



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbcs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

NUNES, M. L.; KLAMT, E.; REICHERT, J. M.; DALMOLIN, R. S. D.
CARACTERÍSTICAS DE SOLOS SISTEMATIZADOS EM DUAS ÁREAS CULTIVADAS COM ARROZ
SOB INUNDAÇÃO

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 26, núm. 2, 2002, pp. 395-406

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180218325014>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

CARACTERÍSTICAS DE SOLOS SISTEMATIZADOS EM DUAS ÁREAS CULTIVADAS COM ARROZ SOB INUNDAÇÃO⁽¹⁾

**M. L. NUNES⁽²⁾, E. KLAMT⁽³⁾,
J. M. REICHERT⁽⁴⁾ & R. S. D. DALMOLIN⁽⁵⁾**

RESUMO

A sistematização dos solos, um processo de adequação da superfície do terreno, vem sendo introduzida em grande escala em diversas propriedades orizícolas do estado do Rio Grande do Sul, gerando alterações nas propriedades morfológicas, físicas, químicas e biológicas dos solos. Para estudar estas alterações, selecionaram-se áreas-testes em superfícies homogêneas onde ocorrem Planossolos sistematizados em diferentes épocas (oito anos, um ano e um mês) e em perfis não alterados (original), no município de São João do Polêsine (RS). A descrição morfológica e a coleta de amostras dos horizontes e, ou, camadas dos perfis representativos das áreas de corte e aterro (sistematizadas) e não alterados foram efetuadas em 1997/98. Nas áreas de corte, observaram-se as maiores alterações em relação aos perfis originais, com concentração mais elevada de argila, teores mais baixos de carbono orgânico e fósforo e teor mais elevado de Al trocável, principalmente no primeiro ano após a sistematização. A sistematização aumentou a densidade do solo em subsuperfície, em razão do intenso tráfego de máquinas, e reduziu a compactação na superfície, pelo revolvimento com o preparo do solo e incorporação de resíduos da cultura do arroz. As camadas superficiais dos perfis de corte apresentaram teores de Fet, Fed e Alt semelhantes aos do horizonte Btg do perfil original. Os ciclos de umedecimento e secagem a que os solos foram submetidos alteraram os tipos de óxidos de ferro, com aumento das formas mal cristalizadas.

Termos de indexação: sistematização do solo, morfologia do solo, óxidos de ferro.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado, apresentada pelo primeiro autor ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Recebido para publicação em julho de 2000 e aprovado em outubro de 2001.

⁽²⁾ Engenheiro-Agrônomo, MSc, Rua João Pessoa, 773/303, CEP 96010-470 Pelotas (RS). E-mail: mnunes@geo.uapt

⁽³⁾ Professor Titular Aposentado, Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Caixa Postal 776, CEP 90001-970 Porto Alegre (RS). E-mail: fklamt@terra.com.br

⁽⁴⁾ Professor Titular, Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. CEP 97105-900 Santa Maria (RS). Pesquisador do CNPq. E-mail: reichert@ccr.ufsm.br

⁽⁵⁾ Professor Assistente, Departamento de Solos, UFSM. E-mail: dalmolinrsd@bol.com.br

SUMMARY: SOIL PROPERTIES AFFECTED BY LAND LEVELING AT TWO PADDY RICE FIELDS

Soil or land leveling, a process of adequation of land surface, is being practiced in many rice-growing farms in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. This process produces profound changes in the morphological, physical, chemical, and biological properties of the soil. To study these changes, test areas were selected with homogeneous surfaces where Planosols occur and on which land leveling was performed for eight years, one year, and one month and with original soil, at São João do Polêsine. Soil morphology was described and soil samples collected at horizons and/or soil layers of leveled (cut and filled-in) profiles and original (unleveled soil) areas. In the areas of removal of (cut) material, significant changes were observed, namely higher clay content, low soil organic carbon and phosphorus, as well as higher exchangeable aluminum, mainly in areas of one year after leveling. The leveling process increased soil bulk density and reduced total porosity in the subsurface, due to the intense machinery traffic. The compaction of the surface layer was reduced by soil tillage and incorporation of rice crop residues. Total and DCB extracted iron and total aluminum of the subsurface layers of cut profiles were similar to the original Btg horizon. Soil wetting and drying cycles, originated by rice irrigation, affected the types of iron oxide, increasing oxides with low crystallinity.

Index terms: Land leveling, soil morphology, iron oxides.

INTRODUÇÃO

O processo de sistematização, utilizado por orizicultores gaúchos, consiste no nivelamento da superfície do solo, em um plano pré-definido, utilizando o solo das cotas mais elevadas (originando áreas de corte) para aterrar os de cotas inferiores (originando áreas de aterro) (IRGA, 1996; EMBRAPA, 1999b). Este processo origina terraços em forma de patamar como os encontrados amplamente na China, Japão e Filipinas. O terreno plano formado apresenta vantagens em relação à superfície original, como um melhor manejo da água (Anbumozhi et al., 1998), menor incidência de pragas e doenças, menor oscilação de temperatura da água e solo, além de melhorar a eficiência nos tratamentos culturais. O melhor aproveitamento do solo, devido à redução da área ocupada com taipas, e a economia de insumos também foram destacados (EMBRAPA, 1992; Parfitt et al., 1999), além da incorporação de áreas para o cultivo de arroz irrigado, não adequadas para tal nas condições originais (Anbumozhi et al., 1998).

Nesse processo, percebe-se grande mobilização de solo, ocorrendo uma mistura de horizontes, originando solos com estratificação de material nas áreas de aterro e, muitas vezes, a exposição do horizonte subsuperficial nas áreas de corte. As condições naturais do solo são modificadas, afetando várias de suas características, particularmente os compostos de ferro, que são susceptíveis às condições de oxirredução em cultivo de arroz por inundação (Kämpf, 1987). A produtividade de cultivos é reduzida em áreas de exposição da subsuperfície do solo em razão da baixa concentração de nutrientes e

de matéria orgânica (Heilman & Thomas, 1961; Thomas et al., 1974; Preve & Martens, 1990; Unger et al., 1990). Estratégias para recuperação química dessas áreas incluem a fertilização inorgânica (Thomas et al., 1974) ou orgânica (Robbins et al., 1997).

Apesar de ser uma prática usual nas áreas orizícolas do estado do Rio Grande do Sul, praticamente inexistem trabalhos publicados sobre sistematização, seus efeitos nas propriedades dos solos e evolução dessas propriedades com os cultivos subsequentes de arroz e outras culturas.

O objetivo principal deste trabalho foi quantificar e avaliar as alterações nas propriedades morfológicas, físicas e químicas de solos sistematizados, dando ênfase às formas dos óxidos de ferro.

