

Rio de Janeiro, RJ
Dezembro, 2003

Autores

Pedro L. O. de A. Machado,
Embrapa Solos. E-mail:
pedro@cnpq.embrapa.br

Alberto C. de Campos
Bernardi, Embrapa Solos.
alberto@cnpq.embrapa.br

Felipe Sombra dos Santos,
Engenharia Química, PUC-
Rio, Rio de Janeiro - RJ.

Métodos de Preparo de Amostras e de Determinação de Carbono em Solos Tropicais

Resumo

O objetivo do estudo foi avaliar a eficiência dos métodos de preparo de amostras e de determinação de carbono dos solos. Foram utilizadas amostras de 20 solos com diferentes características físico-químicas, existentes na coleção de solos da Embrapa Solos. Os testes foram conduzidos em um delineamento inteiramente casualizado com 3 repetições, em um esquema fatorial 3 X 3. Os testes consistiram de 3 formas de preparo das amostras de solo: amostra de solo seca ao ar seguida de peneiração a 2,0mm (TFSA); moagem manual em gral e pístilo seguida de peneiração a 0,177mm (Manual); e moagem em moinho rolador com frasco de vidro contendo peça metálica em formato curvo com arestas, seguida de peneiração a 0,177mm (Moinho). Em seguida, a concentração de carbono da amostra de solo de cada método de preparo foi determinada utilizando-se 3 métodos: combustão por via úmida com dicromato, aquecimento por 5 minutos e determinação por titulometria (WB); combustão por via úmida com dicromato, aquecimento por 5 minutos e determinação por colorimetria (COL); e combustão por via seca de amostras moídas a granulometria < 0,177mm em aparelho Perkin Elmer CHN 2400 Series II (CHN). Avaliando-se a quantidade de material de solo retido na peneira de 0,177mm após as moagens, observou-se que as amostras de solo moídas manualmente apresentaram maior quantidade de material retido, maior desvio padrão e menor reprodutibilidade, comparado com as amostras de solo moídas no moinho de rolagem com frascos de vidro. Observou-se ainda que entre os métodos de análise houve uma estreita relação positiva, pois os coeficientes de determinação obtidos foram: $R^2=0,921$ entre CHN e WB; $R^2=0,924$ para COL e WB; e $R^2=0,899$ para COL e CHN. A correlação dos métodos seguiu a mesma tendência dentro das classes texturais de solos utilizadas. Na presença de CaCO_3 , houve uma tendência dos valores do CHN ser maior que WB e COL.

Introdução

O carbono orgânico total no solo se encontra tomando parte de três tipos de material: formas condensadas de composições próximas do carbono elementar (nas formas de carvão vegetal, mineral e grafite); resíduos de plantas, animais e microorganismos alterados e bastante resistentes, denominados às vezes de "húmus" e "humatos"; e resíduos orgânicos pouco alterados de vegetais, animais e microorganismos vivos e mortos, que sofrem decomposição (Tabatabai, 1996). O carbono orgânico é comumente utilizado para estimar o teor de matéria orgânica do solo por meio de sua multiplicação por um fator. Baseando-se na premissa que a matéria orgânica possui 58% de carbono orgânico, o fator 1,724 vem sendo utilizado para esta conversão.

A medição de carbono do solo é foco de atenção de convenções e acordos internacionais presentes e futuros, relacionado à mudança climática global. Entretanto, métodos mais eficientes de quantificação de carbono do solo são necessários para oferecer melhores estimativas de inventários terrestres de carbono (Watson *et al.*, 2000). Inventários mais aperfeiçoados de carbono terrestre podem exigir mais medições que devem ser economicamente viáveis. Assim, o desenvolvimento de procedimentos alternativos de baixo custo econômico e ambiental, combinados com adequada precisão e acurácia, é altamente demandado.

Os métodos utilizados para a determinação de carbono orgânico podem ser classificados em: diferença entre carbono total e inorgânico; pela determinação do C total após remoção do C inorgânico; por oxidação do dicromato sem uma fonte externa de aquecimento; e pela oxidação por dicromato juntamente com uma fonte externa de aquecimento (Nelson & Sommers, 1982).

