

Aproveitamento de várzeas

*Antonio Eduardo Guimarães dos Reis
Joaquim Bartolomeu Rassini*

13.1 INTRODUÇÃO

Diversas proposições para definir as várzeas como um ecossistema particular têm sido apresentadas, desde que foram implantados os programas de impacto para sua recuperação. Lamster (1980) considera como várzeas as áreas com solos aluviais e/ou hidromórficos, geralmente planos e ricos em matéria orgânica, facilmente irrigáveis (na maioria dos casos, até por gravidade), de fertilidade elevada, inundados temporariamente ou não (margens de córregos, rios, vales úmidos), porém apresentando, muitas vezes, umidade excessiva e necessitando, por isso, de drenagem adequada para o seu aproveitamento racional. Freire & Novais (1980) mencionam que as várzeas são constituídas de solos originários de deposição de materiais transportados por cursos de água ou mesmo trazidos das encostas pelo efeito erosivo das chuvas. São áreas de baixadas, podendo estar encharcadas em consequência da elevação do lençol freático, sujeitas ou não a inundações periódicas. Considerando um enfoque popular, Madeira Neto & Macedo (1981) descreveram as terras de várzeas como solos situados ao longo dos cursos de água ou em áreas deprimidas e mal drenadas, sob vegetação de mata ou de campo higrófilo. Ressaltam ainda que essas terras são utilizadas, na época seca, como pastagem natural.

Essencialmente estas definições mostram parâmetros comuns. É possível, então, caracterizar as várzeas como áreas condicionadas a um regime de excesso de umidade e a processos químicos de redução, bem como por sua alta variabilidade de solos e por sua cobertura vegetal típica de mata ou de campo higrófilo.

Estimativas recentes (Novaes et al., 1980) apontam a existência de aproximadamente 30 milhões de hectares de várzeas irrigáveis no Brasil. Desse total já foram levantados 24.770.793 ha. Estima-se uma ocorrência de pelo menos 12 milhões de hectares, nos Cerrados, dos quais já foram efetivamente levantados 4.562.445 ha. Esses dados mostram a importância e a necessidade de utilização plena das várzeas, de modo especial, pelo fato de:

- 1) possuírem com abundância o fator água;
- 2) serem, em geral, áreas não aproveitadas e passíveis de incorporação à produção agropecuária;
- 3) permitirem a exploração racional de culturas e de pecuária, bem como a diversificação das fontes produtoras e a regularização de oferta na entressafra;
- 4) minimizarem, com o manejo eficiente do recurso água, os riscos decorrentes do caráter errático das chuvas.

No entanto, apenas uma pequena parte das várzeas é hoje utilizada racionalmente e, na maioria dos casos, de forma rudimentar. Sua plena exploração permitiria o incremento da produção e da produtividade de culturas anuais, olerícolas, pecuária, piscicultura, ou outras atividades viáveis, como também uma atividade contínua da empresa agrícola durante todo o ano.

13.2 DISTRIBUIÇÃO DE VÁRZEAS

A maior parte das várzeas, dentro dos Cerrados, acha-se distribuída nas grandes bacias hidrográficas da região: São Francisco, Paranaíba, Araguaia, Tocantins e Alto Paraguai, na região do Pantanal (Fig. 13.1).

Com o objetivo de conhecer os tipos de solo de várzeas ocorrentes nessas grandes bacias, foram realizados estudos que permitiram identificar a grande variação existente, desde solos minerais a orgânicos, confirmando os estudos de Freire & Novais (1980).

A vegetação nessas áreas apresenta-se também heterogênea, com predominância de campos de várzeas, mata ciliar e parques de Cerrado. Os campos de várzeas são formados por vegetação herbácea (gramíneas e ciperáceas) e arbustiva, com presença de buritizais. A mata ciliar, com vegetação arbórea fechada, estabelece-se ao longo dos cursos de água. Os parques de Cerrado são formados por um estrato herbáceo de gramíneas e de ciperáceas, predominantemente, além de grupamentos arbóreos de espécies que compõem os Cerrados: (*Pterodon pubescens*, sucupira; *Caryocar bra-*



Fig. 13.1 Localização de perfis de solos de várzeas, amostrados nas principais bacias hidrográficas, na região dos Cerrados.

siliense, pequi; *Curatella americana*, lixeira; *Qualea multiflora*, pau-terra-liso; *Qualea parviflora*, pau-terra-de-folha-miúda e outros).

Nas várzeas no Alto São Francisco predominam os solos Gley Pouco Húmido, algumas Lateritas Hidromórficas e alguns solos orgânicos e podem ser encontrados também Latossolos em condições inundadas ou com o lençol freático bem próximo à superfície. São áreas planas, com vegetação predominante de mata ciliar, alguns parques de cerrado e campos de várzeas.

Na bacia do Paranã, os solos Gley (Húmido e Pouco Húmido) aparecem com maior frequência e, de maneira menos expressiva, as Lateritas

Hidromórficas e alguns aluviais. Esses solos apresentam pouca declividade e a sua cobertura vegetal é a de mata ciliar e, em menor proporção, a de campos de várzeas.

No Araguaia, a maior ocorrência de várzeas encontra-se sobre as Lateritas Hidromórficas planas, com predominância vegetal dos parques de Cerrado. Já no Baixo Tocantins (Estado de Goiás), as várzeas estão localizadas sobre um solo orgânico bastante arenoso, em áreas planas, e com vegetação típica de campos de várzeas.

Nas várzeas do Alto Tocantins (Vão do Paranã), a maior ocorrência é de solos aluviais, com bastante influência calcária, e de pouca declividade ou plana, com uma cobertura vegetal de mata ciliar. As várzeas localizadas na Serra Geral de Goiás (chapadão ocidental da Bahia) são formadas, predominantemente, por Areias Quartzosas Hidromórficas e cobertas com uma vegetação típica de campos de várzeas.

No Alto Paraguai (Pantanal), as várzeas se situam sobre Areias Quartzosas Hidromórficas, Lateritas Hidromórficas e alguns Latossolos em condições de má drenagem. A vegetação também é diversificada (parques de Cerrado, campos de várzeas e matas ciliares bastante fechadas).

13.3 NATUREZA DOS PROBLEMAS EM VÁRZEAS

Os principais problemas encontrados nas várzeas, que dificultam a sua incorporação ao processo produtivo, são: excesso de umidade, condições anaeróbicas e deficiências nutricionais, bem como grande variação física, regime hídrico irregular e ineficiência da atual tecnologia de recuperação e de adaptação de culturas alternativas.

13.3.1 EXCESSO DE UMIDADE

O excesso de água na superfície ou nas camadas superiores do solo pode reduzir drasticamente o potencial produtivo das culturas. Luthin (1973), comentando os principais efeitos da saturação, menciona o bloqueio do intercâmbio gasoso e o conseqüente decréscimo de concentração de oxigênio. Ele ressalta também os efeitos químicos no solo, decorrentes das condições de redução, bem como as suas conseqüências na fisiologia da planta, o que resulta, por sua vez, em declínio de produção. Espinoza et al. (1980) enfatizam a ocorrência da lixiviação de íons, como NO_3^- , K^+ e SO_4^{2-} sob essas condições.

Segundo Russel (1973), há vários processos para que uma planta adaptada possa se desenvolver em ambiente de baixa aeração. De acordo

com W.H. Pearsall, citado por Russel (1973), um potencial de redução de 320 mV em pH5 situa-se como condição-limite de separação de solos em estados reduzido e oxidado. Plantas adaptadas a solos de potencial inferior desenvolvem mecanismos protetores ou de adaptação para dinamizar a absorção de nutrientes e de água, como é o caso do arroz irrigado.

Contudo, considerando a diversificação da agricultura nas várzeas, é essencial que, durante um certo período, o solo seja mantido em condições aeróbicas e, em conseqüência, exteriorize todo o potencial da rotação com culturas não adaptadas a excesso de umidade.

13.3.2 CONDIÇÕES ANAERÓBICAS E DEFICIÊNCIAS NUTRICIONAIS

Usualmente são considerados como várzeas solos aluviais e/ou hidromórficos, geralmente planos, ricos em matéria orgânica, e de fertilidade elevada (Lamster, 1980). Entretanto, dependendo do material de origem, as várzeas, além de grande variação nos tipos de solos, apresentam também grande variação química ao longo do perfil (Freire & Novais, 1980). Esses problemas agravam-se com certas mudanças químicas, devido às condições anaeróbicas.

Nessas condições, Howler (1973) observa que há um acúmulo de NH_4^+ , uma vez que a falta de O_2 faz com que a matéria orgânica seja mineralizada até NH_4^+ e não até NO_3^- . Outro problema é a denitrificação: $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{N}_2\text{O}$ ou N_2 , em que se perde de 20 a 300 kg de N/ha/ano. Do mesmo modo, há redução de Fe ($\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$): a concentração de Fe^{2+} aumenta até um máximo e depois diminui por precipitação de $\text{Fe}(\text{OH})_2$, FeCO_3 ou FeS . Mesmo a cultura do arroz, considerada pouco exigente, não tolera uma concentração de Fe^{2+} acima de 200-300 ppm em solução, caso em que mostra sintomas de toxidez (bronzamento ou alaranjamento das folhas).

Reis & Rassini (1982) observaram que alguns solos de várzeas na região dos Cerrados possuem acidez elevada, alta saturação de alumínio e níveis muito baixos de elementos essenciais ao desenvolvimento de culturas, como cálcio, magnésio, fósforo, potássio e zinco.

13.3.3 VARIAÇÕES FÍSICAS E REGIMES HÍDRICOS

O fornecimento de água às culturas em solos de várzeas está condicionado a um manejo eficiente da drenagem e da irrigação. Para tanto, é

necessário o estabelecimento de parâmetros físicos de solos, de movimentação de água e também de parâmetros operacionais que permitam o dimensionamento global de manejo. Evidentemente, esse é um trabalho de difícil execução, considerando-se os quase 25 milhões de hectares de várzeas irrigáveis no Brasil, sem aproveitamento definido (Novaes et al., 1980) e com alta variabilidade física em seus solos.

