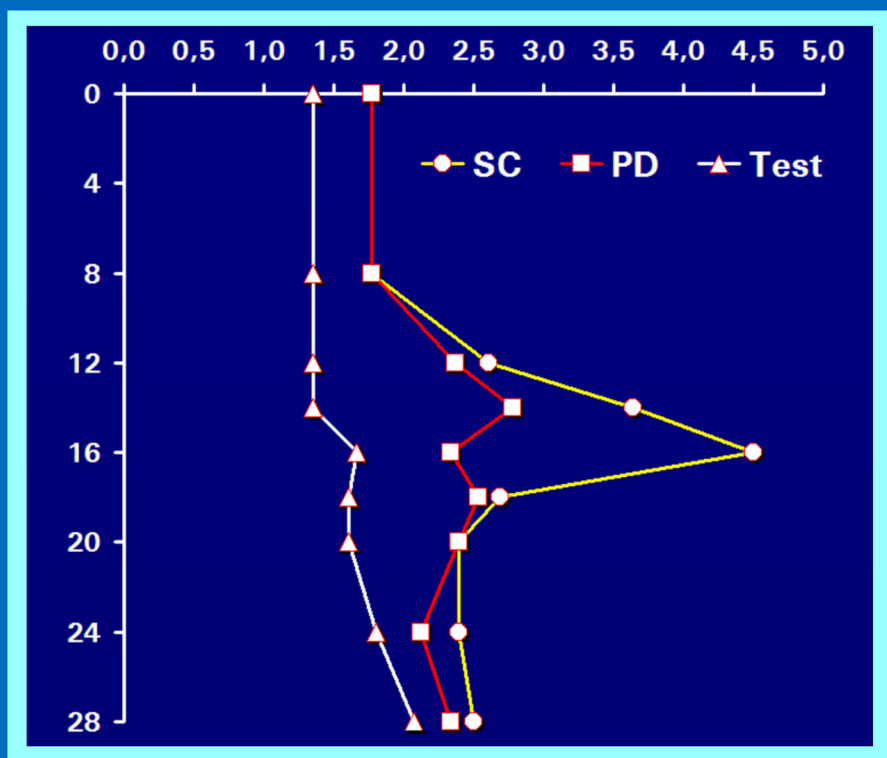


Caracterização de indicadores da qualidade do solo, com ênfase às áreas de várzea do Rio Grande do Sul





*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1806-9193

Dezembro 2006

versão
ON LINE

Documentos 169

Caracterização de Indicadores da Qualidade do Solo, com Ên- fase às Áreas de Várzea do Rio Grande do Sul

Algenor da Silva Gomes
Cláudio Alberto Souza da Silva
José Maria Barbat Parfitt
Eloy Antonio Pauletto
Luiz Fernando Spinelli Pinto

Pelotas, RS
2006

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Clima Temperado
Endereço: BR 392 km 78
Caixa Postal 403 - Pelotas, RS
Fone: (53) 3275 8199
Fax: (53) 3275 8219 - 3275 8221
Home page: www.cpact.embrapa.br
E-mail: sac@cpact.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Walkyria Bueno Scivittaro
Secretária-Executiva: Joseane M. Lopes Garcia
Membros: Cláudio Alberto Souza da Silva, Lígia Margareth Cantarelli Pegoraro, Isabel Helena Vernetti Azambuja, Cláudio José da Silva Freire, Luís Antônio Suita de Castro, Sadi Macedo Sapper, Regina das Graças V. dos Santos
Suplentes: Daniela Lopes Leite e Luís Eduardo Corrêa Antunes

Revisores de texto: Sadi Macedo Sapper/Ana Luiza Barragana Viegas
Normalização bibliográfica: Regina das Graças Vasconcelos dos Santos
Editoração eletrônica e capa: Sérgio Ilmar Vergara dos Santos

1ª edição
1ª impressão 2006: 200 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).

Caracterização de indicadores da qualidade do solo, com ênfase às áreas de várzea do Rio Grande do Sul / Algenor da Silva Gomes ... [et al.]. – Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006.
40p. — (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 169).

ISSN 1516-8840

Arroz irrigado - Solo - Várzea - Qualidade - Rio Grande do Sul . I.
Gomes, A . da S. II. Título. III. Série.

CDD 633.18

Autores

Algenor da Silva Gomes
Eng. Agrôn., MSc. Pesquisador
Manejo do Solo/Física do Solo
Embrapa Clima Temperado
BR 392, km 78 Caixa Postal 403
96001-970 Pelotas, RS
E-mail: algenor@cpact.embrapa.br

Cláudio Alberto Souza da Silva
Eng. Agrôn., MSc. Pesquisador
Irrigação e Drenagem
Embrapa Clima Temperado
Caixa Postal 403
96001-970 Pelotas, RS
E-mail: claudio@cpact.embrapa.br

José Maria Barbat Parfitt
Eng. Agrôn., MSc. Pesquisador
Irrigação e Drenagem
Embrapa Clima Temperado
Caixa Postal 403
96001-970 Pelotas, RS
E-mail: parfitt@cpact.embrapa.br

Eloy Antonio Pauletto
Professor, Dr.
Física do solo
Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” – UFPel
Caixa Postal 354
96001-970 Pelotas, Rs
E-mail: pauletto@ufpel.tche.br

Luiz Fernando Spinelli Pinto
Professor, Dr.
Gênese, Morfologia e Classificação de Solos
Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” – UFPel
Caixa Postal 354
96001-970 Pelotas, Rs
E-mail: lfspin@ufpel.tche.br

Apresentação

Os solos de várzea no Rio Grande do Sul ocupam área de aproximadamente 5,4 milhões de hectares, o que representa 20% da área do Estado. Nestes solos, há mais de um século, vem sendo exercido o monocultivo do arroz irrigado, associado à pecuária de corte. Este sistema produtivo tem concorrido para reduzir a capacidade produtiva destes solos.

O uso de rotação de culturas, no sistema de cultivo plantio direto, vem sendo indicado como uma alternativa capaz não só de contribuir para a melhoria e manutenção da capacidade produtivas dos solos de várzea do RS, como também melhorar e manter a sustentabilidade do sistema produtivo da cultura do arroz irrigado.

A adoção da rotação de culturas em áreas de várzea requer por parte dos produtores (orizicultores) um conhecimento diversificado sobre técnicas de manejo do solo. De modo geral, os solos de várzea podem ser considerados adequados, em sua maioria, para o cultivo do arroz irrigado, porém requerem manejos diferenciados para a exploração econômica de espécies de sequeiro.

A avaliação quantitativa da qualidade do solo é fundamental na determinação da adequação dos sistemas de manejo a serem utilizados, considerando-se o solo e a espécie a ser cultivada. Assim, o conhecimento de indicadores da qualidade de solo pode auxiliar os produtores na utilização racional das áreas de várzea com culturas de sequeiro, em rotação com arroz irrigado.

Este documento apresenta caracterização dos principais indicadores da qualidade do solo das áreas de várzea do RS, bem como alternativas tecnológicas capazes de contribuir para a melhoria destes indicadores e, conseqüentemente, da qualidade destes solos, viabilizando, desta forma, o seu cultivo com espécies de sequeiro, em rotação com arroz irrigado.

João Carlos Costa Gomes
Chefe-Geral
Embrapa Clima Temperado

Sumário

Caracterização de indicadores da qualidade do solo, com ênfase às áreas de várzea do Rio Grande do Sul.....	10
1. Características gerais dos principais solos de várzea do RS.....	10
2. A qualidade do solo.....	14
3. Indicadores da qualidade do solo.....	15
3.1. Compactação do solo.....	17
3.2. Estabilidade de agregados e encrostamento superficial do solo.....	24
3.3. Fertilidade do solo.....	25
3.4. Drenagem do solo.....	27
3.5. Capacidade de armazenamento de água disponível do solo.....	31
4. Influência do PD sobre indicadores da qualidade do solo.....	33
5. Bibliografia Consultada.....	37

Caracterização de Indicadores da Qualidade do Solo, com Ênfase às Áreas de Várzea do Rio Grande do Sul

Algenor da Silva Gomes
Cláudio Alberto Souza da Silva
José Maria Barbat Parfitt
Eloy Antonio Pauletto
Luiz Fernando Spinelli Pinto

1. Características gerais dos principais solos de várzea do RS

Os solos de várzea, encontrados nas planícies de rios, lagoas e lagoas, apresentam como característica comum à formação em condições variadas de deficiência de drenagem (hidromorfismo). Ocupam extensas áreas, em geral em baixas altitudes (0-200 m), com relevo variando de plano a suave ondulado, abrangendo aproximadamente 5,4 milhões de hectares, o que representa 20% da área total do Estado do Rio Grande do Sul (RS). São áreas mais ou menos contínuas, mecanizáveis e facilmente irrigadas. Estes solos são encontrados na região das Planícies Costeiras, Interna e Externa e no Litoral Sul, principalmente junto às Lagoas dos Patos e Mirim, nas planícies dos rios da Depressão Central, como os rios do Sinos, Taquari, Caí e Jacuí, e nas regiões da Campanha e Fronteira-Oeste, ao longo dos rios Ibicuí, Santa Maria, Quaraí e outros menores (Figura 1).

Os solos de várzea, em função da heterogeneidade do material de origem e dos diferentes graus de hidromorfismo, apresentam grande variação nas características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas, o que leva a serem agrupados em diferentes classes, com limitações e aptidões de uso diversas, podendo ser, conforme o tipo de solo, não adequados ao cultivo do

arroz irrigado. As principais classes em que estão incluídos os solos de várzea do RS, de acordo com o novo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 1999) encontram-se na Tabela 1. A classe dos Planossolos (incluídos Gleissolos associados) é a que apresenta a maior área (56%), seguindo-se, em ordem decrescente, as classes dos Chernossolos (16%), Neossolos (11,6%), Plintossolos (incluídos Luvisolos e Argissolos) (8,3%), Gleissolos (7,1%) e Vertissolos (9%).