No Brasil, o procedimento analítico de determinação de carbono do solo mais comum é baseado na oxidação da matéria orgânica a CO_2 por íons dicromato, em meio fortemente ácido. É também denominado de determinação por via úmida ou determinação por dicromato. Neste método, utiliza-se um oxidante bastante forte, no caso o dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) numa solução ácida para a oxidação quantitativa de carbono. Esta reação pode ser conduzida com aquecimento por 5 minutos com uso de dedo frio (Embrapa, 1997), 30 minutos (Yeomans & Bremner, 1988) ou sem aquecimento (Walkley & Black, 1934). A determinação da quantidade de íons Cr (III) reduzidos pode ser feita indiretamente pela titulação dos íons dicromato em excesso com íons Fe^{2+} (Embrapa, 1997) ou pela determinação direta da quantidade de íons Cr (III) por colorimetria (Tedesco *et al.*, 1985; Cantarella *et al.*, 2001). Dias *et al.* (1991) observaram que, para trabalhos de laboratório de rotina, os métodos colorimétricos apresentam como vantagem principal a economia de reagentes, a reprodutibilidade dada pela análise de variância, mas eram pouco precisos. A oxidação por via úmida, embora simples e de baixo custo, apresenta problemas quanto à acurácia, devido à necessidade de fatores de correção para compensar a oxidação parcial, quanto à lentidão e ao espaço considerável que ocupa nos laboratórios (Metson *et al.*, 1979), ou quanto aos impactos no meio ambiente pela produção de rejeitos de laboratório (soluções ácidas contendo cromo).

Um bom método para ser empregado em trabalhos de rotina, além de ser rápido, prático e dispensar o uso de equipamentos sofisticados, deve apresentar boas características no que se

refere aos conceitos de exatidão, precisão e reprodutividade. A determinação do carbono orgânico do solo por meio de oxidação do ácido crômico tem a vantagem de permitir uma separação satisfatória entre os húmus e as formas fortemente condensadas. Dessa forma, ao produto desta extração deve-se denominar matéria orgânica oxidável, uma vez que a determinação do carbono orgânico total (métodos de via combustão seca ou com captação de CO_2 desprendido) inclui formas mais condensadas. Preocupações de poluição ambiental quanto ao descarte de resíduos ácidos contendo cromo no seu estado tóxico e os procedimentos de segurança como o uso de equipamento de proteção individual (EPI) associados à execução de análises envolvendo o uso de ácido sulfúrico concentrado, têm motivado o uso de métodos de determinação de carbono por combustão via seca em aparelhos automatizados (Kerven *et al.*, 2000; Yeomans & Bremner, 1991; Soon & Abboud, 1991; Chichester & Chaison, 1993; Jimenez & Landha, 1993; Nelson & Sommers, 1982).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência tanto dos métodos de moagem de material de solo para a quantificação de carbono total, como de diferentes procedimentos de determinação de carbono total do solo.

Material e Métodos

Foram utilizadas vinte amostras de solos de diferentes localidades do Brasil com características físico-químicas diferentes, existentes na coleção de solos da Embrapa Solos (Tabela 1).

Tabela 1. Características físico-química dos solos utilizados no estudo.

Amostra	Horiz.	Prof cm	AG	AF	Silte g kg^{-1}	Argila	pH H_2O	CTC mmolc dm^{-3}	CaCO_3 %	
01	C.Pinto – SC	C1	48-60	10	10	210	770	4,2	199	-
02	Mondaí – SC	B1	16-43	140	170	380	310	4,4	201	-
03	Yataúba – PE	A	0-15	190	350	320	140	7,7	123	1,00
04	P. Alferes – RJ	A	0-29	310	130	110	450	5,2	200	-
05	P. Alferes – RJ	BT1	-72	290	110	70	530	4,7	100	-
06	Sousa – PB	2BT2N	-90	50	280	340	330	9,2	180	0,20
07	Sousa – PB	3BT3N	-115	50	440	240	270	7,6	146	1,00
08	Sousa – PB	5C2	-220	50	560	170	220	9,7	151	2,70
09	Sousa – PB	BV ₁	-40	30	50	220	700	8,4	611	3,00
10	Petrolina – PE	CR	-170	170	200	160	470	7,8	223	0,95
11	M. São João – BA	CG3	-90	6	73	173	748	6,6	273	-
12	S. Jardim – RJ	A2	-25	464	190	205	141	4,4	50	-
13	C. Frio – RJ	BT1	-50	157	530	139	651	5,2	50	-
14	Manicoré – AM	AC	-35	800	88	92	20	4,5	8	-
15	Manicoré – AM	A1	0-3	822	56	62	60	4,8	69	-
16	Castro – PR	AP	0-27	192	58	146	604	5,5	150	-
17	Tibagi – PR	AP	0-20	37	93	252	618	5,7	150	-
18	Tibagi – PR	AP	0-20	322	539	59	80	5,5	43	-
19	Goiânia – GO	A	10-20	220	180	100	500	5,2	56	-
20	Londrina – PR	A	10-20	20	23	186	771	5,9	113	-