Possivelmente, essa variação decorre de seu processo natural de formação. Na maioria dos casos, os solos são constituídos por materiais depositados nas partes mais altas, por efeito erosivo ou por deposição de sedimentos arrastados ou em suspensão nas águas de enchentes. Portanto, dependendo do material de origem, esses solos podem apresentar grande variação nos parâmetros físicos, ao longo do perfil.

Freire & Novaes (1980) confirmam esta variabilidade, ressaltando, principalmente, o aspecto químico. Mencionam que são encontrados nesse ambiente desde solos minerais até orgânicos e que, para cada situação, é necessário um estudo particular.

O regime hídrico nessas áreas e principalmente as variações do lençol freático são funções do grau de inundação (transbordamento de cursos de água, intrusões, afloramentos do lençol freático por aquíferos confinados ou não confinados, escoamento superficial e precipitação).

13.3.4 INSUFICIÊNCIA EM TECNOLOGIA DE IMPLEMENTAÇÃO

A implementação de várzeas está diretamente relacionada com o estabelecimento de um sistema eficiente de drenagem. Nesse sentido relacionam-se os parâmetros físico-hídricos dos solos, os climáticos e os referentes a máquinas e implementos que concorrem para o estabelecimento da distância ideal entre drenos. Considerando os fatores hídricos e as propriedades intrínsecas do solo, Hooghoudt (1940) definiu uma equação que envolve recarga constante para a otimização do espaçamento de drenos. Processos mais elaborados, como o de Kirkham (1958) e o do U.S. Bureau of Reclamation, mencionados por Luthin (1973), estão sendo amplamente utilizados, apesar de pouco diferirem das análises mais simples. No entanto, essas quantificações subordinam-se ao caráter altamente variável das condições físicas dos solos, da movimentação da água e da distribuição errática da precipitação.

Quanto ao emprego de maquinaria na recuperação dessas áreas, há, atualmente, sobretudo, a necessidade de uma melhor adequação das máquinas e dos implementos àquelas condições. Quanto à mão-de-obra, é necessário o incen-

tivo à especialização e o aproveitamento mais racional do contingente humano disponível.

13.3.5 ADAPTAÇÃO DE CULTURAS ALTERNATIVAS

Uma planta, para ter desenvolvimento normal, necessita de adequado suprimento de oxigênio. Porém, em condições de inundação, esse suprimento é bastante reduzido, em conseqüência da alteração na troca de O_2 , de CO_2 e de outros gases, entre o ar, a água e o solo, como também do seu consumo por microorganismos aeróbicos.

O arroz é a cultura que melhor se adapta às condições de solos alagados, devido à sua própria anatomia. Valoras et al., citados por Patella (1976), demonstraram que a aeração das raízes do arroz pode ocorrer através do interior da parte aérea da planta, sem necessidade de condições de aeração direta do solo, graças ao sistema de canais de ar no córtex das raízes, caules e folhas.

Atualmente, preconiza-se o emprego de terras úmidas não apenas com a cultura do arroz. Resultados de Lamster (1974), em várzeas no sul de Minas Gerais, viabilizaram a sua utilização com outras culturas, como trigo, feijão, sorgo forrageiro, milho e forrageiras de inverno. Trabalhos de Silva & Andrade (1979) mostraram que, durante a estação seca, de maio a setembro, no intervalo entre duas produções de arroz, é viável o cultivo de trigo irrigado em várzeas sistematizadas e com boa drenagem.

No entanto, alguns problemas devem surgir com a introdução de variedades de algumas culturas nesses solos, uma vez que, para se adaptarem a esse tipo de condição, necessitam de manejo especial. Nesse aspecto, Reis & Rassini (1982) observaram que, após o cultivo de arroz (var. IAC-899) na época normal de semeadura (outubro-novembro), alguns fatores, como ocorrência de baixas temperaturas durante o desenvolvimento da planta, suscetibilidade a lençol freático alto, níveis de adubação de manutenção e época de semeadura, tiveram influências negativas no comportamento do arroz, da soja, do trigo e do feijão, semeados na entressafra (abril-maio).

13.4 CARACTERIZAÇÃO DOS PRINCIPAIS SOLOS DE VÁRZEAS

É grande a variação dos solos de várzeas na região dos Cerrados. Algumas de suas características morfológicas, de fertilidade, físicas e de movimentação de água, próprias de cada local, serão discutidas a seguir. Essas considerações estão fundamentadas em trinta e quatro perfis de solo (Fig. 13.1).

13.4.1 MORFOLOGIA E FERTILIDADE NATURAL

Gley Húmico (HG). É um solo hidromórfico, mal drenado, de perfil com seqüência de horizonte AC e cor acinzentada. Possui a camada superficial (horizonte A) bastante espessa (30 a 60 cm), com coloração de escura a preta, devido a altos teores de matéria orgânica (superior a 4%).

É um solo ácido, sem alumínio trocável, e com teores de médio a alto de cálcio e magnésio. Nos horizontes superficiais, mostra alta disponibilidade de fósforo e de média a alta de potássio. Nos horizontes inferiores, a sua disponibilidade de potássio é muito baixa.

É possível que esse tipo de solo cause problemas às culturas, devido à presença de altos níveis de ferro. Entretanto, possui níveis de médios a altos de bases e alta capacidade de troca de cátions (Tabela 13.1).

Gley Pouco Húmico (HGP). Esse tipo de solo distingue-se do Gley Húmico pela presença de percentuais inferiores a 4% de matéria orgânica no horizonte A. Possui menor espessura nesse horizonte (de 10 a 30 cm), em relação ao Gley Húmico.

É um solo ácido, mas não apresenta altos teores de alumínio trocável. Altos teores de cálcio e magnésio foram observados em solos da bacia do Alto São Francisco, o que não ocorre com os da bacia do Paranaíba, os quais são deficientes desses elementos. Entretanto, os solos da bacia do Paranaíba possuem alta disponibilidade de fósforo, o que não é característica dos solos do Alto São Francisco. Os baixos teores de potássio encontrados nesses solos podem sugerir a sua deficiência.

A presença do ferro indica também que as culturas podem ter alguns problemas de natureza química. Ponnampertuma (1967) observa que níveis desse elemento, superiores a 180 ppm, podem causar toxidez às plantas. Ressaltou ainda que 200 ppm na solução do solo retardam o crescimento e 600 ppm podem matar a planta.

Com exceção de apenas um perfil de solo na bacia do Paranaíba (Monte Alegre, MG), que apresenta baixa disponibilidade de bases, os demais possuem alta disponibilidade. São também solos que mostram alta capacidade de armazenar nutrientes para as plantas (alta CTC) (Tabela 13.1).

Laterita Hidromórfica (HL). O seu desenvolvimento está condicionado às oscilações do lençol freático. Apresenta o horizonte A₂ em formação e, caracteristicamente, ocorrem plintitas (amarelas ou vermelhas) no topo do horizonte B₁. São solos ácidos, com baixos teores de alumínio trocável, exceto apenas um solo da bacia do Araguaia (São Miguel do Araguaia, GO), que têm teores elevados do elemento alumínio. Esses solos possuem também baixa disponibilidade de cálcio e de magnésio.

Tabela 13.1 Resumo de algumas características químicas de solos de várzeas na região dos Cerrados.

| Características químicas ¹ | Profundidade do perfil | Gley Húmico | Gley Pouco Húmico | Laterita Hidromórfica | Solos Aluviais | Solos Orgânicos | Areia Quartzosa Hidromórfica | Latossolos |
|--|------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------------|---------------------------|
| pH em H ₂ O (1:1) | 0 — 20 cm inferiores | 5,0-5,1 4,5-5,6 | 3,9-6,1 4,8-7,1 | 4,4-5,4 4,6-7,2 | 4,6-6,6 4,5-6,6 | 4,3-4,7 3,9-4,6 | 5,3-5,4 4,9-5,7 | 4,3-5,5 4,7-7,5 |
| H ⁺ + Al ³⁺ (me/100ml) | 0 — 20 cm inferiores | 0,1-0,5 0,0-0,8 | 0,0-2,1 0,0-0,5 | 0,2-5,1 0,0-2,4 | 0,0-1,2 0,0-1,4 | 2,0-3,0 0,2-8,8 | 0,5-0,6 0,1-1,5 | 0,0-1,0 0,0-2,3 |
| Ca ²⁺ + Mg ²⁺ (me/100ml) | 0 — 20 cm inferiores | 4,3-7,2 2,9-12,9 | 0,3-15,6 0,1-26,9 | 0,2-2,1 0,1-9,7 | 0,2-16,0 0,1-15,6 | 0,1-9,0 0,1-1,1 | 0,5-0,6 0,0-0,2 | 6,2-17,8 2,5-17,3 |
| P (ppm) | 0 — 20 cm inferiores | 6,2-33,2 2,9-18,3 | 2,4-16,5 tr.-20,0 | 1,2-19,6 0,1-2,2 | 3,4-17,0 0,7-11,0 | 1,1-2,7 1,1-15,0 | 1,1-2,7 0,4-1,0 | 1,5-11,4 0,3-6,4 |
| K (ppm) | 0 — 20 cm inferiores | 59-92 14-74 | 24-70 5-27 | 30-55 7-88 | 13-136 5-78 | 26-115 4-26 | 4-16 1-2 | 63-91 29-55 |
| Fe (ppm) | 0 — 20 cm inferiores | 168,0-693,0 63,0-294,0 | 55,0-588,0 3,0-252,0 | 25,3-446,0 11,3-210,0 | 37,2-903,0 10,0-378,0 | 30,2-46,0 1,2-19,0 | 483,0-966,0 5,0-84,0 | 231,0-945,0 28,0-945,0 |
| S (me/100ml) | 0 — 20 cm inferiores | 4,6-7,6 3,0-13,2 | 0,7-16,0 0,1-27,7 | 0,3-3,6 0,1-10,8 | 0,3-15,3 0,1-15,8 | 0,2-10,1 0,1-1,2 | 0,6-0,6 0,0-0,2 | 7,5-18,0 2,6-17,5 |
| T (me/100ml) | 0 — 20 cm inferiores | 25,0-25,5 4,6-17,3 | 10,1-26,5 1,9-28,3 | 2,5-13,3 1,7-12,3 | 1,5-19,9 1,2-19,9 | 9,2-37,8 0,9-33,1 | 5,7-8,3 1,2-6,5 | 15,1-17,1 8,9-22,4 |
| V (%) | 0 — 20 cm inferiores | 18,4-29,7 52,5-77,4 | 2,9-18,4 8,1-98,2 | 7,2-53,9 10,0-92,9 | 7,0-81,8 6,1-79,9 | 3,0-26,8 2,6-20,2 | 7,4-11,5 1,5-15,3 | 49,8-77,3 29,9-100,0 |
| Mo (%) | 0 — 20 cm inferiores | 7,5-8,2 0,2-1,9 | 0,1-3,5 0,2-1,7 | 0,8-2,9 0,4-2,4 | 0,7-4,8 0,4-10,0 | 4,0-16,4 0,3-1,3 | 1,8-4,9 0,7-1,3 | 2,2-3,8 0,7-1,8 |