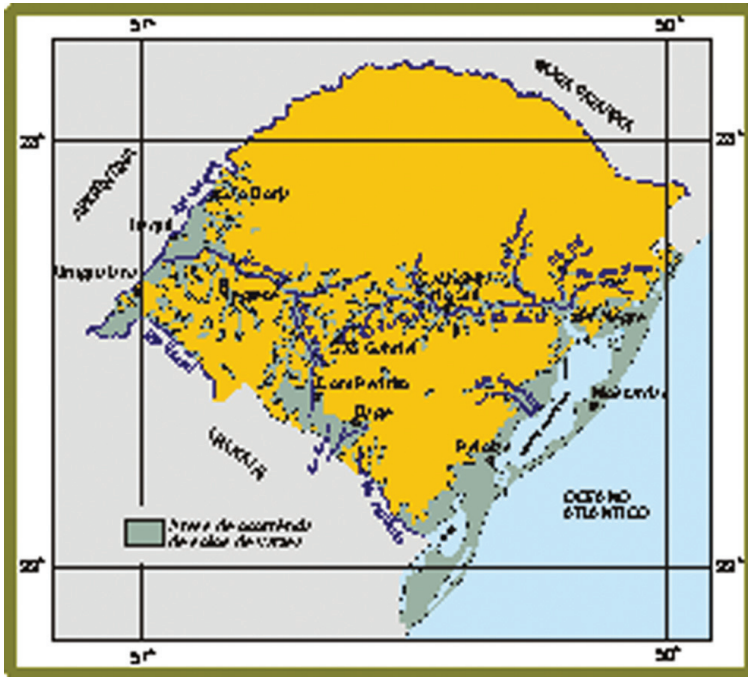


Fig.1. Áreas de ocorrência dos solos de várzea no Rio Grande do Sul.

Fonte: Pinto et al., 2004.

O manejo dos solos de várzea pode parecer simples em função da facilidade do uso de máquinas, da baixa suscetibilidade à erosão e das condições favoráveis à irrigação, uma vez que, na maioria dos casos, as áreas são planas, amplas e contínuas. O sistema de produção tradicional estabelecido nesses solos (arroz irrigado x pecuária de corte extensiva), notadamente no Estado do Rio Grande do Sul, tem enfrentado problemas de baixa rentabilidade, devido à alta infestação de plantas daninhas (arroz-vermelho e preto) e à necessidade de longos períodos de pousio. Essa realidade tem gerado, nos órgãos de pesquisa e no âmbito dos Governos, uma preocupação em viabilizar sistemas alternativos de produção,

como a utilização do plantio direto para o arroz irrigado, incluindo também o uso de rotação de culturas, ampliando, desta forma, as possibilidades de uso desses solos com culturas de sequeiro.

Características peculiares desses solos, como densidade naturalmente elevada, relação micro/macroporos muito alta e dificuldade de drenagem, motivada principalmente pela presença de uma camada subsuperficial praticamente impermeável, tornam seu manejo de extrema complexidade, sendo essas características acentuadas pelo preparo do solo realizado em condições de umidade excessiva. Até um determinado ponto, essas condições podem ser consideradas favoráveis para o cultivo com arroz irrigado, por reduzir as perdas de água e de nutrientes, porém são restritivas ao desenvolvimento do sistema radicular das culturas de sequeiro, podendo, em casos extremos de compactação, serem prejudiciais mesmo para o arroz irrigado.

Tabela 1. Principais classes de Solos de várzea do Rio Grande do Sul e suas áreas absolutas e relativas.

Classe ^(1,2)	Unidade de Mapeamento ^(2,3,4)	Área ⁽³⁾ (ha)	Estado (%)	Várzea (%)
Planossolo Hidromórfico	Vacacai, Pelotas e Pelotas/Formiga ⁽³⁾ , Pelotas/Lagoa e Pelotas/Guaíba, Mangueira (parte)	1.683.500	6,23	31,19
Planossolo Háptico	São Gabriel e São Gabriel/Alto das canas, Bagé	237.500	0,88	4,40
		183.500	0,68	3,40
Gleissolo Háptico	Banhado	263.500	0,98	4,88
Gleissolo Melânico	Colégio, Itapeva, Taim, Taim/Mangueira	117.400	0,43	2,17
Chermossolo Ebânico	Uruguaiana	269.500	1,00	4,99
Chermossolo Argilúvico	Formiga e Formiga/Banhado Ponche Verde	136.500	0,51	2,53
		238.000	0,88	4,41
Chermossolo Háptico	Vila	226.000	0,84	4,19
Vertissolo Ebânico	Escobar	51.000	0,19	0,94
Plintossolo Argilúvico	Durasnal Parte Virginia (Luvissolo Crômico), Parte Tuia (Argissolo Vermelho-Amarelo)	25.000	0,09	0,46
		246.000	0,91	4,56
		179.500	0,66	3,33
Neossolo Quartzarênico Hidromórfico	Lagoa e Lagoa/Taim/Mangueira Curumim e Curumim/Itapeva	156.000	0,58	2,89
		183.000	0,68	3,39
Neossolo Quartzarênico Órtico	Osofio Ibicuí	140.000	0,52	2,59
		48.500	0,18	0,90
Neossolo Flúvico	Guaíba	96.000	0,36	1,78
Total		5.398.400	20,00	100,00

Fonte: ⁽¹⁾ Embrapa (1999), ⁽²⁾ Streck et al. (1999), ⁽³⁾ Brasil (1973) e ⁽⁴⁾ IBGE (1986). ⁵⁾ Unidades de mapeamento unidas por “/” significa associação.

2. A qualidade do solo

O enfoque sobre qualidade do solo vem despertando um crescente interesse, principalmente a partir do lançamento, em 1993, do livro "Soil and water quality: an agenda for agriculture", pelo "Board on Agriculture of the National Research Council" dos Estados Unidos da América, onde é enfatizado que a mesma é tão importante como a qualidade do ar e da água na determinação da qualidade global do ambiente em que vivemos. A qualidade do solo tem efeitos profundos na saúde e na produtividade de um determinado ecossistema e nos ambientes a ele relacionados. Todavia, diferentemente do ar e da água, para os quais existem padrões de qualidade, a definição e quantificação da qualidade do solo não é simples em decorrência da complexidade dos fatores envolvidos e de não ser o solo consumido diretamente pelo homem e animais. A qualidade do solo é aceita, freqüentemente, como uma característica abstrata que depende, além de seus atributos intrínsecos, de fatores externos, como as práticas de uso e manejo, de interações com o ecossistema e das prioridades socioeconômicas e políticas.

O conceito do que seja um solo com qualidade depende das prioridades previamente estabelecidas. Contudo, deve levar em consideração a sua funcionalidade múltipla para não comprometer, no futuro, o desempenho de algumas de suas funções. Assim, um determinado tipo de solo pode ser considerado com boa qualidade quando apresentar a capacidade, dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, de manter a produtividade e a biodiversidade vegetal e animal, melhorar a qualidade do ar e da água e permitir a habitação e a saúde humana.

A avaliação quantitativa da qualidade do solo é fundamental na determinação da sustentabilidade dos sistemas de manejo utilizados. A determinação de indicadores de qualidade de solo se faz necessária para possibilitar a identificação de áreas problemáticas utilizadas na produção, fazer estimativas realistas de produtividade, monitorar mudanças na qualidade ambiental e auxiliar agências governamentais a formular e avaliar políticas agrícolas de uso da terra.

A identificação eficiente de indicadores apropriados para avaliar a qualidade do solo depende da habilidade em considerar os componentes múltiplos que determinam a sua capacidade em desempenhar suas funções, como a produtividade e o bem-estar ambiental. Esta identificação é dificultada pela multiplicidade dos atributos físicos, químicos e biológicos, que controlam a intensidade dos processos biogeoquímicos e suas variações temporais e

espaciais.

A escolha de indicadores de qualidade dos ecossistemas está baseada no modelo da prática da medicina humana e animal, que segue uma sucessão de passos, como a identificação dos sintomas, medida dos sinais vitais, realização de um diagnóstico provisório, aplicação de testes para comprovação do diagnóstico, prognóstico e prescrição do tratamento. Esta analogia possibilitou que um conjunto de atributos do solo fosse relacionado e adotado para avaliar a sua qualidade, unificando metodologias e procedimentos estabelecidos anteriormente para avaliar mudanças na capacidade produtiva deste recurso natural.

Embora em países como os Estados Unidos da América já existam testes elaborados com vistas à análise da qualidade do solo, é consenso que existe uma carência de conhecimento sobre quais sejam os melhores ou mais práticos indicadores para atender este objetivo. Esta falta de conhecimento, normalmente, está refletida na pergunta comumente realizada por produtores, pesquisadores e extensionistas daquele país, onde é questionado: que medidas deveriam ser tomadas para avaliar os efeitos do manejo do solo sobre sua qualidade atual e futura?. De outro modo, na maioria das vezes, os pesquisadores direcionam seus interesses e esforços para as disciplinas em que estão inseridos. Sempre que possível, as avaliações de qualidade não devem ser reducionistas e sim holísticas e úteis na identificação de sistemas que preservem o recurso solo e satisfaçam às necessidades do produtor ao longo do tempo.