MATERIAL E MÉTODOS

No mapa de solos do município de São João do Polêsine na região da Depressão Central do Rio Grande do Sul, na escala 1:20.000 (Klamt et al., 1997), foram selecionadas áreas de ocorrência de Planossolos Hidromórficos eutróficos típicos (EMBRAPA, 1999a) não sistematizados adjacentes a áreas com sistematização do terreno. Com o auxílio dos proprietários destas áreas, avaliaram-se o processo de sistematização utilizado, a data de execução e o tipo de manejo imposto a estas áreas. Após checagem em campo das características dos solos, selecionaram-se duas áreas-testes onde foram descritos e amostrados oito perfis de solos segundo método descrito por Lemos & Santos (1996).

Na área 1, foram estudados o perfil original (1PO), perfis de aterro e de corte com um mês (1PA₀ e 1PC₀) e com um ano (1PA₁ e 1PC₁) após a sistematização. Na área 2, os perfis estudados foram: perfil original (2PO) e perfil de aterro e corte com oito anos após a sistematização (2PA₈ e 2PC₈).

As áreas 1 e 2, de aproximadamente 2 ha cada, estão separadas por uma distância aproximada de 500 m e apresentam particularidades distintas entre si. A área 1 apresenta, na superfície do solo, exposição de horizonte subsuperficial argiloso, graças à maior profundidade de corte durante o processo de sistematização; enquanto, na área 2, o material é mais arenoso, sendo a profundidade de corte menor.

As descrições e as amostragens dos perfis 1PA₀ e 1PC₀ foram feitas em solo sem qualquer vegetação e adubação, enquanto, nos perfis 1PA₁, 1PC₁, 2PA₈ e 2PC₈, o solo estava com plantas de arroz emergidas há 30 dias e adubado com NPK na semeadura.

As amostras, após secas ao ar, foram destorroadas e peneiradas, obtendo-se a fração com diâmetro menor que 2 mm (TFSA). As análises físicas determinaram a composição granulométrica com quantificação da areia por peneiramento úmido, argila pelo método de Boyoucos e silte por diferença (EMBRAPA, 1997); a densidade do solo, a partir de amostras indeformadas coletadas com anel volumétrico de Kôpeck, e a densidade de partículas, pelo método do picnômetro (Blake & Hartge, 1986). A porosidade total (Pt) foi calculada com base nas densidades do solo (ds) e de partículas (dp) pela equação: $Pt (dm^3 dm^{-3}) = (dp - ds) / dp$.

As análises químicas determinadas foram: pH em água e em KCl 1 mol L⁻¹, medidos com eletrodo de vidro em suspensão solo-água ou solo-solução de KCl 1 mol L⁻¹ na proporção solo-líquido 1:2,5; carbono orgânico, pela oxidação via úmida com K₂Cr₂O₄ e titulação com FeSO₄ 0,05 mol L⁻¹; Al trocável, extraído com solução de KCl 1 mol L⁻¹ e quantificado por titulometria com NaOH 0,025 mol L⁻¹ e azul-bromitimol com indicador; H + Al, extraídos com solução de Ca(OAC)₂ 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0 e titulados com NaOH 0,0606 mol L⁻¹ e fenolftaleína como indicador; H, calculado por diferença (EMBRAPA, 1997); Ca²⁺ e Mg²⁺, extraídos com solução de KCl 1 mol L⁻¹ e determinados por espectrofotometria de absorção atômica; K⁺ e Na⁺, extraídos com solução PA (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹) e determinados por fotometria de chama; fósforo extraível, obtido com solução de PA (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹) mais solução de PB (HCl 0,87 mol L⁻¹ e (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O) e PC (ácido 1-amino-2-naftol-4-sulfônico, sulfito de sódio e metabissulfito de sódio) e determinado por colorimetria (Tedesco et al., 1995).

A soma de bases (S), saturação por bases (V) e por alumínio e a capacidade de troca de cátions (CTC) foram calculadas segundo EMBRAPA (1997), e a atividade da argila foi estimada segundo Camargo et al. (1987).

Os teores de Fe e Al totais (Fet e Alt) foram determinados por digestão em HCl 6 mol L⁻¹ (Dick & Kämpf, 1988); Fe e Al na forma de oxihidróxidos “livres” (Fed e Ald) foram extraídos com ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) (Mehra & Jackson, 1960), enquanto Fe e Al de baixa cristalinidade (Feo e Alo) foram extraídos com oxalato de amônio (McKeague & Day, 1966). A determinação desses elementos em cada um dos extratos foi efetuada por espectrofotometria de absorção atômica.

As alterações nos solos impostas pela sistematização do terreno foram avaliadas comparando as propriedades dos perfis originais aos perfis afetados pelo processo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Morfologia dos solos

As características morfológicas dos perfis encontram-se no quadro 1. Em relação aos respectivos perfis originais 1PO e 2PO, os perfis de corte 1PC₀, 1PC₁ e 2PC₈ diferenciaram-se por apresentar exposição de material da subsuperfície (horizontes Btg e, ou, EB) na superfície sistematizada do solo, evidenciados pela semelhança na cor, teor de argila e consistência do solo. Essas características constituem um dos principais problemas em solos sistematizados recentemente, implicando prováveis limitações às práticas de manejo.

Os perfis de aterro 1PA₀, 1PA₁ e 2PA₈ diferiram dos originais quanto à cor da matriz, com presença de mosqueados, e estrutura moderada e laminar. A presença de estrutura laminar, nos primeiros 20 cm de profundidade, deveu-se à compressão do solo exercida pelo tráfego de equipamentos pesados no processo de sistematização e manejo do solo (Machado et al., 1981) onde alterações na estabilidade de agregados eram esperadas (Unger et al., 1990). Assim, a presença de camadas estratificadas, originadas da sobreposição de materiais heterogêneos, e a exposição de horizontes subsuperficiais na superfície dos solos, originados pela remoção dos horizontes superficiais, foram causas das variações das características morfológicas dos solos sistematizados. Dessa forma, as características morfológicas desses solos foram dependentes do tipo de solo utilizado e do processo de sistematização, aos quais se sobrepõem os processos pedogênicos, como descrito por Kämpf et al. (1997).