(1) Extratores: P, K, Fe (Mehlich 1), H⁺ + Al³⁺ (Acetato de cálcio pH 7,0), Ca²⁺ + Mg²⁺ (KCl 1N relação 1:10) e Mo (Walkley Black).

Os solos das bacias do Araguaia e do Alto Paraguai mostram ser muito deficientes em fósforo e potássio, principalmente nos horizontes superficiais. Entretanto, o mesmo tipo de solo, na bacia do Alto São Francisco, apresenta altos teores de fósforo e médios de potássio.

Teores elevados de ferro nos solos da bacia do Alto São Francisco e do Alto Paraguai podem acarretar danos às culturas, característica não observada nos solos da bacia do Araguaia. Nessa região e no Alto Paraguai, os solos possuem baixa disponibilidade de bases e baixa capacidade de armazenar nutrientes (baixa CTC). O perfil de solo do Alto São Francisco possui média disponibilidade de bases e condições de armazenar nutrientes. Todos eles apresentam baixo percentual de matéria orgânica (Tabela 13.1).

Solos aluviais (A). São solos predominantemente minerais, pouco desenvolvidos, constituídos por um horizonte A (seguido de camadas sem relacionamento pedogenético), provenientes de deposições fluviais e encontrados em áreas mal drenadas.

Analisando os perfis desses solos, verifica-se que a sua fertilidade está diretamente ligada ao solo que os originou. Dois solos das bacias do Araguaia e do Paranaíba são de baixa fertilidade, originários de um solo LE de Cerrado, também de baixa fertilidade. Outros dois, da bacia do Paranã, possuem alta fertilidade, uma vez que são originários de solos evoluídos a partir de rochas calcárias, ultrabásicas ou basálticas.

Os solos das bacias do Araguaia e do Paranaíba possuem alta acidez, além de altos teores de alumínio trocável no solo e baixos níveis de cálcio, magnésio, fósforo e potássio. Em relação ao ferro, o solo da bacia do Araguaia não apresenta problemas às culturas, ao passo que no aluvial da bacia do Paranaíba esse elemento pode limitar o desenvolvimento de culturas. Esses solos evidenciam também baixa disponibilidade de bases e baixa capacidade de armazenar nutrientes para as plantas (baixa CTC). Já os solos aluviais da bacia do Paranã, de alta fertilidade, não apresentam acidez, possuem altos teores de cálcio e magnésio e ausência de alumínio trocável. Altos níveis de fósforo e de potássio foram também encontrados nesses solos. A respeito desses solos aluviais, cabe salientar que um deles (Alvorada, GO) apresenta teores elevadíssimos de ferro, com até 903 ppm, o que pode acarretar problemas de natureza química às culturas. Possuem também alta disponibilidade de bases e alta capacidade de troca de cátions (CTC). Como os dois solos anteriores, apresentam também baixa percentagem de matéria orgânica (Tabela 13.1).

Solos orgânicos (HO). Compreendem solos hidromórficos, pouco desenvolvidos, de coloração muito escura e mal drenados, sob condições de permanente encharcamento. Não apresentam, além do horizonte A, desenvolvimento de horizontes diagnósticos, características de outras ordens. A seqüência de horizontes AC, AR, ou de camadas estratificadas sem relacionamento, caracteriza o pequeno desenvolvimento do perfil, o que mostra serem solos jovens. Esses solos contêm matéria orgânica não inteiramente decomposta ("peat"), com percentagens de carbono acima de 12%. Outra característica desses solos é a elevada capacidade de troca de cátions (CTC), devido, principalmente, a grupos carboxílicos e fenólicos.

Na bacia do Tocantins, no Estado de Goiás, predomina esse tipo de solo, com suas características de baixa fertilidade, como demonstra a análise química: muito ácidos, altos teores de alumínio trocável, baixos níveis de cálcio e magnésio e muito deficientes em fósforo e potássio. Não apresentam níveis de ferro prejudiciais às culturas. São de baixa disponibilidade de bases e de alta capacidade de troca de cátions (Tabela 13.1).

Areias Quartzosas Hidromórficas (HAQ). São solos hidromórficos, mal drenados, apresentando seqüência de horizontes AC, bastante profundos. Caracteristicamente, possuem menos de 15% de argila (bastante arenosos) e coloração muito variada, além de elevado grau de acidez, altos teores de alumínio trocável, baixos níveis de cálcio e magnésio e acentuada deficiência também em fósforo e potássio. Possuem elevados teores de ferro, baixa disponibilidade de bases e baixa CTC, bem como baixas percentagens de matéria orgânica.

Em termos de fertilidade, cabe ressaltar que, nas várzeas do Alto Paraguai, esses tipos de solos possuem vantagens quando comparados com os do chapadão ocidental da Bahia. Essa melhor fertilidade é promovida pelos baixos níveis de alumínio trocável, médios teores de fósforo e potássio, além de baixos conteúdos de ferro (Tabela 13.1).

Latossolos. São solos minerais, com teores de argila superiores a 15% e com uma transição difusa ou gradual entre os horizontes. Esses solos ocorreram ao longo de formações fluviais. São mal drenados e estão constantemente sob influência do lençol freático. Foram detectados: Latossolo Vermelho-Escuro (LE), Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) e Latossolo Amarelo (LA). O traço característico mais comum entre esses solos é a acidez.

Altos teores de alumínio trocável ocorrem num solo LE (bacia do Paranaíba). Todavia, essa característica não é observada no solo LE e no

LV (bacia do Alto São Francisco e Alto Paraguai). Todos mostram teores de médio a alto de cálcio e magnésio, fósforo e potássio, com exceção de um Latossolo Amarelo (LA) (bacia do Alto São Francisco), que possui baixos teores de fósforo.

São também solos com altos teores de ferro, grande disponibilidade de bases e alta capacidade de armazenar nutrientes para as plantas (alta CTC). Baixos percentuais de matéria orgânica são também características desses solos (Tabela 13.1).

13.4.2 COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

Os elementos do solo podem ser encontrados em três fases distintas (sólida, líquida e gasosa), as quais desempenham conjuntamente papel importante, tanto no crescimento vegetal como no suporte dos trabalhos de engenharia. A parte sólida consiste de partículas primárias agregadas em proporções distintas, correspondentes às frações areia, silte e argila, como também de matéria orgânica e de vários compostos químicos. O agrupamento dessas unidades em formações maiores compõe a estrutura do solo.

A natureza e a proporção dessas partículas no solo lhe conferem um comportamento particular. Solos argilosos podem apresentar propriedades de expansão e de contração, dependendo da argila presente, e variações extremas de condutividade hidráulica e de propriedades mecânicas e químicas. O silte tem, em geral, baixa capacidade de reação química e sua natureza laminar lhe confere instabilidade para fins de construção, manutenção de canais abertos e movimento de partículas para dentro de drenos subterrâneos. A areia, da mesma forma que o silte, apresenta características de baixa estabilidade, especialmente quando fina.

Uma das peculiaridades da distribuição granulométrica nos solos de várzeas é sua variabilidade espacial. Reis & Rassini (1982), definindo um coeficiente de uniformidade, constataram a diversidade de classes texturais numa mesma área de várzea do Brasil Central.

Vê-se pela Tabela 13.2 que os solos formadores de diferentes bacias caracterizam-se por variabilidade textural, desde perfis totalmente arenosos até totalmente argilosos. Observa-se também que, à exceção das várzeas das bacias do Paranaíba e do Alto São Francisco, os solos são predominantemente de textura arenosa a franca. Considerando a instabilidade mecânica dessas classes texturais e a alta permeabilidade que lhes são conferidas, especialmente pela fração areia, é de se esperar que ocorram problemas na

manutenção de estruturas de drenagem, por causa do efeito erosivo da água, bem como bloqueios por deposição de partículas de drenos subterrâneos, sem a proteção de filtros. É de se esperar também que ocorram grandes perdas de nutrientes por lixiviação intensa e que haja dificuldades no manejo de irrigação superficial. Em face desses problemas, sugere-se a irrigação com altas frequências ou o uso da aspersão ou gotejamento.

