana, Brasil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 6, n. 1, p. 53-67, Sept. 1985.

KLUTHCOUSKY, J., AIDAR, H.; THUNG, M., OLIVEIRA, I. P. de. Efeito do manejo do solo sobre algumas de suas propriedades físicas, enraizamento e rendimento do arroz de terras altas. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ 1.; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ. 7., 2002, Florianópolis. **Anais...** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 343-345. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 134).

MAZUCHOWSKI, J. Z.; DERPSCH, R. **Guia de preparo do solo para culturas anuais mecanizadas**. Curitiba: ACARPA, 1984. 68 p.



MICHEL JUNIOR, J. A.; FORNSTROM, K. J.; BORRELLI, J. Energy requirements of two tillage systems for irrigated sugarbeets, dry beans and corn. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 28, n. 6, p. 1731-1735, Nov./Dec. 1985.

MOREIRA, J. A. A. Alterações nas características físicas de latossolo vermelho-escuro (LE) causadas pelo preparo do solo. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 3., 1987, Goiânia. **Resumos...** Brasília, DF: EMBRAPA-DDT, 1987a. p. 102. (EMBRAPA-CNPAF. Documentos, 19).

MOREIRA, J. A. A. **Caracterização dos solos do CNPAF**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 1987b. 22 p.(EMBRAPA. PNP Feijão. Projeto 002.83.067/7). Relatório final.

MOREIRA, J. A. A.; RAISSAC, M. M. de. Efeito do preparo do solo na alimentação hídrica do arroz de sequeiro, cultivado em latossolo vermelho-escuro(LE) de Goiânia, GO. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 4., 1990, Goiânia. **Resumos...** Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 1990. p. 77. (EMBRAPA-CNPAF. Documentos, 26).

MOREIRA, J. A. A.; CORREA, J. R.; MONCAIO, R. A. Efeito da compactação do solo nas relações de porosidade e retenção de água de dois latossolos do Estado de Goiás. In: CONGRESSO BRASILEIRO E ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DO SOLO, 7., 1988, João Pessoa. **Programa e resumos...** João Pessoa: UFPb, 1988. p. 87.

MOREIRA, J. A. A. ; STONE, L. F.; DOUZET, J. M. Influência do preparo e cobertura do solo nas características físicas-hídricas de um Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32., 2003, Goiânia. **Novas fronteiras: desafios para a engenharia agrícola: anais**. Goiânia: SBEA, 2003. 1 CD-ROM.

RAISSAC, M. M. de ; MOREIRA, J.A.A. **Influência do preparo do solo sobre o desenvolvimento da planta, o uso da água e a produção**: relatório de atividades 86/87. Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 1987a. Não paginado.

RAISSAC, M. M. de; MOREIRA, J. A. A. Agrophysiologye du riz pluvial. In: IRAT (França). **Rapport annuel du projet de cooperation riz pluvial**: 1984-1985. Paris: IRAT, 1987b. Não paginado.

ROBERTSON, L. S.; ERICKSON, A. E.; HANSEN, C. M. **Tillage systems for Michigan soils and crops**. Part I: deep, primary, supplemental and no-till. East Lansing: Michigan Agricultural Experimental Station, 1977. 8 p. (Bulletin, E-104).

ROTH, C. H.; MEYER, B.; FREDE, H. G.; DERPSCH, R. Effect of mulch rates and tillage systems on infiltrability and other soil physical properties of an oxisol in Paraná, Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 11, n. 1, p. 81-91, Feb. 1988.

SANTOS, A. B. dos ; SILVA, O. F. da; FERREIRA, E. Avaliação de práticas culturais em um sistema agrícola irrigado por aspersão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 32, n. 3, p. 317-327, mar. 1997.

SEGUY, L.; KLUTHCOUSKI, J.; SILVA, J. G. da.; BLUMENSCHIEIN, F. N.; DALL'ACQUA, F. M. **Técnicas de preparo do solo**: efeitos na fertilidade e na conservação do solo, nas ervas daninhas e na conservação de água. Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 1984. 26 p. (EMBRAPA-CNPAF. Circular Técnica,17).

SILVA, S. C. da; MOREIRA, J. A. A. Alterações nas características físicas de latossolo vermelho-amarelo (LV) submetido ao preparo do solo. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 3., 1987, Goiânia. **Resumos...** Brasília, DF: EMBRAPA-DDT, 1987. p. 106. (EMBRAPA-CNPAF. Documentos, 19).



SILVEIRA, P. M.; da SILVA, S. C.; SILVA, O. F. da; DAMACENO, M. A. Estudo de sistemas agrícolas irrigados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 29, n. 8, p. 1243-1252, ago. 1994.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Resposta do arroz de sequeiro à profundidade de aração, adubação potássica e condições hídricas do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 31, n. 12, p. 885-895, dez. 1996.

STONE, L. F.; SANTOS, A. B. dos; STEINMETZ, S. Influência de práticas culturais na capacidade de retenção de água do solo e no rendimento do arroz-de-sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 15, n. 1, p. 63-68, jan. 1980.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da; ZIMMERMANN, F. J. P. Características físico-hídricas e químicas de um latossolo após adubação e cultivos sucessivos de arroz e feijão, sob irrigação por aspersão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, n. 3, p. 533-539, set./dez. 1994.

SUMNER, H. R.; HELLWIG, R. E.; MONROE, G. E. Measuring implement power requirements from tractor fuel consumption. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 29, n. 1, p. 85-89, Jan./Feb. 1986.

SUMMERS, J. D.; KHALILIAN, A.; BATCHELDER, D. G. Draft relationships for primary tillage in Oklahoma soils. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 29, n. 1, p. 37-39, Jan./Feb. 1986.

WILLCOCKS, T. J. Tillage requirements in relation to soil type in semi-arid rainfed agriculture. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 30, n. 4, p. 327-336, 1984.

WU, Z.; KJELGAARD, W. L.; PERSSON, S. P. E. Machine width for time and fuel efficiency. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 29, n. 6, p. 1508-1513, Nov./Dec. 1986.