Propriedades físicas

Os perfis originais apresentaram gradiente textural abrupto entre os horizontes E ou EB e Btg, característica de Planossolo (Quadro 2). Em relação ao respectivo perfil original (1PO), os perfis de aterro

Quadro 1. Características morfológicas de diferentes horizontes e, ou, camadas, de perfis originais e solos sistematizados (corte e aterro) para o cultivo de arroz

Horizonte e, ou, camada	Limite	Cor solo úmido	Textura ⁽¹⁾	Estrutura	Consistência ⁽²⁾		
					Seca	Úmida	Molhada
cm							
Área 1							
Perfil original - 1PO							
A ₁	0-40	10YR 4,5/2	FA	Fraca, blocos subangulares	LD	Fr	NP/LP
E	40-80	10YR 5/1,5	FA	Fraca, blocos subangulares, maciça	MD	MF	NP/LP
Btg	70-130+	10YR 4/1	MA	Moderada, prismática e colunar	ED	F	P/P
Perfil de aterro - 1PA ₀							
I	0-10	10YR 3/2,5	FAA	-- ⁽³⁾	MD	--	LP/LP
II	10-19/21	10YR 3/2	FAA	--	MD	--	LP/LP
A _{1b}	19/21-27/35	10YR 3,5/1	FAA	--	MD	--	P/LP
BEb	27/35-58/64	10YR 4,5/2	FAA	--	--	--	LP/LP
Btgfb	58/64-110+	10YR 4/1	MA	--	ED	--	P/P
Perfil de aterro - 1PA ₁							
I	0-20	7,5YR3/2	FAA	Moderada, laminar	MD	Fr/F	LP/LP
Ab	20-31	10YR 3/1	F	Moderada, blocos subangulares	MD	Fr/F	LP/LP
E/Ebb	31-62	7,5YR 5/2	FA	Moderada, blocos subangulares	LD	Fr	LP/LP
Btgfb	62-80+	10YR 4/1	A	Maciça, blocos subangulares	MD	MF	MP/P
Perfil de corte - 1PC ₀							
I(Btg)	0-20	10YR 4/1	MA	--	ED	--	P/P
II	20-40	10YR 4/1	A	--	ED	--	P/P
III	40-60	10YR 4/1	A	--	MD	--	P/P
Perfil de corte - 1PC ₁							
Ap	0-5/7	10YR 4,5/3	FA	Fraca, blocos subangulares	LD	MFr	LP/LP
I(Btg)	5/7-20	10YR 4/1	MA	Moderada, blocos subangulares	ED	F/MF	MP/MP
II	20-40	10YR 4/1	MA	Moderada, blocos e subangulares	ED	MF	MP/MP
III	40-60	10YR 4/1	A	Moderada, blocos e subangulares	MD		P/P
Área 2							
Perfil original - 2PO							
A ¹	0-25	7,5YR 3/2	FAA	Moderada, blocos subangulares	LD	Fr	LP/LP
E	25-33/45	10YR 5/2,5	AF	Fraca, blocos subangulares	LD	MF	NP/NP
EB	33/45-70/74	10YR 5/2	FA	Moderada, blocos subangulares	LD	F	LP/LP
Btg	70-125	7,5YR 3/2	A	Maciça, blocos prismáticos	ED	F	P/P
Perfil de aterro - 2PA ₈							
Ap	0-22	5YR 4/3	FA	Laminar	LD	Fr	LP/LP
II	22-54	10YR 4/3	AF	Fraca, blocos subangulares	LD	MFr	NP/NP
III	54-68	7,5YR 4/1	F	Fraca, colunar	ED	F	LP/LP
IV	68-100+	10YR 4/3	F	Maciço	ED	F	LP/LP
Perfil de corte - 2PC ₈							
Ap	0-13	7,5YR 4/4	F	Moderada a forte, laminar	D	Fr	LP/LP
II(EB)	11/13-20	10YR 4/3	FAA	Maciça	ED	Fr	LP/LP
III(Btg)	20-60	5YR 4/1	A	Moderada, blocos prismáticos	MD	Fr	P/P

⁽¹⁾ Textura: AF (areia franca), F (franco), FA (franco-arenoso), FAA (franco-argilo-arenoso), A (argila), MA (muito argiloso). ⁽²⁾ Consistência Seca: LD (ligeiramente duro), MD (muito duro), ED (extremamente duro); Úmida: MFr (muito friável), Fr (friável), Fr/F (friável a firme), F (firme), F/MF (firme a muito firme), MF (muito firme); Molhada: NP/NP (não-plástico e não pegajoso) (NP/LP (não-plástico e ligeiramente pegajoso), LP/LP (ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso), P/LP (plástico e ligeiramente pegajoso), P/P (plástico e pegajoso), MP/MP (muito plástico e muito pegajoso). ⁽³⁾ Não determinado.

1PA₀ e 1PA₁ apresentaram fração areia superior a 50 % até 50 cm de profundidade, decrescendo a partir daí. Para o perfil 2PA₈, foram verificados valores maiores que 70 % de material arenoso, enquanto as frações silte e argila variaram no máximo de 10 a 20 % ao longo do perfil. A variação irregular da

textura com a profundidade dos perfis deveu-se à granulometria dos materiais de origem e ao processo de sistematização. Esse comportamento foi natural, tendo em vista não existir uma pré-seleção de material do solo para efetuar o aterramento de forma correta, conforme normativa do IBAMA (1990).

Quadro 2. Características físicas de diferentes horizontes e, ou, camadas, de perfis originais e solos sistematizados (corte e aterro) para o cultivo de arroz

Horizonte e, ou, camada	Limite	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	AD ⁽¹⁾	Silte/argila	ds ⁽²⁾	dp ⁽³⁾	Pt ⁽⁴⁾
	cm	g kg ⁻¹						Mg m ⁻³		dm ³ dm ⁻³
Área 1										
Perfil original - 1PO										
A ₁	0-40	99	527	219	155	--- ⁽⁵⁾	1,40	1,70	2,52	0,32
E	40-80	66	525	263	146	10	1,80	1,74	2,53	0,31
Btg	80-130	43	354	186	417	261	0,45	1,50	2,59	0,42
Perfil de aterro - 1PA ₀										
I	0-10	125	507	186	182	121	1,02	--	--	--
II	10-19/21	111	491	198	200	100	0,99	--	--	--
A _{1b}	19/21-27/35	94	505	209	192	121	1,10	--	--	--
BEb	27/35-58/64	90	545	194	171	101	1,13	--	--	--
Btgfb	58/64-110+	77	381	136	406	293	0,33	--	--	--
Perfil de aterro - 1PA ₁										
I	0-20	83	530	199	188	100	1,06	1,56	2,53	0,38
A _{1b}	20-31	73	496	214	217	118	0,98	1,65	2,55	0,35
E/EBb	31-62	74	572	187	167	57	0,12	1,71	2,57	0,33
Btgb	62-80+	48	344	161	447	317	0,36	1,37	2,61	0,47
Perfil de corte - 1PC ₀										
I (Btg)	0-20	52	404	148	396	292	0,37	--	--	--
II	20-40	54	502	194	300	228	0,65	--	--	--
III	40-60	82	594	86	238	162	0,36	--	--	--
Perfil de corte - 1PC ₁										
Ap	0-5/7	74	471	259	196	90	1,32	1,34	2,63	0,49
I (Btg)	5/7-20	46	264	192	498	286	0,38	1,73	2,64	0,34
II	20-40	41	336	224	399	293	0,56	1,71	2,64	0,35
III	40-60	51	410	200	339	207	0,59	1,42	2,63	0,46
Área 2										
Perfil original - 2PO										
A	0-25	87	527	178	208	92	0,86	1,50	2,50	0,40
E	25-33/45	126	354	419	101	10	4,15	1,60	2,51	0,36
EB	33/45-70/74	71	525	232	172	92	1,35	1,70	2,50	0,32
Btg	70/74-125	43	253	351	353	246	0,99	1,50	2,56	0,41
Perfil de aterro - 2PA _s										
Ap	0-22	65	562	204	169	81	1,20	1,64	2,50	0,34
II	22-54	58	679	162	101	91	1,60	1,50	2,51	0,40
III	54-68	54	563	231	152	5	1,20	1,61	2,53	0,36
IV	68-100+	87	624	168	121	10	1,39	1,56	2,52	0,38
Perfil de corte - 2PC _s										
Ap	0-11/13	85	496	246	173	66	1,42	1,75	2,57	0,32
II (EB)	11/13-20	89	525	190	196	88	0,97	1,84	2,61	0,29
III (Btg)	20-60+	54	369	216	361	196	0,60	1,64	2,61	0,37