Características mais homogêneas foram encontradas nos solos das bacias do Paranaíba e do Alto São Francisco. São mais estáveis sob o ponto de vista textural, de modo a favorecer a implantação de sistemas de drenagem (abertos e/ou subsuperficiais). Provavelmente são também menos permeáveis, proporcionando maior uniformidade de distribuição da água de irrigação. Resta lembrar, no entanto, a ocorrência de altos percentuais de silte nos solos de baixadas da bacia do Alto São Francisco. É de se esperar, portanto, que ocorram também ali problemas de estabilidade, quando da utilização desses solos, especialmente nas camadas superiores, para fins de suporte de obras de engenharia. Do mesmo modo, a ocorrência de substratos argilosos poderá diminuir consideravelmente os processos de drenagem interna dos solos e, conseqüentemente, reduzir a produtividade de culturas sensíveis ao excesso de água, como é o caso do feijão e do milho.

13.4.3 DENSIDADE GLOBAL E POROSIDADE

A densidade global, também conhecida como densidade aparente, é a medida do efeito da compressão do solo e define-se como a relação entre a massa da matéria sólida e o volume total. Via de regra, os solos arenosos possuem densidade global entre 1,5 e 2,0 g.cm⁻³, enquanto que os argilosos, por serem em geral mais elásticos, têm-na entre 1,0 a 1,8 g.cm⁻³. É evidente que essa grandeza pode ser modificada continuamente pelo uso da terra e, em geral, varia com a profundidade, de local para local, e na presença da matéria orgânica. No caso dos solos de várzeas, predominantemente minerais, a densidade global pouco se modifica (solo virgem), permanecendo seus valores entre 1,0 e 1,2 g.cm⁻³, na superfície, e 1,2 e 1,7 g.cm⁻³, até 60 cm de profundidade, em média. Os solos orgânicos, variando com os percentuais de matéria orgânica presente, apresentam em média o valor de 0,6 g.cm⁻³ nos primeiros 40 cm, chegando a 1,2 g.cm⁻³ logo abaixo. Os percentuais de matéria orgânica, nesta situação, estão entre 19 e 20%.

A porosidade, por sua vez, é uma medida que expressa a relação entre o volume ocupado pelo ar e pela água e o volume total do solo. É, portanto, o resultado da interação entre a textura e a estrutura do solo e corresponde

Tabela 13.2 Classes texturais de solos de várzeas das principais bacias dos Cerrados.

| Classe Textural | Bacia | | | | | |
|-----------------|--|--|--|---|---|--|
| | Araguaia | Tocantins | Paraná | Paranaíba | Alto São Francisco | Alto Rio Paraguai |
| Arenosa | (GO) Aruanã (a) (GO) Formoso do Araguaia (a) | (GO) Pedro Afonso (a) (GO) Pedro Afonso (b) | (BA) Rio das Ondas (a) (BA) Rio das Ondas (b) (BA) Rio das Pedras (a) (BA) Rio das Pedras (b) | | | (MT) Rondonópolis (a) (MT) Rondonópolis (b) (MT) Pant. - Faz. Taiaman (a) (MT) Pant. - Faz. Taiaman (b) |
| Franca | (GO) Aruanã (b) (GO) São Miguel do Araguaia (b) (GO) Formoso do Araguaia (b) | | (GO) Rio Cana Brava (a) (GO) Rio Cana Brava (b) | (GO) Goiânia (a) (GO) Jandaia (b) (GO) Maurilândia (b) (GO) Castelândia (a) (GO) Castelândia (b) (GO) Sta. Vitória (a) (GO) Sta. Vitória (b) (MG) Mte. Alegre (a) (MG) Mte. Alegre (b) (MG) Mte. Carmelo (a) (GO) Rio Verde (a) (GO) Rio Verde (b) | (MG) Pirapora (a) (MG) Pirapora (b) (MG) Mtes. Claros (b) (MG) Bocaiúva (b) (MG) Paracatu (a) | |
| Argilosa | (GO) São Miguel do Araguaia (a) | | (GO) Rio Sta. Maria (a) (GO) Rio Sta. Maria (b) | (GO) Goiânia (b) (GO) Jandaia (a) (GO) Maurilândia (a) (GO) Bom Jesus de Goiás (a) (GO) Bom Jesus de Goiás (b) (MG) Mte. Carmelo (b) (MG) Patos de Minas (a) (MG) Patos de Minas (b) | (MG) Mtes. Claros (a) (MG) Bocaiúva (a) (MG) Curvelo (a) (MG) Curvelo (b) (MG) Paracatu (b) | |

(a) = Camada de 0 — 20 cm.

(b) = Camada de 20 cm.

ao espaço total disponível para o ar e para a água. Os solos minerais não-compactados de várzeas apresentam porosidade entre 36 e 62%, em média, enquanto que os orgânicos e os horizontes superficiais variam entre 55 e 77%. Existe nítida influência da matéria orgânica nesse parâmetro do solo.

13.4.4 RETENÇÃO DE ÁGUA

O conteúdo de água de um solo é resultante das forças e interações entre a água e a matriz do mesmo solo. A função que correlaciona a umidade e as tensões em que a água é retida é chamada de curva característica de umidade ou curva de retenção de água. Possui fundamental importância na quantificação dos processos de drenagem interna, no controle da aeração e da temperatura do solo e no dimensionamento da lixiviação de nutrientes. Obviamente, esta relação depende de muitos fatores, como o grau de homogeneidade do perfil, a granulometria, o tamanho e a distribuição dos poros no solo, a histerese e o percentual e o grau de decomposição da matéria orgânica.

Uma família de curvas características de umidade representativa de solos de várzeas é mostrada na Fig. 13.2. As posições relativas das curvas são diferentes. A referente aos solos de várzeas da área de Paracatu (MG) apresenta maior retenção de água. Esse caráter é determinado pelo maior percentual da matéria orgânica e da fração argila no solo (Tabela 13.2). Essa tendência manifesta-se também nas demais situações. Simultaneamente, outro aspecto característico é a forma das curvas que, apesar de representar solos das seis principais bacias que compõem os Cerrados, apresentam surpreendente semelhança de forma. Assim, são praticamente horizontais a partir da tensão de uma (01) atmosfera, exceto nos casos daqueles solos que apresentam maiores percentuais de matéria orgânica. Por isso, pode-se concluir que grande parte da água retida nos solos drena a tensões inferiores a uma atmosfera, o que reflete, sobretudo, seus altos valores de espaço poroso drenável.

Reis & Rassini (1982) comparam as curvas características de umidade em dois tipos de solos, representativos de várzeas do Brasil Central, correspondentes ao Gley Pouco Húmido, de textura franco-argilosa a argilo-arenosa, nos primeiros 60 cm de solo, e com 4 a 9% de matéria orgânica (Fig. 13.3), e a um solo orgânico franco-arenoso na superfície e argiloso em profundidade, com 19 a 20% de matéria orgânica (Fig. 13.4).

Os percentuais (em peso) de umidade correspondentes ao ponto de murchamento permanente são: 19% para o Gley, em todas as camadas do

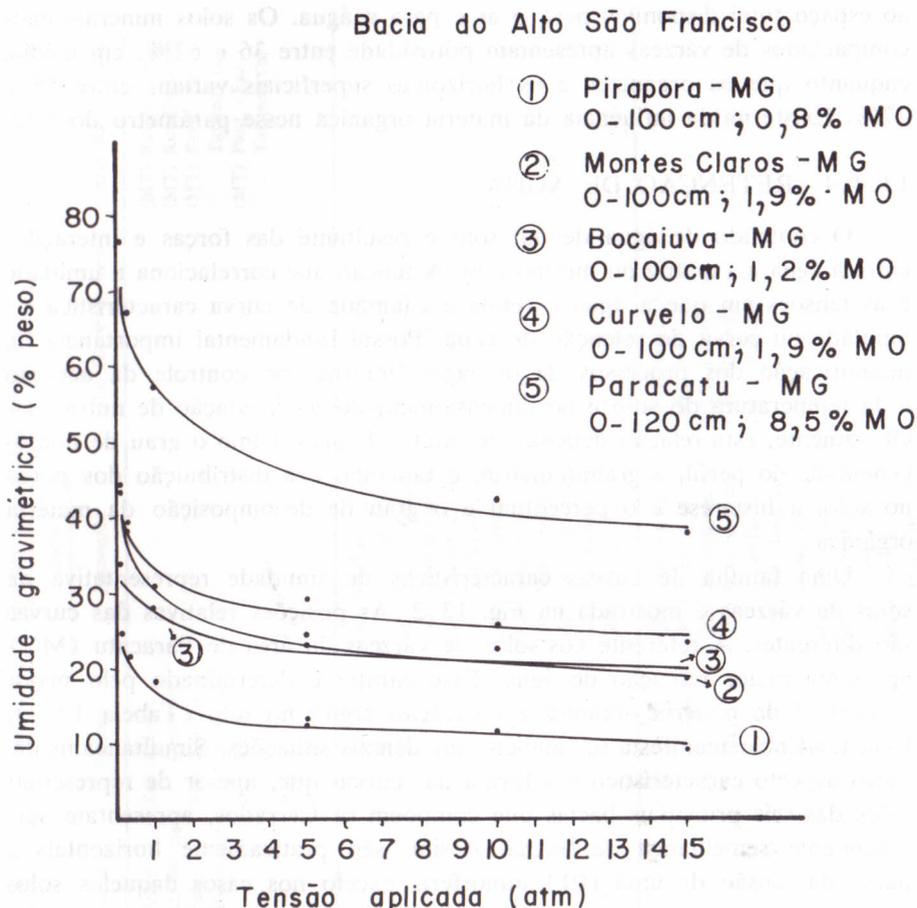


Fig. 13.2 Curvas características de umidade de solo, da bacia do Alto São Francisco, representativo de várzeas dos Cerrados.

perfil; 42% (de 0 a 20 cm), 37% (de 20 a 40 cm) e 28% (de 40 a 60 cm) para o solo orgânico.

As curvas potenciais que representam essas relações são da forma:

$$Y = KT^c, r^2$$

onde:

Y = teor de umidade no solo (% peso);

T = tensão aplicada (atmosferas);

K e c = constantes;

r^2 = coeficiente de determinação.