3. Indicadores da qualidade do solo

Podem ser categorizados, de um modo geral, em quatro grupos; visuais, físicos, químicos e biológicos. Embora esta divisão em grupos seja usual, é importante salientar que estes atributos e processos, em sua maioria, são inter-relacionados. Os melhores indicadores da qualidade do solo são aqueles que integram os efeitos combinados de diversos atributos ou processo do solo, os quais devem ser precisos, simples para o uso e terem sentido, ou seja, devem estar associados à função para a qual se pretende usar o solo. Necessitam, para que possam ser usados com eficiência, de padrões ou valores críticos. Portanto, um bom indicador deve ser de fácil medida, respondendo às mudanças propostas, estar relacionado com os requerimentos de qualidade do solo, e ter um limite claro entre o que é sustentável e não sustentável.

Os indicadores visuais podem ser obtidos a partir da interpretação de fotografias aéreas. Ou através de observações diretas, como a exposição do subsolo,

mudança de cor do solo, escoamento superficial, resposta da planta, espécies de plantas daninhas predominantes, entre outras. Evidências visuais podem ser indicadores claros de que a qualidade do solo está ameaçada ou passando por alterações.

Os indicadores físicos estão relacionados ao arranjo das partículas e do espaço poroso do solo, incluindo densidade, porosidade, estabilidade de agregados, textura, encrustamento superficial, compactação, condutividade hidráulica e capacidade de armazenagem de água disponível. Refletem primariamente limitações ao crescimento radicular, à emergência das plântulas, à infiltração e ou movimento da água no interior do perfil do solo e à disponibilidade de água às plantas.

O pH, salinidade, capacidade de troca de cátions, capacidade de suprimento de nutrientes às plantas, concentrações de elementos que podem ser potencialmente contaminantes (metais pesados, compostos radioativos, etc.) ou necessários para o crescimento e desenvolvimento das plantas são considerados indicadores químicos. As condições químicas do solo afetam as relações solo-planta, a qualidade da água, o poder tampão, a disponibilidade de nutrientes e de água para as plantas e outros organismos, mobilidade de contaminantes e algumas condições físicas, como a tendência de formação de crostas superficiais.

Entre os indicadores biológicos estão incluídos a matéria orgânica, a diversidade de espécies, a massa microbiológica, o nível de respiração do solo, o que possibilita avaliar a atividade microbiológica. O ergosterol, por exemplo, um bioproduto de origem fúngica, tem papel importante na formação e estabilidade de agregados do solo. Populações de minhocas e nematóides têm sido utilizadas como indicadores biológicos. Medidas da velocidade de decomposição de resíduos de plantas em embalagens especiais ou o número de plantas daninhas, também são indicadores da qualidade do solo.

Estabelecendo-se uma relação entre os indicadores de qualidade e os solos de várzea desenvolvidos no RS, pode-se inferir que, embora, de modo geral, estes apresentem originalmente condições favoráveis (qualidade inerente) para o desenvolvimento da cultura do arroz irrigado, como baixa condutividade hidráulica na camada subsuperficial, superfície plana a suave ondulada, baixa profundidade efetiva, atualmente, uma expressiva área onde estes solos ocorrem encontra-se comprometida, principalmente pelo alto nível de infestação com plantas daninhas, o que vem concorrendo para reduções significativas de produtividade do arroz irrigado.

Além disso, as condições manifestadas pelos solos de várzea do RS, notadamente as físicas, se mostram desfavoráveis ao desenvolvimento de culturas de sequeiro. Estes solos apresentam baixa porosidade total, com predomínio de microporos, camadas compactadas próximas à superfície, baixa estabilidade de agregados e tendência à formação de encrostamento superficial. Estas características fazem com que estes solos sejam mal drenados e apresentem baixa velocidade de infiltração. Em decorrência, pode-se afirmar que eles não manifestam qualidade adequada para o cultivo de espécies de sequeiro, como o milho, a soja, o sorgo e o trigo, entre outras. Todavia, o uso de um conjunto de práticas de manejo mais apropriado tem melhorado a qualidade destes solos (qualidade dinâmica), que associada a genótipos mais adaptados ao excesso de água tem viabilizado, tecnicamente o cultivo de espécies mesófitas.

A seguir será realizada uma abordagem sucinta daqueles indicadores da qualidade do solo, considerando o cultivo de culturas alternativas ao arroz irrigado, em áreas de várzea do RS, que devem ser avaliados e monitorados, bem como de práticas de manejo que, se adotadas, podem contribuir para a melhoria da capacidade produtiva destes solos.

3.1. Compactação do solo

A compactação refere-se à redução de volume do solo em decorrência de um rearranjo mais denso de suas partículas, o que ocasiona uma diminuição do espaço poroso entre elas (aumento de sólidos por unidade de volume). A compactação ocorre em resposta a pressões (peso por unidade de área), como as exercidas pelo tráfego de máquinas e implementos agrícolas e pelo pisoteio causado por animais. O risco de desenvolverem-se camadas compactadas no solo é maior quando este for trabalhado úmido. Do mesmo modo, quanto mais pesadas forem as máquinas e implementos agrícolas e quanto mais intensamente o solo for usado (práticas de manejo, colheita, pastejo), maior será o risco de compactação. Atributos relacionados ao solo, como textura, teores de argila, água e matéria orgânica e tipo de argila também podem condicionar maior ou menor predisposição à compactação. Solos arenosos compactam mais facilmente, por exemplo, que solos argilosos.

A compactação restringe o crescimento das raízes em profundidade, reduzindo, em consequência, a absorção de água e de nutrientes pelas plantas. A redução do espaço poroso do solo (menor porosidade total), em consequência da compactação, também concorre para reduzir a capacidade de aeração e a condutividade hidráulica do solo, aumentando as dificuldades de drenagem,

aumentar a resistência à penetração das raízes, elevar a disponibilidade e o fluxo de água e calor, reduzir a velocidade de infiltração, aumentando assim o escoamento superficial e os riscos de erosão.

A identificação da compactação a campo pode ser realizada por meio de sinais apresentados pelo solo ou pelas plantas. Entre os relacionados ao solo destacam-se a formação de crostas superficiais, trincas nos sulcos de rodagem dos tratores, camadas subsuperficiais ou regiões endurecidas, empoçamento prolongado de água, erosão pluvial excessiva, necessidade de maior potência nas máquinas de cultivo e presença de restos de cultura parcialmente decompostos, mesmo meses após a incorporação. Os sintomas visuais, manifestados com maior frequência pelas plantas desenvolvidas em solos compactados são: o baixo índice de emergência, a grande variação no tamanho das plântulas, folhas amareladas e sistema radicular pouco profundo, com raízes mal formadas. Estes sintomas, assim como aqueles relacionados ao solo, permitem estimar a compactação, de uma maneira prática, rápida e fácil.

Já, a quantificação da compactação do solo pode ser realizada por meio da medida de atributos deste que sofrem alterações em decorrência deste fenômeno, como a densidade, a porosidade total, a distribuição dos poros por tamanho e a resistência mecânica à penetração, entre outros. Também pode ser quantificada a partir da avaliação de processos, como a infiltração, a condutividade hidráulica e a difusão dos gases. Embora diferentes parâmetros possam ser utilizados para quantificar a compactação do solo, os mais usados, na prática, são a densidade do solo e a resistência mecânica à penetração. O primeiro é obtido em análises de laboratório, enquanto que o último é um método de campo para determinação no local onde se quer avaliar a ocorrência da compactação. Atualmente, este método também vem sendo realizado em laboratório (Gomes & Pauletto, 1999).

A densidade do solo, também denominada de densidade aparente ou densidade global, expressa a relação entre a massa seca das suas partículas (M_s) e o seu volume total (V_t), incluindo o volume dos sólidos e o volume dos poros ($V_t = V_{\text{sólidos}} + V_{\text{água}} + V_{\text{ar}}$). Assim, a partir deste conceito, a densidade do solo pode ser expressa do seguinte modo:

$$D_{\text{solo}} = M_s V_t^{-1}$$

Onde: (D_{solo}) - Densidade do solo, em g cm^{-3} ;

(M_s) - Massa seca total, em g;

(V_t) - Volume total, em cm^3 .

A densidade do solo é um atributo físico que reflete o arranjo das suas partículas, que por sua vez determina as características do espaço poroso. Assim, todas as manifestações que influenciam a disposição das partículas no solo afetarão os valores de sua densidade. A variação deste atributo, para solo não expansivo, está associada principalmente à textura. Segundo Camargo & Alleoni (1997), valores de densidade acima de $1,85 \text{ Mg m}^{-3}$ para solos arenosos e franco-arenosos, e superiores a $1,55 \text{ Mg m}^{-3}$ para solos franco-argilosos e argilosos, são restritivos ao crescimento radicular de culturas de sequeiro.

A resistência mecânica à penetração é uma expressão utilizada para descrever a resistência física que o solo oferece a algo que tenta mover-se através dele, como um implemento de cultivo ou uma raiz em crescimento. Esta resistência tende a aumentar com a compactação do solo, apresentando, a partir de determinados limites (maior que 2,5 MPa), restrições ao crescimento radicular das plantas (Camargo & Alleoni, 1997). Normalmente, é avaliada a partir da resistência que este oferece à inserção de um instrumento de sondagem denominado penetrômetro. Esta resistência é conhecida como Índice do Cone (IC), e serve como um indicador secundário da compactação, em uma condição específica do solo, visto ser afetada por muitos fatores, como a densidade, a textura, o tipo de mineral de argila e, fundamentalmente, pelo seu estado de umidade.

A manifestação da resistência mecânica do solo à penetração é inversamente relacionada ao seu teor de água, e diretamente à densidade. Estes fatores manifestam também uma ação interativa sobre a resistência (compactação). Em solos com densidades maiores, reduções mínimas no teor de água dos mesmos provocam aumentos de resistência maiores do que naqueles com densidades menores (Figura 2).