⁽¹⁾ AD = argila dispersa em água. ⁽²⁾ ds = densidade do solo. ⁽³⁾ dp = densidade de partícula. ⁽⁴⁾ Pt = Porosidade total. ⁽⁵⁾ Não determinado.

Analisando os perfis de corte das áreas 1 e 2, verificaram-se mudanças mais drásticas na granulometria em relação a seus respectivos originais, com maior teor de argila nos horizontes superficiais dos perfis 1PC₀ e 1PC₁, devido à maior profundidade de corte. Essas mudanças foram relacionadas com a exposição de horizontes subsuperficiais, já referenciadas pela descrição morfológica confirmadas na distribuição granulométrica (Quadro 2). Variações texturais na

superfície do solo oriundas do processo de sistematização também foram observadas por Unger et al. (1990) e Preve & Martens (1990).

Os solos apresentaram, em geral, alta densidade do solo (ds), variando de 1,34 a 1,84 Mg m⁻³, com uma média de 1,61 Mg m⁻³, enquanto, para a porosidade total (Pt) calculada, foram encontrados valores de 0,28 a 0,47 dm³ dm⁻³, com média de 0,38 dm³ dm⁻³ (Quadro 2). Beltrame & Louzada (1996), avaliando

características de Planossolo sob cultivo de arroz, encontraram valores de ds de 1,07 a 1,86 Mg m⁻³ e de Pt de 0,26 a 0,55 dm³ dm⁻³, englobando os limites encontrados neste trabalho.

As menores densidades do solo verificadas para as superfícies dos perfis 1PA₁ e 1PC₁ foram atribuídas ao revolvimento do solo executado durante as práticas de manejo e à incorporação do resíduo orgânico do cultivo anterior. Os valores mais elevados de densidade do solo e os menores de porosidade total foram verificados nos perfis de corte, logo abaixo do horizonte Ap, correspondendo às camadas I (Btg) do 1PC₁ e II (EB) do 2PC₈, independentemente do tempo de sistematização. É possível que esse estado de compactação seja remanescente dos processos de sistematização e possa ser intensificado com as práticas de manejo do solo (Machado et. al., 1981; Pedrotti et al., 1997). Essas características são compatíveis com o comportamento observado na morfologia (Quadro 1).

Propriedades químicas

Os teores de cátions básicos (Ca, Mg, K e Na), P e CTC diferenciaram-se nos solos sistematizados comparados aos originais 1PO e 2PO, apresentando distribuição irregular em profundidade nos perfis de aterro, 1PA₀, 1PA₁ e 2PA₈, e decréscimo em profundidade nos perfis de corte, 1PC₀ e 1PC₁ (Quadro 3). Esse comportamento deveu-se à estratificação do material nos perfis de aterro e ao elevado teor de argila na superfície do solo dos perfis de corte, com um decréscimo em profundidade. O perfil 2PC₈, em relação ao original 2PO, não apresentou maiores diferenças na distribuição desses elementos, fato atribuído à menor profundidade de corte, que não ocasionou exposição do horizonte Btg.

Logo após o processo de sistematização dos solos, na superfície do perfil 1PC₀, foram verificados elevados teores de Al trocável e H + Al, refletindo em um pH ácido, bem como baixos teores de carbono orgânico e fósforo, em decorrência da remoção das camadas superficiais de maior teor de matéria orgânica, com capacidade de complexar o Al (Salet, 1998) e dispor de maior reserva em fósforo (Wietholter et al., 1998). Além disso, o corte expôs horizontes subsuperficiais, constituídos principalmente por material oriundo do horizonte Btg do original 1PO, com teores de Al trocável e de H + Al muito elevados, em virtude dos altos teores de argila e baixos teores de carbono orgânico (Gama & Kiehl, 1995). No entanto, a redução do Al do 1PC₀ para o 1PC₁, principalmente na superfície do horizonte Ap, deveu-se provavelmente à complexação do Al pelo material orgânico incorporado neste horizonte do solo pela cultura do arroz.

Na área 2, os teores de Al trocável verificados no perfil 2PC₈ foram um pouco superiores aos do perfil

original 2PO, enquanto o carbono orgânico e fósforo foram inferiores. Isso deveu-se à remoção de camadas superficiais e à exposição de material de horizontes subsuperficiais pelo processo de sistematização. No entanto, em relação aos perfis 1PC₀ e 1PC₁, os teores de Al trocável do perfil 2PC₈ foram mais baixos em virtude do menor teor de argila (Quadro 2) encontrado na superfície do solo ou próximo desse, já que a decapagem do solo foi menos profunda, não ocorrendo a exposição do horizonte Btg.

Em relação aos originais 1PO e 2PO, nos perfis de aterro 1PA₀, 1PA₁ e 2PA₈, foi verificado pequeno aumento nos valores de Al trocável e H + Al, atribuído ao incremento de argila decorrente da mistura dos horizontes pelo processo de sistematização. Em síntese, parece haver maior risco de toxidez por alumínio às plantas na área de corte, principalmente logo após a sistematização dos solos (1PC₀), ou seja, no primeiro cultivo.

O comportamento das características químicas, principalmente os elevados teores de Al trocável e baixos teores de carbono orgânico e de fósforo, foi influenciado pela intervenção antrópica, ou seja, exposição de horizontes subsuperficiais, devendo-se ter mais cuidado com a fertilidade dos solos nessas áreas (IRGA, 1996). Preve & Martens (1990) constataram que, em áreas sistematizadas, por causa da exposição de horizontes subsuperficiais, ocorreram deficiências de P, K e Zn, podendo outras deficiências ocorrer em solos com propriedades químicas e físicas diferentes. Esses problemas, de natureza química e física, foram minimizados com a incorporação de resíduos orgânicos (Robins et al., 1997), com o revolvimento e o cultivo nos anos subsequentes.