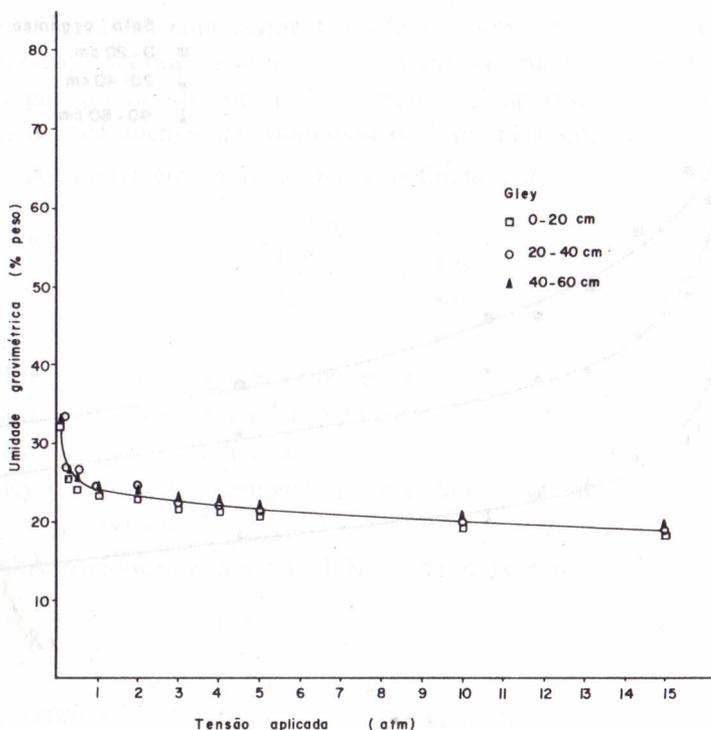


Fig. 13.3 Curva característica de umidade de solo Gley, representativo de varzeas dos Cerrados (CPAC, 1980-1981).

Foi estabelecida uma relação única para o Gley:

$$Y = 24,7891 T^{-0,0957}, r^2 = 0,95$$

No caso do solo orgânico, três curvas foram encontradas:

- 1) Na profundidade de 0 a 20 cm:
 $Y = 63,2784 T^{-0,1215}, r^2 = 0,93$
- 2) Na profundidade de 20 a 40 cm:
 $Y = 56,9225 T^{-0,1418}, r^2 = 0,98$
- 3) Na profundidade de 40 a 60 cm:
 $Y = 42,9137 T^{-0,1527}, r^2 = 0,99$

A curva de umidade do Gley pode ser caracterizada por uma brusca mudança no teor de umidade, entre 0,5 e 0,75 atm. Nota-se que 64,3% da umidade do solo é armazenada e posta em disponibilidade, a tensões inferiores a 1 atm. Este fato demonstra um comportamento muito similar ao da areia, apesar do caráter argiloso que lhe foi conferido pela textura. Presume-se, então, que tal propriedade está associada a uma drenagem de

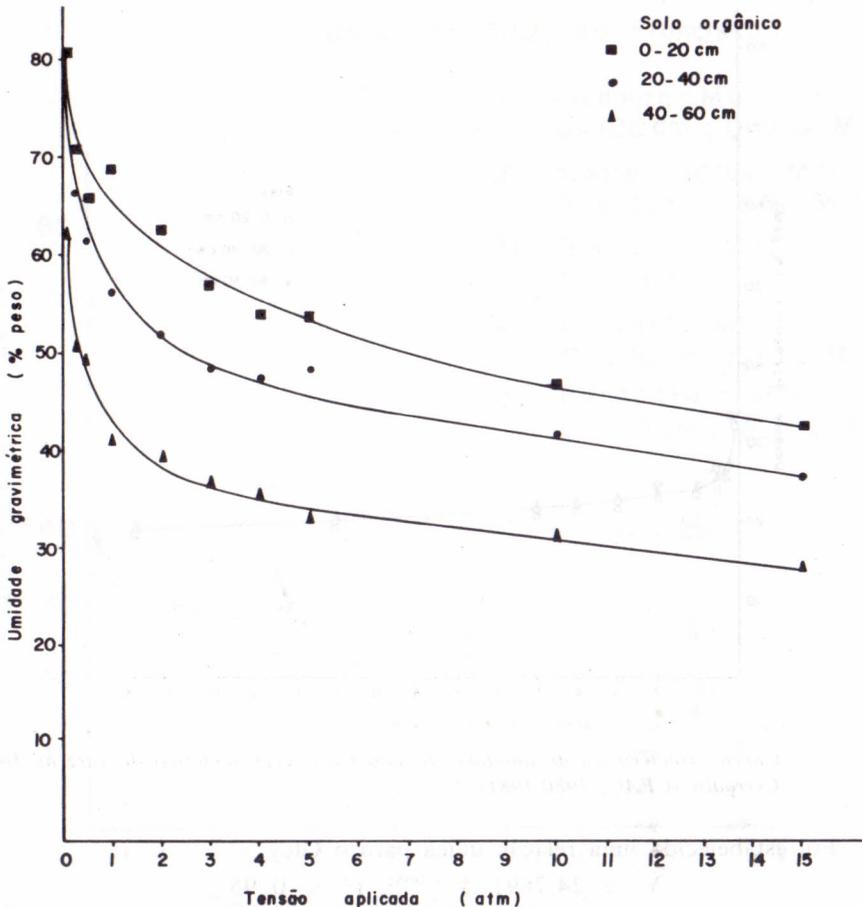


Fig. 13.4 Curva característica de umidade de solo orgânico, representativo de varzeas dos Cerrados (CPAC, 1980-1981).

macroporos, pequenos canais ou fissuras entre a massa de solo ou suas unidades estruturais.

O solo orgânico, pela presença de maiores percentuais de matéria orgânica, apresenta curvas potenciais mais suaves, drenagem mais gradativa e retenção mais elevada.

13.4.5 MOVIMENTAÇÃO DE ÁGUA

Um parâmetro físico importante no dimensionamento de um sistema de drenagem é a condutividade hidráulica dos solos. Raramente os solos

ocorrem na natureza com permeabilidade uniforme. Na maioria dos casos, a condutividade hidráulica diminui com a profundidade, devido à acumulação de argila no subsolo ou a algum tipo de compactação. Luthin (1973) define duas componentes da condutividade hidráulica saturada:

1) A componente vertical K_y é definida por:

$$K_y = \frac{\sum L_n}{\frac{L_1}{K_1} + \frac{L_2}{K_2} \dots + \frac{L_n}{K_n}}$$

onde:

$\sum L_n$ = a espessura total do perfil;

L_n = a espessura da camada que compõe o perfil;

K_n = sua condutividade;

K_y = a média harmônica ponderada das condutividades individuais verticais.

2) A componente horizontal K_x é definida por:

$$K_x = \frac{\sum_{n=1}^{\infty} K_n L_n}{\sum L_n}$$

Na verificação dessa tendência ($K_x \geq K_y$), através de um permeâmetro de carga constante, foram encontradas, e depois separadas analiticamente, as condutividades hidráulicas saturadas nos diferentes solos de uma topossequência representativa dos Cerrados (Tabela 13.3).

Esses dados confirmaram a predominância da permeabilidade horizontal sobre a vertical. Também foi observada a menor condutividade do Gley em relação à dos demais solos. Por outro lado, ficou evidenciado o efeito da matéria orgânica sobre as propriedades condutivas dos solos, principalmente quando se analisam K_y e K_x referentes aos solos orgânico e Gley.

Tabela 13.3 Variação espacial da condutividade.

| Solo | Condutividade vertical - K_y (cm/h) | Condutividade horizontal - K_x (cm/h) | K_x/K_y |
|----------|---------------------------------------|---|-----------|
| LV | 24,6 | 34,2 | 1,4 |
| LE | 31,2 | 32,4 | 1,0 |
| Gley | 3,6 | 13,8 | 3,8 |
| Orgânico | 14,5 | 28,3 | 2,0 |

Quanto aos problemas de estratificação nos solos de várzeas dos Cerrados, especialmente nos que aumentam o percentual de argila em profundidade, é possível detectar a presença de uma camada menos permeável, situada nos primeiros 2 m do perfil. Luthin (1973) afirma que essa menor permeabilidade corresponde, em geral, a 1/10 (um décimo) da permeabilidade das camadas superiores. Essa “barreira” tem grande importância do ponto de vista de manejo de água, sobretudo porque determina a profundidade e os espaçamentos dos drenos, bem como modifica o regime dos fluxos de água que entram no sistema de drenagem.

Deve-se considerar que, para efeito de formulação de projetos de drenagem e, em especial, de determinação de espaçamento de drenos, a condutividade hidráulica saturada horizontal é o parâmetro a ser utilizado.

13.5 RECUPERAÇÃO DE VÁRZEAS

A implementação de várzeas visa criar as bases necessárias para que se possam estabelecer metas de uma agricultura racional. A operacionalização consiste em selecionar, dentre as diversas situações, as práticas mais racionais, como:

- 1) *Saneamento agrícola*. Corresponde às medidas tomadas para adequar as terras inundáveis à ocupação pelo homem, tais como: implantação de obras de retificação de cursos de água, edificação de diques protetores e instalação de drenagem básica.
- 2) *Drenagem*. Visa eliminar a água superficial e subterrânea excessiva da área, a fim de viabilizá-la à produção agrícola.
- 3) *Irrigação*. Destina-se ao fornecimento adequado de água às culturas. Trabalhos de movimentação de terra (nivelamento ou sistematização) podem ser necessários para se atingir uma melhor eficiência do uso de água.

13.5.1 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE DRENAGEM

As várzeas possuem grande variabilidade espacial dos solos, característica que torna limitantes a quantificação e a possível extrapolação dos parâmetros físico-hídricos, determinantes do dimensionamento de um sistema de drenagem.