Em solos de várzea, as camadas compactadas são encontradas principalmente em solos cultivados com arroz irrigado. Nesse tipo de cultivo, essa condição pode ser favorável por reduzir perdas de água e nutrientes por percolação. Entretanto, pode ser prejudicial quando há necessidade de lixiviar substâncias tóxicas. No RS, a compactação de solos cultivados com arroz irrigado vem merecendo atenção da pesquisa em função da possibilidade do uso mais expressivo das várzeas com culturas de sequeiro, dentro de um programa que visa a adoção de rotação de culturas com o arroz irrigado objetivando o controle do arroz daninho (arroz-vermelho e preto), o uso mais intensivo e racional destes solos, além do aumento de produtividade e de produção de espécies como o milho, a soja e o sorgo.

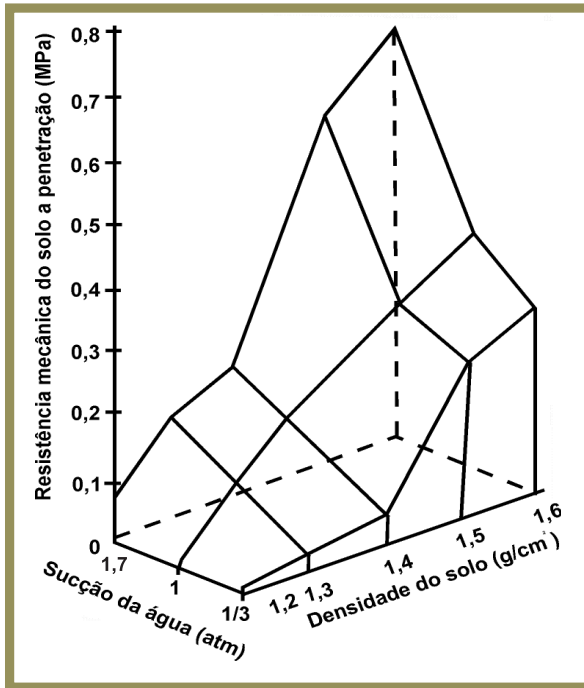


Fig. 2. Efeito da densidade e umidade do solo sobre a sua resistência mecânica à penetração.

Fonte: Cassel (1982).

Na Figura 3 é mostrado o grau de compactação de um solo de várzea do RS, cultivado por um período de oito safras agrícolas, com arroz irrigado em diferentes sistemas de manejo. A compactação foi quantificada a partir da avaliação da resistência mecânica do solo à penetração obtida pelo método do penetrômetro de impacto (Stolf, 1991). Os tratamentos que sofreram maior ação antrópica (T2, T3 e T5) foram os que apresentaram maior resistência à penetração, principalmente na camada entre 10 e 20 cm de profundidade. Esta resistência foi mais evidenciada no tratamento correspondente ao cultivo contínuo de arroz (T2), a qual é considerada restritiva ao crescimento de culturas de sequeiro, considerando-se os limites de classes de resistência de solos à penetração e os graus de limitações ao crescimento das raízes, segundo

Canarache (1990), apresentados por Camargo & Alleoni (1997). O plantio direto de arroz sob cobertura de azevém (T4) foi o tratamento, à exceção da testemunha (T6), que na camada de 10 a 20 cm, manifestou os menores valores de compactação, indicando o favorecimento desse sistema na estruturação do solo. Por sua vez, a testemunha (T6) foi a que apresentou os menores valores de resistência à penetração (Fig. 3) em toda a profundidade avaliada do perfil, o que deve estar associado, além da ausência de cultivo, aos maiores teores de água observados no solo onde este tratamento foi conduzido, quando da avaliação de resistência.

A maior resistência à penetração, apresentada pelo solo, na camada de 10 a 20 cm de profundidade, quando submetido ao cultivo contínuo do arroz pelo sistema convencional (T2) está associada aos maiores valores de sua densidade, obtidos pela técnica da tomografia computadorizada, apresentados na mesma camada pelo tratamento T2, como é mostrado na Figura 4. Esses valores elevados de densidade, provavelmente, decorram da própria mobilização do solo e do trânsito de máquinas agrícolas. Verifica-se, ainda, na Figura 4, que o tratamento rotação de culturas (T3) apresenta valores mais elevados de densidade que os tratamentos que envolveram PD (T4 e T5), demonstrando que o efeito da rotação de culturas na melhoria da estrutura do solo fica prejudicado quando o preparo do mesmo é feito de forma convencional.

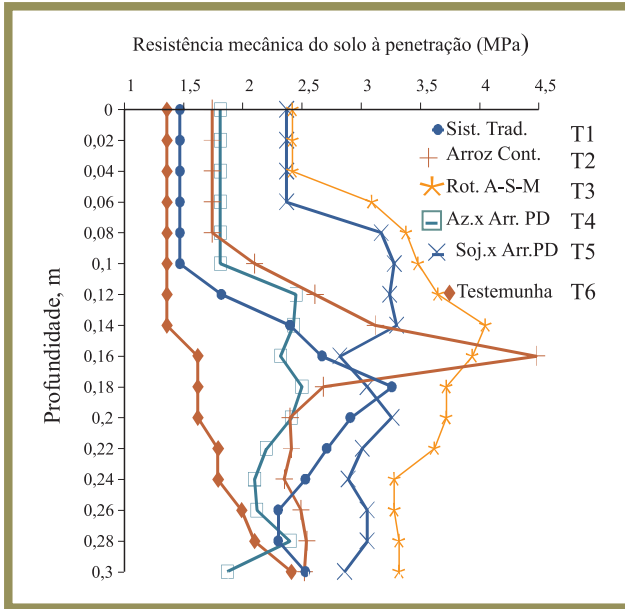


Fig. 3. Resistência mecânica à penetração (MPa), ao longo do perfil de um solo de várzea do RS, cultivado com arroz irrigado e outras culturas em diferentes sistemas de manejo.

T1 Sistema tradicional de cultivo de arroz; T2 Sistema de cultivo contínuo de arroz; T3 - Sistema tradicional de cultivo de arroz x rotação de culturas; T4 Sucessão de culturas: azevém (inverno) arroz em plantio direto (verão); T5 Sucessão de culturas: soja (sistema convencional) arroz (plantio direto); T6 Testemunha (solo sem cultivo há 10 anos).

Fonte: (Pedrotti, 2001).

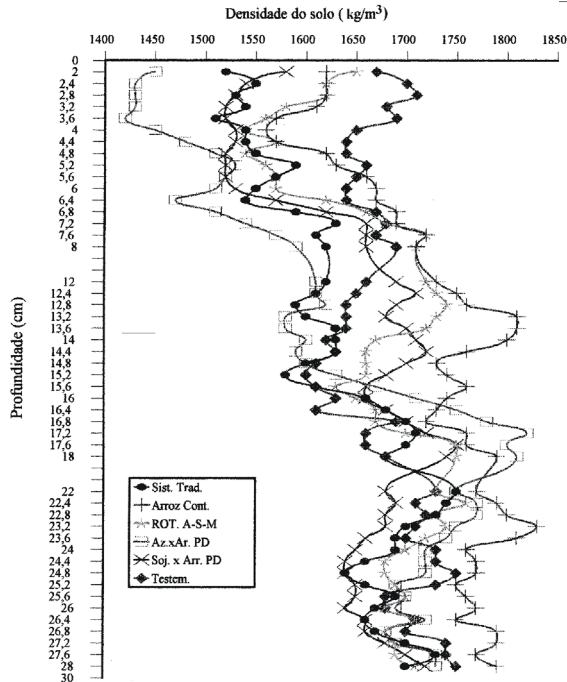


Fig. 4. Densidade do solo (kg m^{-3}), determinado pelo método da tomografia computadorizada, ao longo do perfil de um solo de várzea do RS, cultivado com arroz irrigado em diferentes sistemas de manejo.
 Fonte: Pauletto et al. (1997).

A compactação do solo pode ser considerada como um dos principais fatores, de ordem física, responsável pelo insucesso da agricultura, seja por impedir o desenvolvimento radicular das culturas, ou por concorrer para a redução da infiltração da água no solo, aumentando o escoamento superficial e, em consequência, a sua erosão. Nas áreas de várzea, cultivadas com arroz irrigado no RS, para a adoção da rotação de culturas, prática indispensável para a sustentabilidade da lavoura de arroz, é de fundamental importância que a camada compactada seja eliminada, quando presente, o que pode ser realizado com a utilização de escarificadores e/ou subsoladores (Figura 5). Do mesmo modo, a matéria orgânica do solo, cujo incremento pode ser obtido com o tempo, por meio da constante cobertura do mesmo com restos vegetais, ou pela aplicação de materiais orgânicos ou adubação verde, promove a melhoria da sua estrutura, reduzindo a compactação.

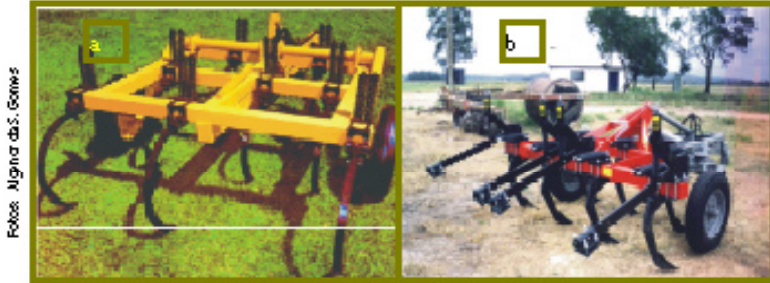


Foto: Mignora da S. Gomes

Fig. 5. Escarificador (a) e subsolador (b) empregados para eliminar camadas compactadas do solo.