Características de compostos de ferro

Os teores de ferro total (Fet), em todos os solos estudados, podem ser considerados baixos (Figuras 1 e 2). Na maioria dos horizontes e camadas dos solos das duas áreas, os valores situaram-se em torno de 5 a 20 g kg⁻¹, compatíveis com características constatadas em outros solos hidromórficos similares (BRASIL, 1973; Melfi et al., 1979). Em ambos os perfis originais (1PO e 2PO), os teores de Fet, Fed e Feo decresceram dos horizontes superficiais para o horizonte E, atingindo os valores máximos nos horizontes Btg.

O valor máximo de Fet foi encontrado na camada ou horizonte III (Btg) do perfil 2PC₈ (23,6 g kg⁻¹), tendo sido valores similares a esses verificados próximos à camada superficial do perfil de corte 1PC₁ (19,4 g kg⁻¹) e na superfície do 2PC₈ (17 g kg⁻¹), assim como nos horizontes Btg dos perfis originais da área 1 (19,5 g kg⁻¹) e área 2 (21,3 g kg⁻¹). Esses valores evidenciaram ser o Fe originado do mesmo horizonte do solo, já que os teores de ferro em valores maiores mostraram-se associados à presença de maior teor

Quadro 3. Propriedades químicas de diferentes horizontes e, ou, camadas, de perfis originais e solos sistematizados (corte e aterro) para o cultivo de arroz

Horizonte e, ou, camada	pH H ₂ O	Ca	Mg	K	Na	SB ⁽¹⁾	Al	H + Al	CTC ⁽²⁾	V ⁽³⁾	Sat. Al ⁽⁴⁾	P ⁽⁵⁾	C org ⁽⁵⁾
————— cmol _c kg ⁻¹ —————													
————— % —————													
mg kg ⁻¹													
g kg ⁻¹													
Área 1													
Perfil original - 1PO													
A ₁	5,0	2,0	1,7	0,03	0,04	3,8	0,9	2,5	6,3	60	19	7,6	5,9
E	5,8	2,4	1,7	0,03	0,06	4,2	0,3	0,6	4,7	89	7	1,0	1,6
Btg	5,2	5,3	2,8	0,14	0,22	8,5	6,4	8,6	16,8	51	43	2,9	3,7
Perfil de aterro - 1PA ₀													
I	4,8	1,6	1,4	0,15	0,01	3,2	1,3	4,1	7,3	44	29	10	5,6
II	4,8	1,3	2,6	0,07	0,02	4,0	1,7	2,2	6,2	64	30	4	5,4
A ₁ b	4,9	2,5	0,5	0,07	0,02	3,1	2,3	4,4	7,5	41	43	3	4,1
BEb	5,1	1,3	0,9	0,06	0,01	2,3	2,0	3,0	5,3	43	46	2	1,8
Btgfb	5,0	1,7	2,2	0,25	0,07	4,2	7,9	10,2	18,6	23	65	2	3,0
Perfil de aterro - 1PA ₁													
I	4,8	2,3	1,5	0,13	0,04	4,0	1,2	4,6	8,6	46	32	4,0	7,0
A ₁ b	5,1	1,5	2,5	0,04	0,12	4,2	2,9	6,0	10,2	41	41	1,0	7,1
E/EBb	5,1	3,1	0,6	0,06	0,04	3,8	2,1	3,0	6,8	56	36	1,7	1,9
Btgfb	4,9	4,7	1,5	0,16	0,19	6,6	7,3	9,3	15,9	41	53	2,2	3,8
Perfil de corte - 1PC ₀													
I(Btg)	4,7	7,0	1,8	0,24	0,07	9,1	7,2	8,4	17,5	52	44	1,0	3,3
II	4,9	4,8	2,3	0,19	0,05	7,3	5,9	6,8	14,1	52	45	1,5	2,2
III	4,8	2,0	5,1	0,21	0,05	7,4	4,4	5,5	12,9	58	37	1,5	1,8
Perfil de corte - 1PC ₁													
Ap	4,8	5,5	2,0	0,32	0,08	7,9	1,8	6,6	14,5	54	19	20	4,2
I(Btg)	5,2	4,5	2,8	0,21	0,22	7,7	4,1	3,1	10,6	73	35	5,3	2,6
II	5,1	4,0	2,2	0,27	0,27	6,7	5,0	6,0	12,7	53	43	4,4	1,7
III	5,2	1,9	2,0	0,25	0,22	4,4	5,0	6,7	11,1	40	58	4,4	1,4
Área 2													
Perfil Original 2PO													
A ₁	5,5	4,5	2,9	0,07	0,08	7,6	1,0	3,3	10,9	70	12	4,4	7,5
E	5,5	2,1	1,3	0,02	0,03	3,5	0,5	1,0	4,5	78	13	1,0	2,3
EB	5,3	1,7	2,1	0,03	0,10	3,9	1,7	2,8	6,7	58	30	1,0	1,9
Btg	5,3	8,0	3,2	0,06	0,43	11,7	4,5	6,8	18,5	63	28	4,1	3,1
Perfil de aterro - 2PA _s													
Ap	5,1	3,4	1,9	0,25	0,06	5,6	1,0	2,6	8,2	68	28	6,2	4,1
II	6,3	3,2	2,4	0,14	0,04	5,8	0,1	0,6	6,4	91	2	2,9	2,4
III	6,3	4,1	2,1	0,11	0,04	6,4	0,2	0,8	7,2	89	3	1,8	2,0
IV	6,2	3,5	1,6	0,10	0,06	5,3	0,1	0,5	5,8	91	2	2,9	1,6
Perfil de corte - 2PC _s													
Ap	5,1	2,6	2,1	0,27	0,05	5,0	1,3	3,2	8,2	39	21	2,9	4,6
II(EB)	5,4	3,5	1,6	0,18	0,13	5,4	2,0	3,0	8,4	64	27	3,7	1,4
III(Btg)	5,2	4,0	3,9	0,25	0,26	8,4	7,3	8,8	17,2	49	47	4,8	2,3

⁽¹⁾ SB = soma de bases. ⁽²⁾ CTC = Capacidade de troca de cátion. ⁽³⁾ V = Saturação por bases. ⁽⁴⁾ Sat. Al = Saturação por alumínio. ⁽⁵⁾ P = Fósforo. ⁽⁶⁾ C org = carbono orgânico.

de argila no horizonte B textural, resultante do processo de eluviação/iluviação (Melfi et al., 1979). A destruição de argilas nos horizontes superficiais por ferrólise (Brinkmann, 1969/1970) pode também ter contribuído para explicar a distribuição

diferencial de Fe nos horizontes dos solos estudados. A sistematização do terreno, com a exposição de horizontes Btg dos Planossolos na superfície ou próximos à superfície de corte, influenciou na distribuição dos diferentes compostos de ferro nos perfis estudados.