Albuquerque (1982), analisando a adequação de diferentes teorias de drenagem a três tipos de material poroso — solo aluvial eutrófico de textura franco-argilosa, Gley Húmico Distrófico, em associação com solos orgânicos distróficos e areia — concluiu que a ordem de adequação foi: Glover,

Donan-Hooghoudt, Hooghoudt, Tapp-Moody, Hammad, Bouwer-Schilfgaarde, Boussinesq-Schilfgaarde e Kirkham.

Na prática, as teorias mais simples, como as de Hooghoudt, são mais satisfatórias. Mesmo considerando suas simplificações no tratamento da equação, pode induzir, comparativamente, a um erro mínimo, pelo fato de que as propriedades do solo e de movimentação de água têm caráter errático e variável.

Reis & Rassini (1982) informam que os espaçamentos entre drenos (profundidade média de 1,2 m), de 60 m para o solo Gley e de 80 m para o solo orgânico, têm se mostrado eficientes. Mantém o lençol freático em profundidade compatível (60 cm, em média, abaixo da superfície do solo) com as exigências de culturas, tais como: feijão, milho, trigo, soja e aveia. Esse espaçamento foi calculado segundo o critério de 1,5 vezes o espaçamento dado pela equação de Hooghoudt, considerando-se um coeficiente de drenagem de $4,62 \text{ mm} \times \text{dia}^{-1}$.

Reis (1983), analisando os parâmetros de recarga durante dois anos, em solo de várzea declivosa (3%), quantificou um coeficiente de drenagem médio de $10,4 \text{ mm} \times \text{dia}^{-1}$. Observou também a existência de consideráveis fluxos ascendentes (artesianos) e horizontais, com uma contribuição aleatória dentro da área drenada, numa média de $8,4 \text{ mm} \times \text{dia}^{-1}$. Sugere, então, que os processos de recarga, oriunda das partes mais altas da bacia, manifestam-se por verdadeiras fraturas ou fissuras subterrâneas, aflorando, então, na planície da várzea. Desse modo, enfatiza a eficiência do sistema de drenagem de intercepção e de drenagem paralela para encostas (Fig. 13.5).

As características químicas desses solos podem alterar, de diversas maneiras, a eficiência de drenos abertos ou subterrâneos. Acredita-se, por exemplo, que os baixos valores de condutividade hidráulica, encontrados em condições de campos inundados, sejam consequência da presença do ferro reduzido e das altas concentrações de matéria orgânica. Nessas condições, o hidróxido de ferro precipita a solução do solo. A reação é descrita por:



Em decorrência das condições de redução prevalentes, forma-se uma substância gelatinosa, que diminui drasticamente a percolação. Essa mesma substância, precipitando em volta de drenos subsuperficiais, diminui consideravelmente a eficiência do sistema. Uma possível solução para esse problema seria a drenagem do solo, com a consequente oxidação do ferro presente. Assim, subdrenos instalados a pequena profundidade, associados a um bom

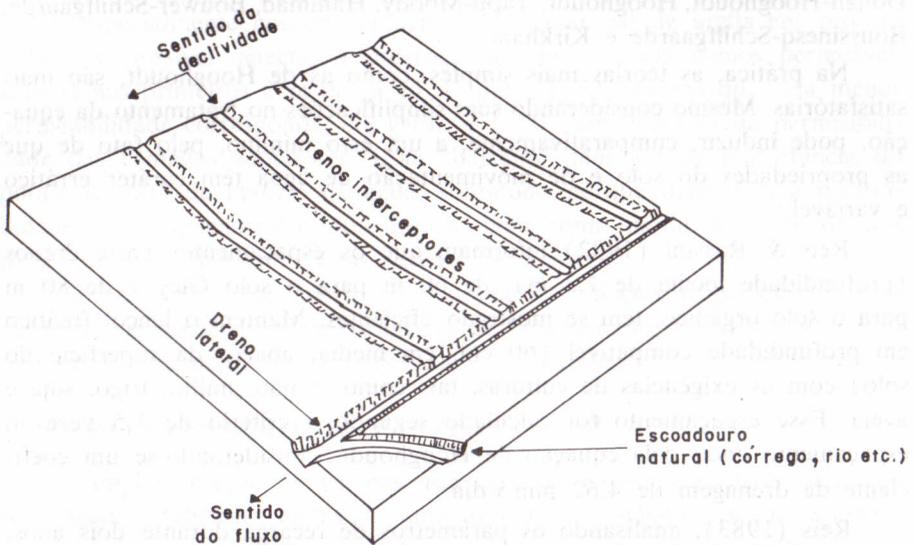


Fig. 13.5 Sistema de drenagem paralelo com drenos interceptores, próprio para áreas com declividades menores que 4%.

manejo de água, podem constituir uma alternativa para a solução do problema.

13.5.2 ABERTURA E PREPARO DA ÁREA

A abertura de áreas de várzeas é feita com a implantação do sistema de drenagem, projetado com base nas propriedades físico-hídricas do solo, climáticas e de culturas. Estabelecida a rede de drenagem e decidida sua modalidade (valas ou subdrenos), procede-se com sua implantação de forma manual ou mecânica. Reis & Rassini (1982) encontraram uma relação na implementação de drenos abertos de $15-16 \text{ m}^3 \times \text{h}^{-1}$, para o trabalho com retroescavadeira do tipo industrial não-adaptada, e de $0,4-0,6 \text{ m}^3 \times \text{h}^{-1}$, para o trabalho humano. Os custos estimados foram semelhantes nos dois sistemas. Todavia, o manual permitiu uma economia de aproximadamente 7% em relação ao emprego da máquina.

O preparo do solo é executado após a queima da vegetação nativa e o implemento de melhor desempenho, nessas condições, é a enxada rotativa ou o rotovalor (Fig. 13.6).

Segundo a RURALMINAS (1980), subsistem algumas dificuldades na implantação de projetos específicos de várzeas:

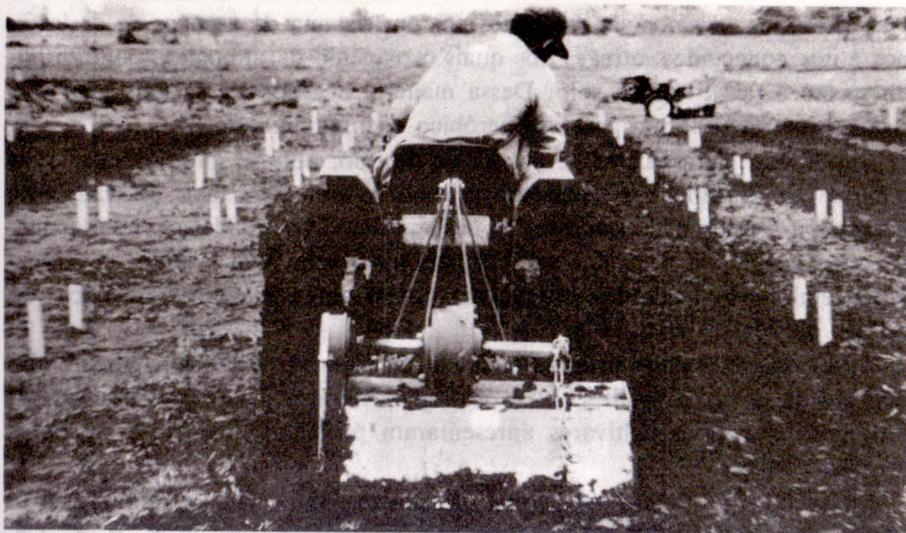


Fig. 13.6 *Enxada rotativa utilizada no preparo do solo para plantio (foto: Elen Soleire).*

- 1) operação com máquinas restrita à época seca do ano;
- 2) preço-hora de máquinas limitante à viabilização econômica;
- 3) desgaste prematuro de máquinas pelas condições operacionais reinantes;
- 4) necessidade de adaptação de máquinas;
- 5) projetos dispersos, resultando em desconcentração de máquinas e muita locomoção;
- 6) necessidade de mão-de-obra especializada.

Inferese do exposto que maquinaria e implementos adaptados ao trabalho nas condições de solos tropicais alagados constituem ainda uma lacuna, sobretudo quanto ao seu desenvolvimento tecnológico, às limitações energéticas e à carência de recursos humanos especializados para esses trabalhos.

13.5.3 CULTURAS ALTERNATIVAS

São vários os mecanismos que permitem à cultura do arroz e de algumas espécies nativas em solos inundados suportar os efeitos de baixa aeração ou de condições reduzidas. Com os valores de potencial *redox* do solo abaixo de 320 mV, que é um limite entre os solos oxidados e os reduzidos, essas plantas desenvolvem mecanismos de proteção ou de adaptação na superfície das raízes, os quais funcionam como órgãos de extração de água e de nutrientes.

Esses mecanismos são baseados em um sistema de espaços de ar internos e interconectados, através dos quais o oxigênio da atmosfera pode difundir-se até à raiz e daí ao solo. Dessa maneira a absorção de íons pela raiz realiza-se através de um processo aeróbico (aerênquimas).

Medindo eletronicamente a taxa de difusão, nota-se que, no estágio de plântulas, o transporte de oxigênio é maior e que essa taxa de transporte decresce à medida que as plantas se desenvolvem. Variedades de arroz irrigado e muitas plantas de “mangue” são bem adaptadas para esse tipo de transporte, embora muitas delas percam um pouco dessa adaptação no início do estágio de florescimento.

Estudos realizados com a finalidade de observar o comportamento das culturas de milho (Cargill 111) e de trigo (Alondra), em solos de várzeas, revelaram que essas cultivares apresentaram problemas em solos de baixa aeração (Tabela 13.4).

A análise do estado nutricional das plantas, no início do estágio reprodutivo, permitiu verificar que houve baixas concentrações de N, P, K, Ca, Mg, Cu e Zn, em plantas cultivadas num solo com lençol freático raso (baixa aeração), comparadas com as das plantas cultivadas em várzeas, com controle do lençol freático através da subirrigação.