3.2. Estabilidade de agregados e encrostamento superficial do solo

O conjunto de agregados do solo, resultante do arranjo das partículas primárias em unidades estruturais compostas, forma a estrutura do mesmo. Solos bem estruturados estão associados à presença de substâncias que promovem a formação e a estabilidade de agregados, como argilas, compostos orgânicos, carbonato de cálcio, óxidos de ferro e alumínio e, principalmente, da atividade microbológica e do teor de matéria orgânica neles contido. A estabilidade dos agregados do solo refere-se à habilidade destes resistirem à destruição quando submetidos a forças externas, normalmente associadas à água. Agregados com baixa estabilidade em água se desagregam rapidamente em função do impacto das gotas de chuva, provocando a obstrução dos poros do solo próximos à superfície e o seu encrostamento (Figura 6a), aumentando o escoamento superficial ou dificultando a emergência das plântulas (Figura 6b).

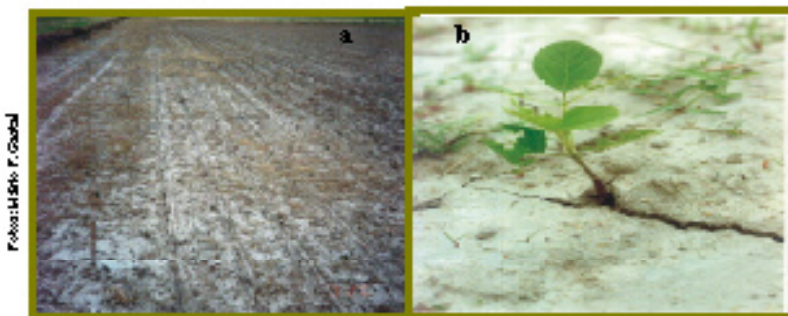


Foto: M. S. F. Gabriel

Fig. 6. Encrostamento superficial do solo (a) e resistência à emergência, em função do encrostamento (b).

Os solos de várzea do RS, em geral, apresentam baixa percentagem de macroagregados (diâmetro > 0,25 mm) estáveis em água, comparativamente aos solos de áreas altas, em decorrência, entre outros aspectos, da condição de hidromorfismo e dos baixos teores de matéria orgânica, o que concorrem para uma estrutura desfavorável às culturas de sequeiro. Para a melhoria da agregação e da estabilidade dos agregados destes solos deve-se considerar que as gramíneas, por exemplo, são, geralmente, mais eficientes do que as leguminosas, em promovê-los; o plantio direto, por sua vez, proporciona a formação de agregados de maior tamanho, quando comparado com o sistema convencional. Geralmente, sistemas de cultivo que envolvam resíduos vegetais em proporções adequadas na superfície e menor mobilidade do solo, como o plantio direto, proporcionam maiores percentagens de macroagregados (Figura 7) e melhor estruturação do solo.

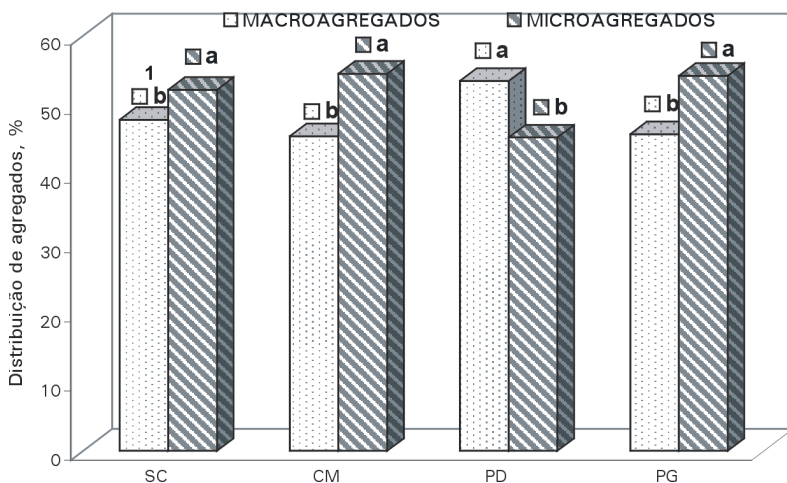


Fig. 7. Influência de sistemas de cultivo de arroz sobre os agregados (macro e micro) do solo. SC = Sistema convencional; CM = Cultivo mínimo, PD = Plantio direto; PG = Pré-germinado.

¹Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade.

Fonte: Lima (2001). Dados adaptados.

3.3. Fertilidade do solo

Os solos de várzea ou hidromórficos do RS apresentam fertilidade natural de baixa à moderada, sendo comum a baixa disponibilidade de fósforo e, na maior parte das áreas, a presença de níveis insuficientes de matéria orgânica, que se

pressupõem estarem diretamente relacionados à disponibilidade de nitrogênio, e a baixos valores de pH. Este nível de fertilidade requer, normalmente, a aplicação de fertilizantes para que as culturas de arroz irrigado e outras de sequeiro apresentem aumentos significativos de produtividade.

Normalmente, a cultura do arroz irrigado responde menos à adubação do que as culturas de sequeiro, mesmo em solos com teores semelhantes de nutrientes, indicados pela análise de solo. Na Tabela 2 é mostrado um exemplo, baseado nas recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo do Núcleo Regional Sul (NRS) da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS) para o RS e Santa Catarina, para um solo com teores de NPK na faixa mais baixa de disponibilidade. Nesta situação, pode ser observado que as recomendações de P e K para o arroz são em torno da metade daquelas recomendadas para as culturas de sequeiro. A recomendação de N também é menor para o arroz, embora a diferença em relação às culturas de sequeiro não seja tão grande.

Quando um solo é alagado, ocorre o processo de redução provocado pelos microrganismos anaeróbios, que utilizam outros compostos para oxidar a matéria orgânica (nitrogênio, enxofre, ferro, manganês), provocando uma série de alterações químicas no mesmo. Estas transformações favorecem a disponibilidade dos nutrientes no solo, tanto os naturais, quanto os contidos nos adubos, principalmente o fósforo, o potássio, o cálcio e o molibdênio.

Tais alterações também concorrem para a elevação do pH dos solos ácidos, para valores entre 6,0 e 6,5, e para a eliminação do alumínio trocável. Isto explica porque, de modo geral, o arroz irrigado sob inundações apresenta respostas menores do que as culturas de sequeiro à calagem e às adubações fosfatadas e potássicas, especialmente. Assim, é importante que no cultivo de espécies de sequeiro, em áreas de várzea, seja dada a devida atenção à adubação do solo.

Tabela 2. Recomendações de nitrogênio, fósforo e potássio para o arroz irrigado e algumas culturas de sequeiro para solos com teores limitantes de P e K e matéria orgânica menor que 20 g L⁻¹.

	Nitrogênio (N)	Fósforo (P₂O₅)	Potássio (K₂O)
	kg ha⁻¹		
Arroz*	90	75	70
Soja	---	110**	125
Milho	90	125**	110
Azevém	100-150	120**	120

*Semeadura no solo seco e expectativa de rendimento de 6 a 9 t ha⁻¹.

**Considerando solo de classe textural 3.

Fonte: SBSC/NRS (2005).

3.4. Drenagem do solo

As condições de drenagem dos solos de várzea do RS são variadas, predominando áreas com drenagem deficiente (Figura 8). Esta particularidade se deve à topografia predominantemente plana aliada às suas características físicas de alto adensamento, alta relação micro/macroporosidade (inadequada relação água/ar para a maioria das espécies de sequeiro) e, principalmente, condutividade hidráulica, quase nula, no horizonte B.

As áreas de várzeas, normalmente, já possuem infra-estrutura para o arroz irrigado (drenos, canais de irrigação etc.). Entretanto, tendo em vista a maior exigência em drenagem para as culturas de sequeiro, essa estrutura deve ser melhorada. A drenagem - processo de remoção do excesso de água da superfície do solo e/ou do subsolo - possui duas formas básicas: drenagem superficial, que é a remoção do excesso de água da superfície do solo para torná-lo adequado ao aproveitamento agrícola, e drenagem subsuperficial ou subterrânea, que remove o excesso de água do perfil do solo, com a finalidade de propiciar condições favoráveis de umidade, aeração e manejo. Esta última é ineficiente na maioria dos solos de várzeas do Rio Grande do Sul, devido às características de solo acima citadas. É pela melhoria da drenagem superficial que se pode dar melhores condições aos cultivos agrícolas neste ecossistema. Com o uso de práticas e/ou técnicas agrícolas, que foram estudadas e adaptadas aos solos de várzeas na região sul do Rio Grande do Sul (RS) pela Embrapa Clima Temperado, pode-se tornar a drenagem superficial destes solos eficiente, possibilitando um sistema produtivo diversificado, técnico e economicamente viável, em tais áreas.



Fig. 8. Caracterização da drenagem natural deficiente em solos de várzea do RS.

Os sistemas de drenagem superficial, independentemente das práticas agrícolas e de engenharia empregadas, têm como base a drenagem natural do solo, ou seja, o encaminhamento e escoamento natural das águas, ditados pelas condições topográficas do terreno. A drenagem superficial pode ser classificada em sistema natural, sistema com alteração na conformação da superfície do terreno, ou, ainda, a combinação destes. Em ambos os casos, a prática básica utilizada é a abertura de drenos rasos, comumente chamados de valetamento da lavoura.