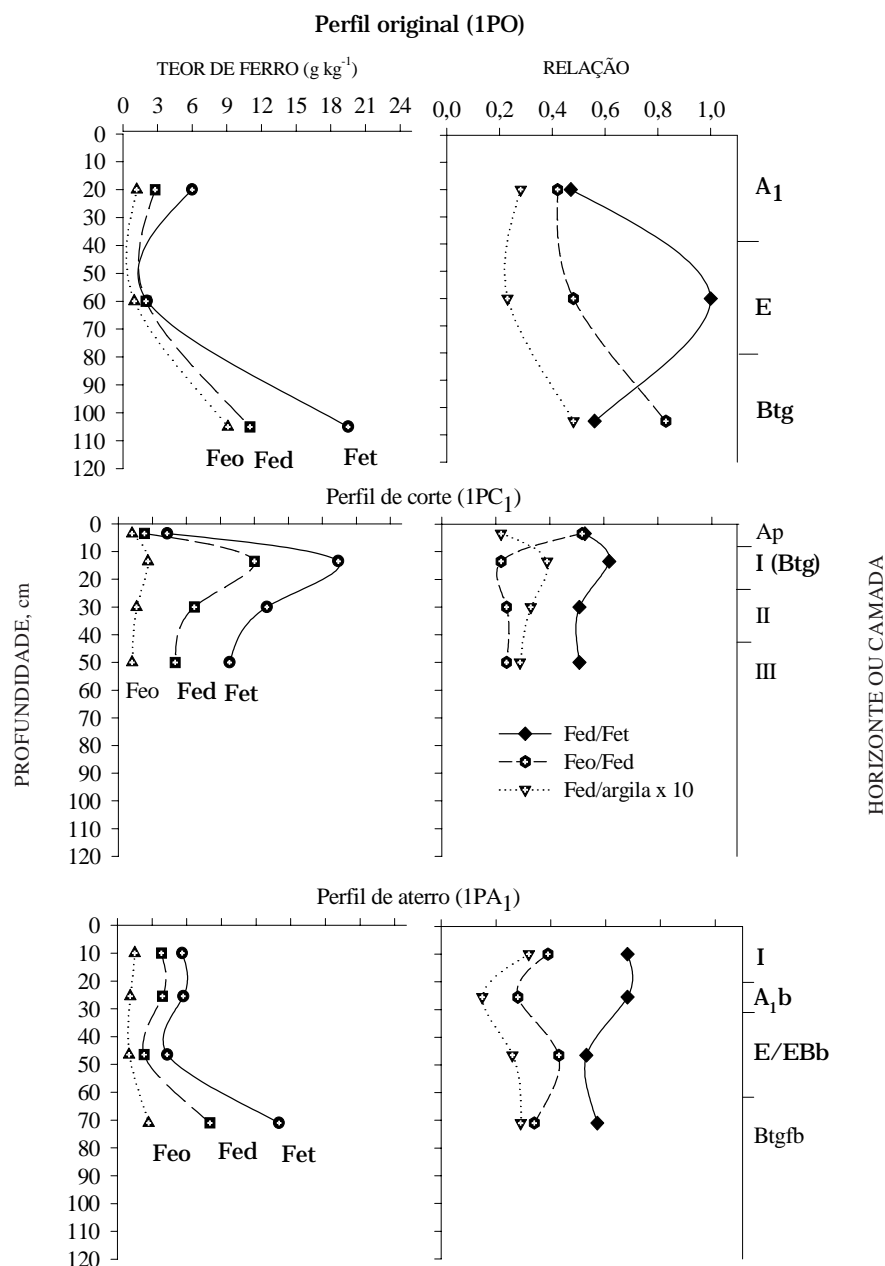


Figura 1. Distribuição dos teores de Fe oxalato (Feo), Fe ditonito (Fed), Fe total (Fet) e as relações Feo/Fed, Fed/Fet e Fed/argila para os perfis: original, de corte e de aterro na área sistematizada há um ano para cultivo de arroz.

Na área 1, pela relação Fed/Fet, foi verificada maior proporção de óxidos livres (Fed) na superfície dos perfis 1PA₁ e 1PC₁ em relação ao perfil do solo original 1PO. A relação Feo/Fed indicou maior proporção de ferro mal cristalizado, passível de ser mais rapidamente solubilizado em condições de redução do solo (Kämpf, 1987), somente para a superfície do perfil 1PC₁. Na área 2, a relação Fed/

Fet nos perfis 2PA₈ e 2PC₈ foi inferior à do perfil 2PO, evidenciando, nos primeiros, a ocorrência de mais ferro na estrutura dos argilominerais passível de ser intemperizado. Já a relação Feo/Fed manteve-se alta ao longo do perfil 2PA₈, com valor máximo de 0,88 na superfície. Isso indica alta proporção de compostos de ferro mal cristalizados e possivelmente de Fe^{2+} decorrente do processo de umedecimento e