A explicação desse fato advém das duas condições do solo durante o desenvolvimento das culturas. Com o lençol freático, permanecendo entre 50 a 60 cm de profundidade (subirrigação), houve, nessa camada do solo, condições aeróbicas satisfatórias para que as plantas pudessem absorver os elementos necessários para seu desenvolvimento. Por outro lado, onde o lençol freático foi mantido próximo à superfície, o solo permaneceu sob condições de baixa aeração, não permitindo que as plantas desenvolvessem seus sistemas radiculares e nem absorvessem os elementos necessários. Esse fato pode ser também observado na Fig. 13.7. Portanto, a não-adaptação dessas espécies cultivadas em solos com má aeração explica a tradição da monocultura do arroz em várzeas.

Entretanto, Lamster (1974) observou que, além da cultura tradicional de arroz irrigado em várzeas de Minas Gerais, outras espécies tiveram boa *performance* nesses solos, graças ao manejo adequado do lençol freático, em cultivos durante a entressafra, após o cultivo do arroz. Esses estudos verificaram que o aproveitamento racional das várzeas viabilizou altos rendimentos de culturas, como a do trigo, aveia, feijão, milho, olerícolas e outras.

Também Silva & Andrade (1979) observaram que a cultura do trigo em várzeas teve bom comportamento durante o período da estação seca, de maio a setembro, com irrigação controlada. Pereira (1980), trabalhando

Tabela 13.4 Concentração de elementos químicos nas folhas e caules (matéria seca-MS) de milho e de trigo, em duas condições de várzeas úmidas.

| Lençol freático | Cultura | Parte amostrada | Porcentagem na MS (a 65°C) | | | | | ppm na MS (a 65°C) | | | |
|-----------------------|---------|-----------------|----------------------------|------|------|------|------|--------------------|-------|------|------|
| | | | N | P | K | Ca | Mg | Cu | Fe | Zn | Mn |
| Profundo ² | Milho | Folha | 2,06 | 0,18 | 1,49 | 0,85 | 0,93 | 6,3 | 139,7 | 15,3 | 45,0 |
| Raso | Milho | Folha | 1,38 | 0,12 | 0,86 | 0,47 | 0,22 | tr ¹ | 80,3 | 12,0 | 64,5 |
| Profundo | Milho | Caule | 1,15 | 0,14 | 0,78 | 0,56 | 0,60 | tr | 49,5 | 31,7 | 45,0 |
| Raso | Milho | Caule | 0,76 | 0,11 | 0,50 | 0,42 | 0,38 | tr | 35,7 | 14,8 | 63,8 |
| Profundo | Trigo | Folha | 2,35 | 0,12 | 1,01 | 0,65 | 0,42 | 1,8 | 114,8 | 10,8 | 41,0 |
| Raso | Trigo | Folha | 1,69 | 0,09 | 0,60 | 0,55 | 0,27 | tr | 21,8 | 2,8 | 87,0 |
| Profundo | Trigo | Caule | 1,39 | 0,15 | 1,17 | 0,15 | 0,15 | 1,3 | 33,8 | 20,3 | 47,7 |
| Raso | Trigo | Caule | 1,10 | 0,12 | 0,97 | 0,13 | 0,13 | tr | 34,3 | 13,7 | 73,0 |

(1) Traços.

(2) Lençol freático mantido entre 50 e 60 cm da superfície do solo.



Fig. 13.7 Cultura do milho em duas condições de aeração de um solo de várzea (foto: Elen Soleire).

com aveia forrageira, conseguiu até três cortes durante a entressafra, em solos de várzeas de Minas Gerais.

O manejo de água para o cultivo de espécies não tradicionais em solos de baixa aeração deve ser muito bem feito. Nesse particular, Rossi & Mundstock (1980) observaram que o cultivo do milho exige solo com boa aeração. Rollim et al. (1981) observaram também que o cultivo de soja em várzeas do rio Formoso do Araguaia apresentava alguns problemas de irregularidade no crescimento e maturação, necessitando assim de um manejo de água mais adequado.

Procurando verificar a adaptabilidade de outras espécies em várzeas, Reis & Rassini (1982) observaram o comportamento de quatro espécies, cultivadas após o arroz, num solo Gley Húmico (Tabela 13.5). Nos cultivos de entressafra, o método utilizado foi o de subirrigação, com o lençol freático a 60 cm de profundidade.

O arroz (var. IAC-899) não teve bom comportamento como cultivo de entressafra, permanecendo com 10 a 15 cm de altura, durante todo ciclo, devido à ocorrência de baixas temperaturas durante o período de maio a setembro. Observa-se que as condições climáticas da região durante esse período, quando ocorrem temperaturas abaixo de 22°C, não permitem que

Tabela 13.5 Comportamento de diversas espécies, em seqüência de culturas, num solo de várzeas.

| Seqüência | Ciclo (dias) | Produção (kg/ha) |
|-----------|--------------|------------------|
| Arroz | 169 | 3.749 |
| Arroz | * | — |
| Arroz | 169 | 3.854 |
| Soja | * | 850 |
| Arroz | 169 | 3.948 |
| Trigo | 116 | 2.500 |
| Feijão | 77 | 808 |
| Arroz | 169 | 4.156 |
| Aveia | 138 | 1.387 |

* Não foi possível observar o ciclo, devido aos problemas mencionados no texto.

o arroz tenha um desenvolvimento normal (Bernardes & Mohr, 1962) e não seja, portanto, uma cultura viável nessa época do ano.

A soja (var. Doko) teve bom desenvolvimento (80 a 90 cm de altura), boa inserção de vagem (15 a 18 cm). Não foi observado acamamento. A nodulação foi excelente, principalmente a das estirpes 29W e 587 de *Rhizobium japonicum*. Observou-se, porém, que a cultura apresentou problemas de retenção foliar e, conseqüentemente, baixos rendimentos, devido, possivelmente, à constância de umidade no solo durante todo seu ciclo. Isso indica a necessidade de um manejo de água mais adequado.

A aveia forrageira (var. Coronado) não atingiu a altura esperada para que se pudesse avaliar a produção de matéria seca. O fato foi atribuído à sensibilidade da variedade utilizada ao lençol freático e aos níveis de adubação de manutenção (N, P, K) adotados para a cultura.

A cultura do trigo (var. Alondra) apresentou melhor comportamento entre todas as espécies testadas, confirmando os resultados de Silva & Andrade (1979). Foi testada também a viabilidade de até três cultivos em várzeas durante um ano agrícola. Para isso, após o cultivo do trigo, foi semeado o feijão (var. CNF-010). Essa cultura, apesar de apresentar boas características agrônômicas, com 77 dias de ciclo e com 80 a 85 cm de altura de planta, apresentou baixos rendimentos, em razão de doenças e chuvas ocorridas na época de formação de grãos e na colheita.

Todavia, pode-se assegurar que a cultura do feijão é viável em várzeas, como cultivo de entressafra, desde que se antecipe a época de semeadura, de

tal forma que o final do seu ciclo não coincida com o início das chuvas, em outubro.

13.6 MODIFICAÇÕES AMBIENTAIS

De modo geral, as várzeas, qualquer que seja a sua formação, apresentam peculiaridades naturais próprias, diferentes das dos demais ecossistemas. A vegetação nativa, em grande parte, é constituída por espécies rasteiras, subarbusivas, arbustivas e raramente arbóreas. Outra peculiaridade comum ao ecossistema é a água de drenagem, quase sempre com baixa concentração de elementos químicos e pH ácido.

Em decorrência da exploração agrícola dessas áreas, verificam-se certas transformações ecológicas.

13.6.1 QUALIDADE DA ÁGUA DE DRENAGEM

Um dos elementos passíveis de serem modificados com a recuperação e o uso intensivo das várzeas é a água de drenagem. É de vital importância o monitoramento da qualidade dessa água, em virtude da possibilidade de uma reutilização como água e irrigação, para consumo animal ou pelas reações que pode provocar nos condutos subsuperficiais de drenagem.

Adições de corretivos e fertilizantes ao solo podem, certamente, modificar o equilíbrio químico entre solo e água. Entretanto, a taxa de alteração parece ser muito lenta. Reis & Rassini (1982) mostraram que, em dois anos de uso intensivo da área, as águas de drenagem apresentaram baixa condição de salinização, baixa condição sódica, pH estável em torno de 6,0, aumento nas concentrações de Ca^{2+} e Na^{+} e constância nas pequenas concentrações de elementos, como K^{+} e Mg^{2+} . Entretanto, pequena relação foi encontrada entre as frações lixiviadas, como função da variação e distribuição de chuvas, o que pode indicar que outros fatores de solo e ambientais, especialmente a temperatura, podem prevalecer como determinantes da atividade química e biológica na água desses solos.

13.6.2 VEGETAÇÃO NATURAL E INVASORAS

Após a implementação do sistema de drenagem e o preparo convencional do solo de várzeas, verifica-se uma marcante substituição da vegetação higrófila natural por invasoras de folhas largas. Tal situação agrava-se com o uso de corretivos e fertilizantes.

A vegetação invasora estabelecida dentro do sistema de drenagem aberto poderá reduzir, em muito, a eficiência de drenagem, permitindo um escoamento mais lento da água e promovendo obstruções dos condutos.

A remoção dessas invasoras visa facilitar o preparo do solo e permitir um melhor aproveitamento do projeto de drenagem para a produção agrícola. A fim de evitar eventual concorrência com a cultura a ser estabelecida, preconiza-se o uso de herbicidas antes do plantio, ou seja, no preparo final do solo. Do mesmo modo, o controle de invasoras no sistema de drenagem (canais) poderá ser feito quimicamente. Contudo, persistem indagações sobre o conhecimento dessas invasoras, sua flutuação anual, o teor de matéria orgânica no solo e seus efeitos na eficiência de herbicidas, a fitotoxicidade dos produtos e a persistência nas culturas subseqüentes. O emprego de herbicidas nos drenos poderá conduzir a uma deterioração da água de drenagem, limitando um possível reaproveitamento ou prejudicando os mananciais a jusante.