Todo o terreno, mesmo os de topografia extremamente plana, possui o seu sistema natural de drenagem superficial. No entanto, para a maioria dos solos de várzea existe a necessidade de uma melhoria do sistema. Nas áreas com declives mais acentuados, também chamadas de áreas de várzeas dobradas, com depressões fundas e/ou largas ou em grande quantidade, o que as tornam difíceis de serem aterradas utilizando o aplainamento, o sistema natural deve ser melhorado ligando-se as depressões por meio de drenos de parcela (valetamento – Figura 9), que conduzam as águas até os drenos coletores (macro drenagem – Figura 9). Dependendo do número de depressões (áreas-problema) e da diferença de cotas destas em relação às áreas circundantes, o sistema poderá exigir um número maior ou menor de drenos, bem como ter sua profundidade efetiva variável. A locação dos drenos deve ser feita com base em um estudo prévio das condições topográficas do terreno (estudo visual). Uma

maneira prática de se realizar este estudo é observar, no campo, a disposição das taipas utilizadas para a irrigação do arroz, que nada mais são do que as curvas de nível da área. Conhecendo-se a localização das depressões e as declividades, ou seja, o encaminhamento natural das águas, os drenos são locados de modo a proporcionar maior eficiência da drenagem. Em áreas muito planas, de difícil visualização de seu relevo, ou em áreas sistematizadas sem declive, recomenda-se a abertura de drenos eqüidistantes, espaçados de 20 a 40 m entre si, de acordo com a maior ou menor dificuldade de drenagem.

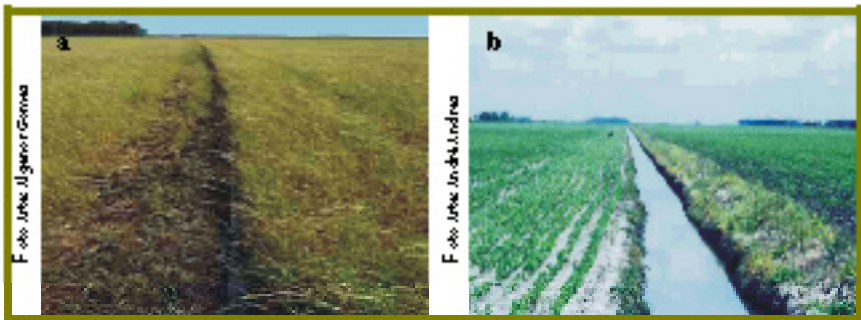


Fig. 9. Sistema de drenagem por valetamento (a) e canal coletor ou dreno principal (b).

O sistema de drenagem superficial, com alteração na conformação da superfície do terreno, consiste no uso de práticas ou técnicas que se aplicam para adequação da superfície do terreno, visando à melhoria da drenagem superficial natural do solo. Entre essas práticas, estão o aplainamento e a sistematização do terreno, a confecção de camalhões largos e a confecção de sulcos/camalhões.

O aplainamento do solo é realizado em áreas planas, com pequenas depressões, corrigindo-se o microrrelevo, sem alterar a topografia geral do terreno.

Os problemas de drenagem localizados (pontos de alagamento, Figura 8) devem ser progressivamente minimizados pelo uso de plainas, chamadas de niveladoras do solo, para o posterior valetamento da área. A sistematização adapta-se a áreas planas (até 0,5%) e com muitos problemas localizados de drenagem. Consiste na uniformização da superfície do terreno, ou seja, aterro das depressões e corte das elevações. Um projeto de sistematização é feito a partir do levantamento topográfico do terreno e, para a sua execução, existem diversos métodos, porém, sem dúvida, o mais prático e preciso é o que utiliza o

sistema a laser.

Tendo em vista a pouca profundidade efetiva do solo agrícola das várzeas, não são recomendadas, na sistematização, profundidades de cortes superiores a 10 cm. No RS, as áreas são normalmente sistematizadas sem declive (cota zero) visando o cultivo do arroz pré-germinado. No entanto, a sistematização com declive oferece melhores condições de drenagem superficial para as culturas alternativas ao arroz irrigado. A declividade resultante do projeto está em função da declividade original do terreno.

O sistema de camalhões largos adapta-se a áreas muito planas e com declividades uniformes. Consiste na construção de camalhões largos e em seqüência, de modo que na junção dos mesmos exista uma depressão, a qual funciona como dreno de parcela (Figura 10). Os camalhões podem ser construídos com o uso de arados de aiveca, arados de discos ou plainas. O sentido de construção dos camalhões é dado pela declividade predominante do terreno. A altura no centro dos camalhões varia de acordo com o objetivo de uso. Esta deve propiciar boa drenagem para as culturas de sequeiro e, ao mesmo tempo, não dificultar as práticas agrícolas mecanizadas e nem acarretar preparo de solo demasiadamente pesado para o cultivo do arroz, no sistema de rotação. O comprimento pode atingir 200 m e a largura varia com o tipo de solo (solos com drenagem muito lenta, de 6 a 12 m e com drenagem lenta, de 10 a 20 m). Dependendo do microrrelevo, os camalhões deverão ser cortados transversalmente com drenos, para esgotar possíveis pontos de alagamento.

Outro sistema que pode ser utilizado para drenagem do solo, sulco/camalhões adapta-se a áreas sistematizadas com ou sem declive, proporcionando garantia de boa drenagem para cultivos de sequeiro. Para a sua confecção, podem ser utilizados sulcadores tipo "pé-de-pato", camalhoeriras de disco ou encanteiradoras equipadas com enxada rotativa e formatador de canteiros. A largura dos camalhões está em função do espaçamento utilizado para as culturas, aliado à distribuição espacial de plantas que proporcione o melhor desempenho produtivo, e das operações mecanizadas realizadas na lavoura, podendo variar de 0,60 a 1,60 m. Esta técnica, além de favorecer a drenagem, facilita a irrigação superficial (Figura 11).

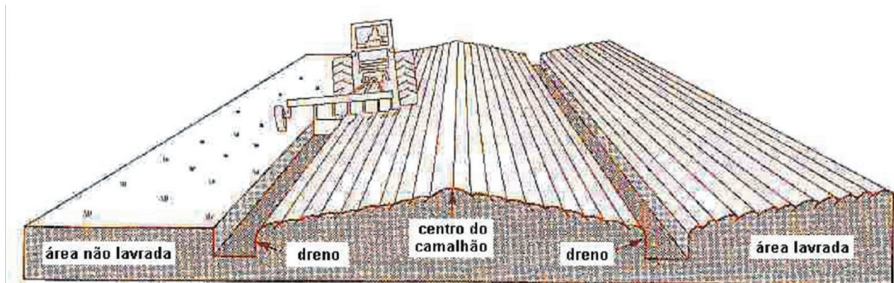


Fig. 10. Desenho esquemático de camalhão utilizado, em áreas de várzea, na Holanda.

Fonte: Adaptado de Sevenhuijsen (1994).



Fig. 11. Sistema de drenagem em sulco/camalhões.

3.5. Capacidade de armazenamento de água disponível do solo

Os solos de várzea do RS apresentam, de uma maneira geral, baixa capacidade de armazenamento de água disponível em sua camada arável, o que contribui para a ocorrência de acentuados períodos de deficiência hídrica. Aliada a isto, a característica climática marcante para as culturas de verão, nas regiões de ocorrência destes solos, é a precipitação insuficiente, principalmente no período de dezembro a fevereiro. A quantidade de chuvas e/ou a irregularidade de sua distribuição nesse período, aliada à alta demanda evaporativa da atmosfera, fazem com que as necessidades hídricas de culturas, como milho e soja, não sejam supridas em nível que viabilize a obtenção de produtividades economicamente viáveis. Assim, a utilização da irrigação suplementar, pode tornar-se necessária praticamente em todas as safras, para que estas culturas

expressem todo o seu potencial produtivo.

Considerando-se as peculiaridades dos solos de várzea, o sucesso do uso da irrigação não depende apenas da instalação correta do sistema a ser utilizado, mas também de outros fatores de produção. Entre eles, o próprio manejo da irrigação, a escolha do cultivar, a aplicação correta de fertilizantes e defensivos e o uso de técnicas de cultivo. Vários métodos de irrigação para cultivos extensivos, tais como a aspersão, sulcos e inundação, podem ser utilizados em lavouras com espécies em rotação com o arroz em áreas de várzeas.

A aspersão é um dos métodos de melhor distribuição e de menor gasto de água para culturas extensivas, porém depende de grandes investimentos iniciais e demanda maior potência energética instalada. Para os equipamentos automatizados (pivô central, linha lateral, etc.) existe a necessidade de adaptação de algumas estruturas implantadas no sistema de produção das várzeas, onde a lavoura do arroz é a principal componente. Tendo em vista estas dificuldades, e sendo as áreas de várzeas planas e estruturadas para métodos de irrigação por superfície, a aspersão é pouco utilizada nestas áreas.

A irrigação por sulcos adapta-se bem em grande parte dos solos de várzea, porém apresenta acentuada dependência das condições topográficas, geralmente requerendo sistematização do terreno. Em áreas sistematizadas, tanto em nível como em declive, a irrigação por sulcos pode ser combinada com o sistema de cultivo em sulco/camalhões, sendo eficiente para irrigar além de garantir uma boa drenagem superficial (Figura 12a).