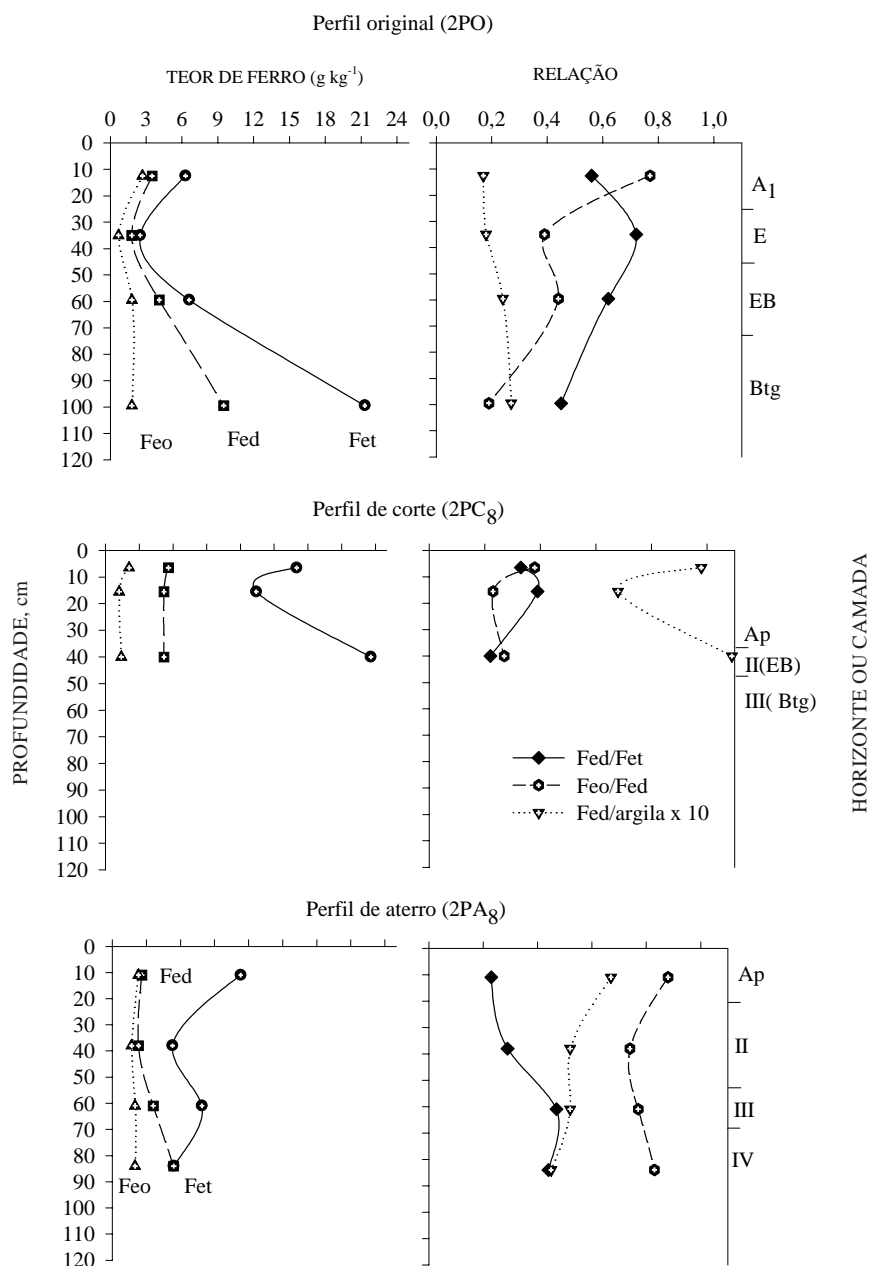


Figura 2. Distribuição dos teores de Fe oxalato (Feo), Fe ditonito (Fed), Fe total (Fet) e as relações Feo/Fed, Fed/Fet e Fed/argila para os perfis: original, de corte e de aterro na área sistematizada há oito anos para cultivo de arroz.

secagem imposto pela irrigação, podendo acarretar problemas de fitotoxidez em plantas de arroz (Ponnamperuma, 1972; Fageria, 1989).

Nas áreas 1 e 2, os teores de ferro total (Fet) foram superiores aos de alumínio total (Alt), mas não houve maiores diferenças entre os perfis sistematizados e seu respectivo original. Isso mostra uma ligeira superioridade das formas ativas do ferro sobre as

formas ativas do alumínio (Moura et al., 1995). Os teores de Al (Alt, Ald e Alo) (Quadro 4) variaram em razão das soluções empregadas e do tipo de solo (original ou sistematizado) da áreas 1 e 2. As soluções de DCB (Ald) e oxalato (Alo) extraem polímeros ou formas de baixa cristalinidade ou, ainda, alumínio contido nos óxidos de ferro. Assim, os teores de Alo e Ald e a relação Alo/Ald representam

diversas formas de Al com alta atividade nos solos, correspondentes a polímeros de alumínio, superfícies intemperizadas de argilominerais, sulfatos de alumínio e hidróxi-Al silicatos amorfos (Kämpf et al., 1996).

A distribuição dos teores de Alt, Ald e Alo nos perfis originais decresceu dos horizontes superficiais para o horizonte E e aumentou para o Btg. Como os teores de ferro anteriormente relatados, os teores de Alt, Ald e Alo foram máximos nos horizontes e, ou, camadas (áreas 1 e 2) com maior teor de argila (Quadro 2), graças à co-migração do alumínio e argila (Gianluppi, 1979), ocorrida antes do processo de sistematização.

CONCLUSÕES

1. Nas áreas de corte, em Planossolos sistematizados, observaram-se as maiores alterações nos horizontes superficiais em relação aos perfis originais, apresentando maiores teores de argila e de Al trocável e menores de matéria orgânica e fósforo disponível.

2. Com o intenso tráfego de máquinas, a sistematização aumentou a densidade do solo e diminuiu a porosidade total, sendo essas propriedades rapidamente reconstituídas pelo preparo do solo e incorporação de resíduos da cultura do arroz.

Quadro 4. Teores e relação das formas de alumínio em diferentes horizontes e, ou, camadas, de perfis originais e solos sistematizados (corte e aterro) para o cultivo de arroz

Horizonte e, ou, camada	Limite	Alumínio ⁽¹⁾				
		Alt	Ald	Alo	Ald/Alt	Alo/Ald
	cm	g kg ⁻¹				
		Área 1				
		Perfil original - 1PO				
A ₁	0-40	2,50	0,30	0,20	0,12	0,67
E	40-80	1,70	0,20	0,10	0,12	0,50
Btg	80-130+	7,90	0,90	0,70	0,11	0,78
		Perfil de aterro - 1PA ₁				
I	0-20	2,70	0,50	0,50	0,19	1,00
A ₁ b	20-31	4,50	0,70	0,60	0,16	0,86
E/EBb	31-62	3,30	0,40	0,40	0,12	1,00
Btgfb	62-80	5,90	1,00	0,90	0,17	0,90
		Perfil de corte - 1PC ₁				
Ap	0-5/7	2,20	0,50	0,40	0,23	0,80
I (Btg)	5/7-20	6,90	1,00	0,80	0,14	0,80
II	20-40	3,00	0,70	0,70	0,23	1,00
III	40-60	3,10	0,70	0,60	0,23	0,86
		Área 2				
		Perfil original - 2PO				
A ₁	0-25	4,00	0,60	0,30	0,15	0,50
E	25-33/45	1,20	0,20	0,10	0,17	0,50
EB	33/45-70/74	1,40	0,20	0,20	0,14	1,00
Btg	70/74-125	10,3	0,60	0,50	0,06	0,83
		Perfil de aterro - 2PA ₈				
Ap	0-22	2,90	0,50	0,40	0,17	0,80
II	22-54	1,80	0,30	0,20	0,17	0,67
III	54-68	1,00	0,30	0,20	0,30	0,67
IV	68-100	1,30	0,20	0,10	0,15	0,50
		Perfil de corte - 2PC ₈				
Ap	0-11/13	3,90	0,90	0,30	0,23	0,33
II(EB)	11/13-20	2,70	0,70	0,30	0,26	0,43
III(Btg)	20-60+	6,60	1,10	0,60	0,17	0,55

⁽¹⁾ Alt = Alumínio total (extrator HCl 6 mol L⁻¹), Ald = Óxidos de alumínio livres (extrator DCB), Alo = Alumínio mal cristalizado (extrator oxalato de amônio pH 3,0).

3. A exposição de horizontes Btg nas áreas de corte, com elevado teor em argila e baixos de matéria orgânica e fósforo, originou condições físicas e químicas desfavoráveis ao crescimento das plantas nos primeiros anos após a sistematização.