O emprego de lança-chamas, alimentados com combustíveis menos inflamáveis, no controle de plantas daninhas em sistemas de drenagem (canais), parece ter plena aceitação entre os agricultores da Califórnia-EUA e não tem provocado nenhum impacto ou conseqüência nociva ao meio ambiente.

No entanto, o emprego do fogo para o controle de invasoras, em terrenos orgânicos ou turfosos, drenados, deve ser evitado porque há o perigo da combustão dos mesmos.

13.7 CONCLUSÕES

Pouco ainda se conhece sobre as várzeas, em termos de alternativas tecnológicas ou de soluções para os problemas relativos à sua incorporação ao processo produtivo. Os estudos neste sentido são recentes e não acompanham cronologicamente a evolução dos projetos implantados ou a implantar.

As estimativas de área indicam a existência de um grande potencial de várzeas a ser aproveitado, em que o fator de produção água é disponível em abundância. Recai, no entanto, sobre a drenagem e o manejo de água elevada importância no seu aproveitamento agropecuário racional.

Nesse ecossistema, observam-se diversos tipos de solo, predominando as seguintes classes: Gley Pouco Húmico (HGP), Gley Húmico (HG), Laterita Hidromórfica (HL), Solos Aluviais (A), Solos Orgânicos (HO), Areia Quartzosa Hidromórfica (HAQ) e alguns Latossolos em condições de má drenagem.

A vegetação em várzeas na região dos Cerrados é formada predominantemente por campos de várzeas, parques de cerrado e mata ciliar ou de galeria.

Dentro do processo de implementação dessas áreas, deve-se considerar que a predominância de texturas arenosas, a existência de solos muito argilosos, os altos teores de Fe e suas reações de reduções podem comprometer a eficiência do sistema de drenagem projetado.

Normalmente, esses solos em condições de inundação sofrem certas mudanças químicas, como: acumulação de NH_4^+ , desnitrificação (perdas de 20 a 300 kg de N/ha/ano) e redução de Fe. Entretanto, os problemas tornam-se mais relevantes quando se pode detectar a existência de grande variação da fertilidade natural das várzeas na região dos Cerrados. Encontram-se solos com alta fertilidade, assim como solos em que culturas mais exigentes que a do arroz, tradicionalmente cultivado nessas condições, teriam problemas de estabelecimento.

O meio físico dos solos de várzeas é heterogêneo em suas propriedades mecânicas e de condução de água. Sua distribuição granulométrica mostra que podem ser facilmente degradados, caso não tenham conveniente manejo.

Em decorrência de sua variabilidade natural, são fatores limitantes a quantificação e a possível extrapolação das propriedades hidrodinâmicas, no dimensionamento de um sistema de drenagem. Contudo, parece viável a aplicação de teorias selecionadas para estimativas de espaçamento de drenos.

Os processos de abertura e de preparo da área requerem, sobretudo, uma melhor adequação das máquinas e dos implementos para aquelas condições, bem como especialização da mão-de-obra.

As alterações de ordem química na água de drenagem parecem se processar em ritmo lento, de forma que é baixo os perigos de salinização e de condições sódicas.

Observa-se que culturas não tradicionais em várzeas, como o trigo, o milho, a aveia forrageira, o feijão e a soja, são sensíveis à condição de baixa aeração, todavia, viáveis, desde que se faça um manejo adequado de água.

13.8 NECESSIDADE DE PESQUISAS FUTURAS

A ocupação de novas áreas e a otimização do processo produtivo encontram-se na dependência dos resultados evolutivos de pesquisa. Especificamente, no que concerne ao manejo de água, de culturas e de solo nas áreas de várzeas, poucas informações são disponíveis a nível nacional. Em vista disso, não se permite a generalização da necessidade de pesquisas. Entretanto,

é possível o estabelecimento de prioridades, orientadas para os objetivos seguintes:

1) *A nível de unidade hidrológica:*

- a) estudo sobre as condições atuais de manejo das bacias hidrográficas e o seu impacto na área de várzeas;
- b) estudo de alternativas de manejo das bacias hidrográficas e o seu relacionamento com o uso eficiente do ecossistema várzea.

2) *A nível de plano do vale:*

- a) parametrização dos métodos de drenagem, de acordo com as características físico-hídricas dos solos, sua variabilidade espacial e aspectos climáticos da região;
- b) viabilidade de utilização das diferentes teorias de escoamento de drenagem a nível de campo;
- c) determinação técnico-econômica das alternativas de métodos e de manejo de drenagem, em função das propriedades físico-químicas dos solos;
- d) adaptação e teste de maquinaria e de equipamentos de drenagem;
- e) estudo de fertilidade (calagem, corretivos e adubação de manutenção);
- f) efeito das condições de saturação do solo nos níveis de ferro, manganês e na mineralização do nitrogênio;
- g) estudo sobre a suscetibilidade de culturas não tradicionais ao ecossistema várzea, envolvendo o manejo do lençol freático;
- h) manejo de culturas não tradicionais: adubação de manutenção (N, P, K e micronutrientes), espaçamento e densidade, época de semeadura, variedades, controle de ervas daninhas e outros;
- i) adaptação ou formulação de modelos físico-matemáticos do sistema água-solo-planta nas condições de várzea.

13.9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, P.E.P. de. *Validade de algumas equações de drenagem para drenos cobertos em condições de laboratório*. Viçosa, UFV, 1982. 84p. Tese de Mestrado.
- BERNARDES, B.C. & MOHR, W. *Cultura e adubação do arroz*. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, Indústria e Comércio do Estado do Rio Grande do Sul, 1962. 48p.
- ESPINOZA, W.; AZEVEDO, J.A. & REIS, A.E.G. dos. *Variação do regime hídrico em dois solos sob cerrados LVE e LVA em função da cobertura vegetal*. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, 15(3):283-95, jul., 1980.

- FREIRE, F.M. & NOVAES, R.F. Solos de várzeas, características e problemas relativos à fertilidade. *Inf. Agropec.*, Belo Horizonte, 6(65):24-34, 1980.
- HOOGHOUDT, S.B. Bijdragen tot de kennis van eenige natuurkundige grootheden van den grond, 7, Algemeene beschouwing van het probleem van de detail ontwatering en de infiltratie door middel van parallel loopende drains, slooten, en kanelen. *Verl. Landbouwk Ond.*, 46:515-707, 1940.
- HOWELER, R.H. Iron-induced orange diseases of rice in relation to physico-chemical changes in a flooded Oxisol. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 37:898-903, 1973.
- LAMSTER, E.C. *Convênio Brasil/Alemanha — Programa de Cooperação Técnica com a ACAR-MG, Resumo final (1969-1974)*. Belo Horizonte, ACAR, 1974. 16p.
- LAMSTER, E.C. Programa Nacional de Aproveitamento Racional de Várzeas Irrigáveis — PROVÁRZEAS Nacional. *Inf. Agropec.*, Belo Horizonte, 6(65):3-8, 1980.
- LUTHIN, J.N. *Drainage engineering*. New York, Robert E. Krieger Publishing Co., 1973, 250p.
- MADEIRA NETO, J.S. & MACEDO, J. Contribuição para a interpretação dos levantamentos de solos. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, 1981. 32p. (EMBRAPA-CPAC. Boletim de Pesquisa, 6).
- NOVAES, F. de; BONIFÁCIO, A. & LAMSTER, E.C. *Programa Nacional de Aproveitamento Racional de Várzeas Irrigáveis — PROVÁRZEAS Nacional, 1.000.000 hectares*. Brasília, SNAP/EMBRATER, 1980. 28p.
- PATELLA, J.F. *Arroz em solo inundado: uso adequado de fertilizantes*. São Paulo Nobel, 1976. 76p.
- PEREIRA, J.P. Vantagens do cultivo de forrageiras de inverno. *Inf. Agropec.*, Belo Horizonte, 6(71):37-44, 1980.
- PONNAMPERUMA, F.N. *Investigación química del suelo en IIRRI*. Los Banos, IIRI, 1967. 8p.
- REIS, A.E.G. dos. Análise de recarga do lençol freático e escoamento subsuperficial em várzea dos cerrados (a ser publicado pela revista *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília).
- REIS, A.E.G. dos. & RASSINI, J.B. Resultados preliminares de algumas características físicas, químicas e de culturas em solo de várzea na região dos cerrados. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 6., Brasília, DF., 1982. *Cerrado: alimento e energia*. Brasília (no prelo).
- ROLLIM, R.B.; MONTEIRO, P.M.F.O.; COSTA, A.Y.; BUENO, L.G. & STEINDORFF A.P. Estudo do comportamento da soja (*Glycine max* L.) (Merrill), na entressafra (dias curtos) no Estado de Goiás. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 2., Brasília, DF., 1981. *Anais...* Londrina, EMBRAPA-CNPSo, 1982. v.2, p.425-40.
- ROSSI, G. & MUNDSTOCK, C.M. Desenvolvimento do sistema radicular, rendimento e componentes do rendimento do milho (*Zea mays* L.) sob diferentes níveis de drenagem do solo. *R. Bras. Ci. Solo.*, Campinas, 4(1):1-4, 1980.
- RURALMINAS. Coordenadoria de Irrigação e Drenagem. Programa de Aproveitamento de Várzeas do Estado de Minas Gerais. PROVÁRZEAS-MG. *Inf. Agropec.*, Belo Horizonte, 6(65):8-3, 1980.
- RUSSELL, E.W. *Soil conditions and plant growth*. 10. ed. London, Longman, 1973. p. 685-6.
- SILVA, A.R. & ANDRADE, J.M.V. *A cultura do trigo nas várzeas de Minas Gerais, possibilidades e dificuldades*. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, 1979. 68p. (EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, 2).