A inundação intermitente, também chamada de banhos (Figura 12b), apresenta como vantagem a dispensa de investimentos iniciais, pois utiliza a estrutura já instalada para a irrigação do arroz, podendo ser realizada tanto em terrenos sistematizados quanto não sistematizados. Ao mesmo tempo, conta com a larga experiência dos produtores no manejo da água, adquirida com a cultura do arroz. A estrutura de irrigação e de drenagem da lavoura de arroz muitas vezes não é suficiente para um bom manejo da água na irrigação das culturas de sequeiro, que são muito sensíveis ao excesso de umidade no solo. Para a aplicação da lâmina de água de forma rápida, de modo que o solo não permaneça saturado por períodos prolongados, há necessidade de instalação de canais auxiliares de irrigação e drenagem, que deverão ser implantados de tal forma que possam ser facilmente eliminados, quando necessário, no momento da área voltar a ser utilizada com o arroz. O manejo da água (entradas e saídas) deve ser independente para cada quadro da lavoura. Os drenos, componentes do sistema de drenagem superficial da lavoura, que cortam as taipas, devem

permanecer abertos, sendo fechados somente no momento da irrigação, e novamente abertos logo após este processo. Na irrigação por inundação das culturas de soja, milho e sorgo, a água deve permanecer no quadro da lavoura somente o tempo suficiente para enchê-lo, esgotando-o imediatamente. O solo não deve permanecer saturado por mais de dois dias. Portanto, a irrigação não deve provocar o molhamento de todo o perfil do solo para que, após a retirada da lâmina de água, possa ocorrer uma redistribuição da umidade da camada superficial saturada para as camadas inferiores do solo. A execução da irrigação, para atender a estas condições, depende do tipo de solo, da declividade do terreno, do tamanho dos quadros da lavoura, do número de entradas e saídas de água, da vazão utilizada, de um sistema de macrodrenagem bem dimensionado e da experiência do aguador.



Fig. 12. Irrigação por sulco/camalhão em milho (a) e por inundação intermitente em soja (b).

4. Influência do plantio direto (PD) sobre indicadores da qualidade do solo

Neste item, serão destacadas algumas melhorias que o sistema PD pode trazer para determinados indicadores da qualidade do solo, abordados anteriormente. Esse sistema, associado ao manejo de culturas de cobertura, pode aumentar o aporte de matéria orgânica ao solo. Neste sentido, estaria contribuindo para

o seqüestro de carbono pelo solo, reduzindo a emissão deste elemento para a atmosfera, e em conseqüência, melhorando a sua estrutura, favorecendo, desta forma, o crescimento das culturas de sequeiro.

Os dados contidos na Tabela 3 demonstram que, após três safras sucessivas de condução de um experimento com arroz irrigado, em uma mesma área, objetivando avaliar sistemas de cultivo, o PD proporcionou a maior concentração de macroagregados, tanto na camada de solo de 0-2,5 cm como na camada de 2,5-5,0 cm. A concentração média correspondente ao PD, observada na primeira camada, foi superior às proporcionadas pelos demais sistemas avaliados. Já na camada de 2,5-5,0 cm, mostrou-se superior apenas àquela observada no sistema pré-germinado (PG). Este menor valor de macroagregados observado no sistema PG está relacionado ao modo de preparo do solo, característica deste sistema, que contribui para a desestruturação do solo.

Tabela 3. Macroagregados (>0,25 mm) e microagregados (0,25 mm) de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo, por três safras sucessivas, em duas profundidades.

Sistema de manejo	Macroagregados (%) profundidades		Microagregados (%) profundidades	
	0 – 2,5 cm	2,5 – 5 cm	0 – 2,5 cm	2,5 – 5 cm
SC	47,83b *	55,26a	52,17a	44,74b
CM	45,47b	53,38a	54,53a	46,62b
PD	54,70a	52,06a	45,30b	47,94b
PG	45,78b	47,81b	54,22a	52,19a

*Valores médios seguidos pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade. SC = sistema convencional; CM = cultivo mínimo; PD = plantio direto e PG = Sistema pré-germinado.

Fonte: Lima (2001).

Outro efeito positivo do sistema PD sobre indicadores físicos da qualidade do solo é mostrado na Figura 13, onde é ilustrada a resistência mecânica do solo à penetração dos sistemas de manejo que fizeram parte do experimento citado anteriormente. Constata-se que em todos os sistemas de manejo a resistência à penetração na superfície apresentou valores relativamente altos, atingindo 4,5 MPa no SC. Todavia, os maiores valores de resistência foram verificados na camada de 10-18 cm, notadamente para os sistema convencional (6,3 MPa), CM (6,1 MPa) e PG (5,2 MPa). Estes valores, segundo Canarache (1990), pertencem à classe de resistência alta (5,1-10 MPa), com sérias limitações ao crescimento de raízes, considerando culturas de sequeiro. Verifica-se ainda na Figura 13 que o

sistema PD foi o que apresentou as menores variações de resistência ao longo do perfil do solo.

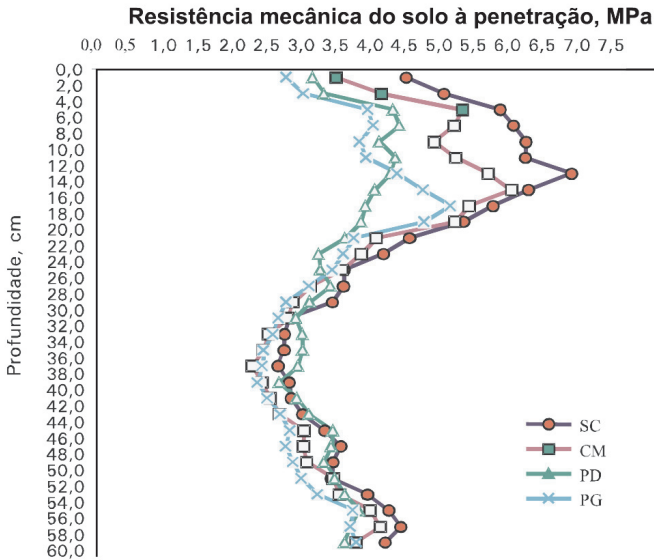


Fig. 13. Valores médios de resistência mecânica à penetração de um Planossolo, considerando sistemas de manejo. SC = sistema convencional; CM = cultivo mínimo; PD = plantio direto; PG = pré-germinado.

Fonte: Lima (2001).

A adoção do sistema PD, em arroz irrigado, vem contribuindo para que esse sistema comece a ser utilizado em culturas de sequeiro, em rotação com arroz irrigado. A Embrapa Clima Temperado vem desenvolvendo, há alguns anos, trabalhos experimentais visando à implementação do PD em áreas de várzea, com culturas de sequeiro. Avaliações, realizadas em experimentos, envolvendo o cultivo do milho no sistema PD, pelo período de cinco anos, permitem concluir que o mesmo, comparativamente ao SC, embora tenha contribuído para a acidificação solo, proporcionou aumentos nos teores médios de M.O. e de P e K disponíveis, na camada de 0-2,5 cm. Além disso, independentemente dos sistemas, observou-se que, com o tempo, os valores médios de pH, M.O. e de K disponível do solo, na camada de 0-20 cm, manifestaram uma tendência de redução, enquanto que os de P manifestaram uma tendência inversa (Figura 14).

O aumento no teor de M.O. na superfície do solo, em decorrência da manutenção dos restos culturais e das plantas de cobertura dessecadas, pode ajudar no estabelecimento de culturas de sequeiro. Um dos problemas principais para o estabelecimento de culturas alternativas ao arroz é o encrostamento superficial do solo que se forma após chuvas pesadas, o que dificulta a emergência das plântulas. A presença da cobertura diminui a desagregação provocada pelo impacto das gotas de chuva, além do que a matéria orgânica concorre para melhorar a estrutura do solo, o que pode reduzir a formação do encrostamento superficial.

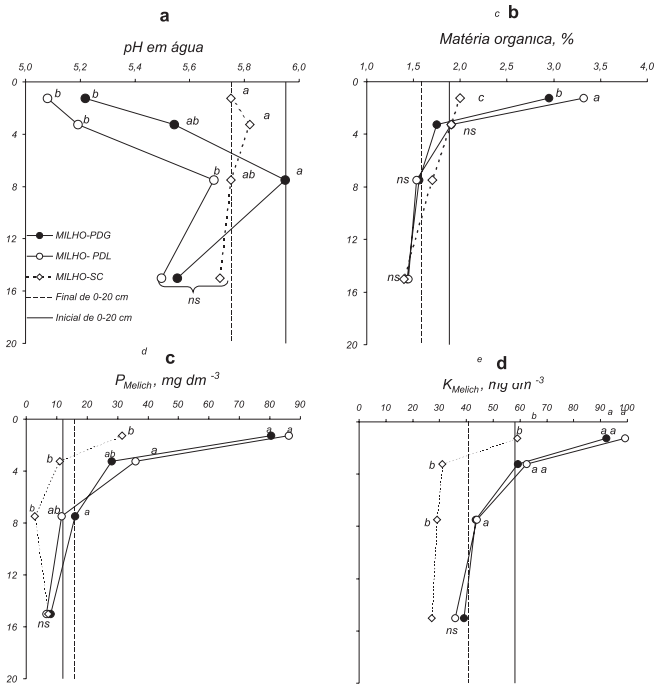


Fig. 14. Valores médios de pH (a), H+Al (b), M.O. (c) e P (d) e K (e) disponíveis, de um Planossolo, após cinco anos sucessivos sob cultivo de milho, considerando sistemas de manejo e profundidade de amostragem, e respectivos valores médios inicial e final, na camada de solo de 0 a 20 cm.

Legenda: Milho PDG = milho em PD sob gramíneas (azevém, aveia preta, centeio, cevada e triticale); Milho em PDL sob leguminosa (ervilhaca, cornichão e trevo-vesiculososo); Milho no SC = milho semeado no SC; Final de 0-20 cm = valores médios de atributos do solo, após o término do ensaio, na camada de 0-20 cm; Inicial de 0-20 cm = valores médios de atributos do solo, antes da implantação do experimento, na camada de 0-20 cm.

Fonte: Gomes et al. (2002).