4. Nos Planossolos, os teores de Fet, Fed e Feo decresceram dos horizontes superficiais para o horizonte E e cresceram deste para o horizonte Btg, mais argiloso.

5. A sistematização do terreno, com exposição de horizontes subsuperficiais nas áreas de corte e a mistura de materiais nas áreas de aterro, alterou a distribuição dos teores de Fet, Fed e Feo nos perfis.

LITERATURA CITADA

- ANBUMOZHI, V.; YAMAJI, E. & TABUCHI, T. Rice crop growth and yield as influenced by changes in ponding water depth, water regime and fertigation level. *Agric. Water Manag.*, 37:241-253, 1998.
- BELTRAME, L.F.S. & LOUZADA, J.A.S. Caracterização físico-hídrica dos solos formadores da várzea arrozeira do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996. 31p.
- BLAKE, G.R. & HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods*. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.363-375.
- 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)
- BRINKMAN, R. Ferrolisis, a hydromorphic soil forming process. *Geoderma*, 3:199-206, 1969/1970.
- CAMARGO, M.N.; KLAMT, E. & KAUFMAN, J. Classificação de solos usada em levantamento pedológico no Brasil. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1987. 24p.
- DICK, D.P. & KÄMPF, N. Comparação da extração de ferro com HCl 6 N, H₂SO₄ 1:1 e ditionito-citrato-bicarbonato de sódio em horizontes B-latossólicos. *R. Bras. Ci. Solo*, 12: 185-188, 1988.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil. Pelotas, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Instituto Riograndense do Arroz/ Empresa de Pesquisa Agropecuária e Difusão de Tecnologia de Santa Catarina, 1999b. 124p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise do solo, 2ª. ed. Rio de Janeiro, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Recomendações técnicas para o cultivo do arroz irrigado. Brasília, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/ Empresa de Pesquisa Agropecuária e Difusão de Tecnologia de Santa Catarina, 1992. 79p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solo. Rio de Janeiro, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1999a. 412p.
- FAGERIA, N.K. Química de solos de várzea In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 2., Piracicaba, 1989. Anais. Piracicaba, Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz, 1989. p.93-114.
- FAO. Soil map of world. Roma, World Reference Base for Soil Resources, 1998. 91p.
- GAMA, J.R.N.F. & KIEHL, J. O alumínio trocável de um solo Podzólico Vermelho-Amarelo do Acre e sua absorção pelas plantas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. Anais. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p.1064-1066.
- GIANLUPPI, D. Morfologia e gênese de solos do Litoral-Norte do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1979. 106p. (Tese de Mestrado)
- HEILMAN, M.D. & THOMAS, J.R. Land leveling can adversely affect soil fertility. *J. Soil Water Conserv.*, 16:71-72, 1961.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE - IBAMA. Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação. Brasília, Instituto Brasileiro de Meio Ambiente, 1990. 96p.
- INSTITUTO RIOGRANDESE DO ARROZ - IRGA. Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil. 3.ed. Cachoeirinha, Instituto Riograndense do Arroz, 1996. 88p.
- KÄMPF, N. Ferro em solos inundados. In: REUNIÃO SOBRE FERRO EM SOLOS INUNDADOS, 1., Goiânia, 1987. Anais. Goiânia, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1987. p.35-71.
- KÄMPF, N.; SCHNEIDER, P. & GIASSEN, E. Propriedades, pedogênese e classificação de solos construídos em áreas de mineração na bacia carbonífera do Baixo Jacuí, RS. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:79-88, 1997.
- KÄMPF, N.; SCHNEIDER, P.; BOHNEN, H.; GIASSEN, E. & BISSANI, C.A. Solos construídos em áreas de mineração da Bacia Carbonífera do Baixo Jacuí, no Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Relatório PADCT/CIAMB-CNPq, 1996.
- KLAMT, E.; DALMOLIN, R.S.D. & CABRAL, D.R. Solos do município de São João do Polêsine: Características, classificação, distribuição geográfica e aptidão de uso. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1997. 77p.
- LEMO, R.C. & SANTOS, R.D. Manual de descrição e coleta de solos a campo. 3.ed. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 83p.
- MACHADO, J.A.; SOUZA, P.D.M. & BRUM, A.C.R. Efeito de anos de cultivo convencional em propriedades físicas do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 5:187-189, 1981.
- McKEAGUE, J.A. & DAY, J.H. Dithionite and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. *Can. J. Soil Sci.*, 46:13-22, 1966.

- MEHRA, O.P. & JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. In: NATIONAL CONFERENCE ON CLAY MINERALS, 7., Washington, 1958. Proceedings, 1960. p.317-327.
- MELFI, A.J.; PEDRO, G. & VOLKOFF, B. Natureza e distribuição dos compostos ferríferos nos solos do Brasil. R. Bras. Ci. Solo, 3:47-54, 1979.
- MOURA, G.F.; LIMA, C.C.; RUIZ, H.A. & MENDONÇA, E.S. Contribuição da matéria orgânica e de formas extraídas pelo DCB e oxalato na superfície de três solos de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. Anais. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p.223-225.
- PARFITT, J.M.B.; SILVA, C.A.S. & PETRINI, J.A. Sistematização de solos de várzea. In: GOMES, A.S. & PAULETTO, E.A., eds. Manejo de solo e da água em áreas de várzea. Pelotas, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1999. 201p.
- PEDROTTI, A.; VAHL, L.C. & PAULETTO, E.A. Níveis de compactação do Planossolo e o desenvolvimento radicular de algumas culturas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 12., Fortaleza, 1997. Anais Fortaleza, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Universidade Federal do Ceará, 1997. p.80-90.
- PONNAMPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soils. Adv. Agron., 2:429-96, 1972.
- PREVE, R.E. & MARTENS, D.C. Potential effect of land-leveling on soil fertility in a Brazilian rice soil. Plant Soil, 121:148-150, 1990.
- ROBBINS, C.W.; MACKEY, B.E. & FREEBORN, L.L. Improving exposed subsoils with fertilizers and crop rotations. Soil Sci. Soc. Am. J., 61:1221-1225. 1997.
- SALET, R.L. Toxidez de alumínio no sistema plantio direto. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998. 109p. (Tese Doutorado)
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI C.A.; VOLKWEISS, S.J. & BOHNEN, H. Análise de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5)
- THOMAS, J.R.; HEILMAN, M.D. & LYLES, L. Predicting nitrogen fertilizer requirements after land leveling. Agron. J., 66:371-374. 1974.
- UNGER, P.W.; FULTON, L.J. & JONES, O.R. Land-leveling effects on soil texture, organic matter content, and aggregate stability. J. Soil Water Conserv., 45:412-415. 1990.
- WIETHÖLTER, S.; BEN, J.R.; KOCHHANN, R.A. & POTTKER, D. Fósforo e potássio no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N.J., ed. Conceitos e fundamentos de sistema plantio direto. Lages, Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1998. 160p.