Referências bibliográficas

BARNI, N.A.; COSTA, J.A. Efeitos de períodos de inundação sobre o rendimento de grãos de soja *Glycine max* (L.) Merrill. *Agronomia Sulriograndense*, Porto Alegre, v.11, n.2, p. 207-222, 1975.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul. Recife, 1973. 431p. (Boletim Técnico, 30)

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

CASSEL, D.K. Tillage effects on soil bulk density and mechanical impedance. In.: KRAL, D. M., (Ed.). Predicting tillage effects on soil physical properties and processes. Madison: ASA-SSSA, 1982. p. 45-67. (ASA Special Publication, 44).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

GOMES, A. da S.; CUNHA, N.G. da; PAULETTO, E.A.; SILVEIRA, R.J.C. da; TURATTI, A.L. Solos de várzeas - uso e manejo: problemas físicos e perspectivas de ação. In: FEDERAÇÃO DOS CLUBES DE INTEGRAÇÃO E TROCA DE EXPERIÊNCIAS. Solos e irrigação. Porto Alegre: Ed. da Universidade - UFRGS, 1992. p. 64-79. (FEDERACITE, 3)

GOMES, A. da S.; PEÑA, Y.A. Caracterização da compactação do solo através do uso do penetrômetro. *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre, v. 49, n. 426, p. 18-20, 1996.

GOMES, A. da S.; PEÑA, Y.A.; GOMES D.N. Influência de diferentes sistemas de cultivo sobre alguns atributos físicos de um solo de várzea. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO PLANTIO DIRETO, 2., 1997, Passo Fundo. Anais. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1997. p. 137-142.

GOMES A. da S.; PAULETTO, E.A. Compactação de solos de várzea. In: GOMES A. da S, PAULETTO, E. A., (Ed.). Manejo do solo e da água em áreas de várzea. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p. 88-118.

GOMES, A. da S.; AZAMBUJA, I.H.; ANDRES, A. Manejo de solos de várzea, com

ênfase à rotação de culturas. Parte I - Manejo de solos de várzea: problemas físicos e perspectivas de solução. In: FAGUNDES, P.; MAGALHÃES Jr., A.M., (Coord.). Aspectos tecnológicos da produção agropecuária em áreas de arroz irrigado do Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p. 20-30 (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 65).

GOMES A. da S.; PAULETTO, E.A. A descompactação de solos de várzea como uma técnica de manejo. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2001. 3 p. (Embrapa Clima Temperado. Recomendação Técnica, 28).

GOMES A. da S.; SOUSA, R.O.; PAULETTO, E.A. Plantio direto e cultivo mínimo em solos de várzea, com ênfase ao arroz irrigado. In: ARROZ IRRIGADO: uso intensivo e sustentável de várzeas, 2002, Santa Maria. Resumos de palestras. Passo Fundo: Aldeia Norte Editora, 2002. p.19-41.

GOMES, A. da S.; VERNETTI Jr., F.J.; FERREIRA, L.H.G.; MARTINS, E.; CAPILHEIRA, A. Comportamento da fertilidade de um Planossolo cultivado com milho em sucessão a diferentes coberturas de inverno, no sistema plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14., 2002, Cuiabá. Anais. Cuiabá: SBCS, 2002. 1 CD-ROM.

IBGE. Levantamento de recursos naturais. Folha SH.22 Porto Alegre e parte das folhas Sh.21 Uruguaiana e Si.22 Lagoa Mirim. Rio de Janeiro, 1986. v. 33.

KRIZEK, D.T. Plant response to atmospheric stress caused by waterlogging. In: CHRISTIANSEN, M.N.; LEWIS, C.F. Breeding plants for less favorable environments. Maryland: J. Wiley, 1982. p. 293-334.

LIMA, C.L. Influência de diferentes sistemas de manejo sobre atributos físicos de um Planossolo. 2001. 91f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel - Universidade Federal de Pelotas, 2001.

PARFITT, J.M.B; SILVA, C.A.S. da; PORTO, M.P.; GASTAL, M.F.C.; DECKER, A.P.; JACOBENSEN, F.L.; LIMA, J.R. Validação de sistema de drenagem e de irrigação em lavouras de milho e soja, em rotação com arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 1; REUNIÃO DA CULTURA DE ARROZ IRRIGADO, 23., 1999, Pelotas. Anais. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p. 699-701.

PAULETTO, E.A.; GOMES, A. da S.; SOUSA, R.O.; VAHL, L.C.; BAPTISTA DA SILVA, J. Produtividade do arroz irrigado cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo e de rotação e sucessão de culturas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 1; REUNIÃO DA CULTURA DE ARROZ IRRIGADO, 23., 1999, Pelotas. Anais. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p. 246-249.

PAULETTO, E.A.; TURATTI, A.L.; GOMES, A. da S. Produtividade do arroz irrigado em sistema de cultivo contínuo e em rotação com soja e milho - 1991. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 19., 1991, Balneário Camboriú. Anais. Florianópolis: EMPASC, 1991. p. 125-129.

PAULETTO, E.A.; VAHL, L.C.; TURATTI, A.L.; GOMES, A.S. Produtividade do arroz irrigado num Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo durante sete anos. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 20., 1993, Pelotas. Anais. Pelotas: EMBRAPA-CPACT, 1993. p. 132-134.

PAULETTO, E. A.; PEDROTTI, A.; CRESTANA, S.A. Avaliação da compactação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo através da tomografia computadorizada e do penetrômetro. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 2., 1997, Passo Fundo. Anais. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1997, p. 143-46.

PAULETTO, E.A.; GOMES A. da S.; SOUSA, R.O.; PETRINI, J.A. Manejo de solos de várzea. In: GOMES A. da S, PAULETTO, E. A., (Ed.). Manejo do solo e da água em áreas de várzea. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p. 61-87.

PAULETTO, E.A.; GOMES A. da S. Física de solos de várzea cultivados com arroz irrigado. In: GOMES, A. da S.; MAGALHÃES Jr., A.M. de, (Ed.). Arroz irrigado no Sul do Brasil. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004. p. 167-192.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E.A.; CESTANA, S.; FERREIRA, M.M.; DIAS, M. S. JR.; GOMES, A.S.; TURATTI, A.S. Resistência mecânica à penetração de um planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. Revista Brasileira Ciência do Solo, v. 25, n. 3, p.521-529, 2001.

PEÑA, Y.A.; GOMES, A. da S.; SOUZA, R.O. Influência de diferentes sistemas de cultivo nas propriedades físicas de um solo de várzea cultivado com arroz irrigado. Revista Brasileira Ciência do Solo, v. 20, n. 3, p. 517-523, 1996.

PINTO, L.F.S.; PAULETTO, E.A.; GOMES A. da S.; SOUSA, R.O. Caracterização de solos de várzea. In: GOMES A. da S, PAULETTO, E. A., (Ed.). Manejo do solo e da água em áreas de várzea. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p.11-36.

SCOTT, H.D.; NORMAN, R.J. Rice cropping systems of the Southern Mississippi Delta Region of the United States. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 1.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 23., 1999. Pelotas.

Palestras. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2000. p. 149-154. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 81).

SEVENHUIJSEN, R.J. Surface drainage systems. In: RITZEMA, H.P. (Ed.). Drainage principles and applications. Wageningen: International Institute for Land Reclamation and Improvement, 1994. p. 799-826.

SILVA, C.A.S.; PARFITT, J.M.B. Drenagem e irrigação para milho e sorgo cultivados em rotação com arroz irrigado. In: PARFITT, J.M.B., (Coord.). Produção de milho e sorgo em várzea. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2000. p. 61-72. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 74).

SILVA, C. A. S. da; PARFITT, J. M. B. Drenagem Superficial para diversificação do uso dos solos de várzea do Rio grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004. 10 p. (Embrapa Clima Temperado. Circular Técnica, 40).

SILVA, C. A. S. da; PARFITT, J. M. B. Irrigação por inundação intermitente para culturas em rotação ao arroz em áreas de várzea do Rio grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2005. 11 p. (Embrapa Clima Temperado. Circular Técnica, 46).

SILVA, C.A.S.; PARFITT, J.M.B.; PORTO, M.P. Manejo da água para as culturas do milho, sorgo e soja em solos hidromórficos. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2001. 46 p. (Embrapa Clima Temperado. Circular Técnica, 26).

SILVA, J.J.C.; SOUZA, R.M. de; ALMEIDA, J.C.; CORRÊA, R.; RAUPP, A.A.A.; COELHO, R.W.; RODRIGUES, R.C. BASANESI, J.C. Camalhões: uma opção para o problema de drenagem das Terras baixas na região costeira da Lagoa Mirim. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 36 p, 2002. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 95).

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10. Ed. Porto Alegre, SBCS, 2004. 400p.

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

STREK, E.V.; KÄMPF, N.; KLANT, E. Atualização da classificação taxonômica das unidades de mapeamento do levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul. Informativo da EMATER/RS, Porto Alegre, v. 16, n. 9, 5 p. 1999.

STOLF, R. Teorias e testes experimentais de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.15, n. 2, p. 229-235, 1991.

VERNETTI Jr., F. de J.; GOMES, A. da S. Plantio Direto: uma opção de manejo para a produção agrícola sustentável. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2000. 69 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 58).

VERNETTI Jr.; F. de J.; GOMES A. da S. Plantio direto em várzea em seqüência a diferentes coberturas mortas. *Agropecuária Clima Temperado*, Pelotas, v.4, n. 2, p. 279-301. 2001.



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
BR 392 km 78 - 96001-970 Pelotas RS Cx. Postal 403
Fone (53) 3275-8100 Fax (53) 3275-8221
www.cpact.embrapa.br
sac@cpact.embrapa.br*

**Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