Os testes foram dispostos em um delineamento inteiramente casualizado com 3 (três) repetições, em um esquema fatorial 3 X 3. Os testes consistiram de 3 formas de preparo das amostras de solo: amostra de solo seca ao ar seguida de peneiração a 2,0mm (TFSA); moagem manual em gral e pistilo seguida de peneiração a 0,177mm (Manual) e; moagem em moinho rolador com frasco de vidro contendo peça metálica com formato hexagonal seguida de peneiração a 0,177mm (Moinho). Na Figura 1A, observa-se uma ilustração do moinho de rolagem contendo 5 cilindros recobertos com borracha. O frasco de vidro contendo uma peça metálica em formato curvo com arestas (Figura 1B) é colocado lateralmente entre dois cilindros que, após acionar o equipamento, entram em rotação movendo o frasco de vidro em seu próprio eixo gerando, assim, o atrito entre o material de solo, o corpo metálico hexagonal e a parede do frasco. A eficácia da moagem do solo foi avaliada pela proporção (% peso) do material de solo moído retido na peneira de 0,177mm, em relação ao peso total de material de solo moído. Quanto maior a porcentagem de solo moído retido na peneira 0,177mm, menos eficaz é a moagem. Uma alíquota da amostra moída manualmente, no moinho de rolagem e TFSA foi utilizada para a determinação da concentração de carbono por meio dos seguintes procedimentos: combustão por via úmida com dicromato, aquecimento por 5 minutos e determinação por titulometria (WB); combustão por via úmida com dicromato, aquecimento por 5 minutos e determinação por colorimetria (COL); e combustão por via seca de amostras moídas a granulometria < 0,177mm em aparelho Perkin Elmer CHN 2400 Series II (CHN).

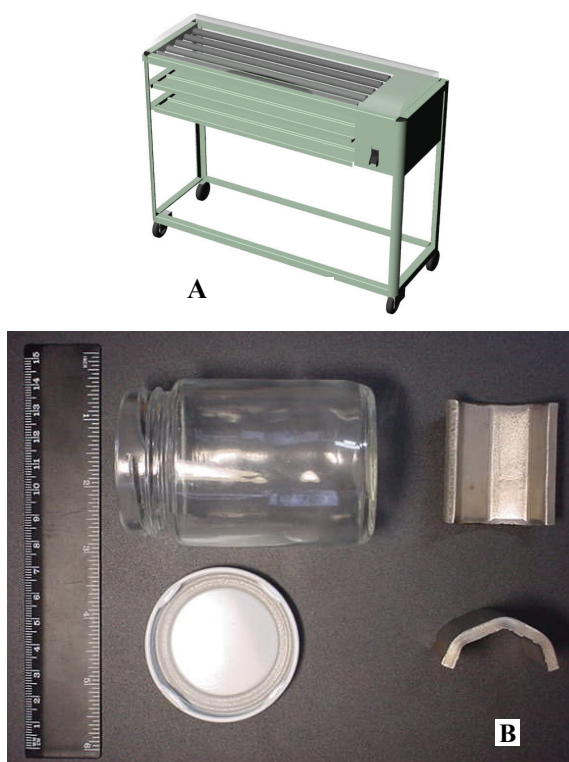


Fig. 1 - Esquema do moinho de rolagem (A) e foto de frasco de vidro contendo peça metálica (B) que é disposto lateralmente entre dois eixos roladores.

Resultados e Discussão

Na Tabela 2 são apresentados os resultados das concentrações de carbono dos solos analisados por diferentes métodos de preparo e determinação. Observa-se que no método WB apenas as amostras moídas manualmente dos solos 3 e 6, solos altamente alcalinos e contendo carbonato, apresentaram teores de carbono maiores que as preparadas TFSA. Também para os métodos CHN e COL observou-se similar tendência. Solos com as características químicas como as observadas nos solos 3 e 6 geralmente tratam-se de Luvisolos ou Chernossolos que correspondem a 2,65 e 0,53% da área total do país, respectivamente (Coelho *et al.*, 2002).

Quanto à eficiência na moagem do material de solo, observou-se que o solo moído manualmente apresentou menor eficiência pela maior quantidade de material retido na peneira 0,177mm, maior desvio padrão e menor reprodutibilidade comparativamente ao solo moído em moinho rolador com frasco de vidro (Tabela 3). Pérez *et al.* (2001) também constataram que a moagem manual do material de solo não foi suficiente para garantir uma homogeneidade da amostra de solo. O moinho rolador com frasco de vidro, entretanto, apresentou problema quanto à curta durabilidade do frasco de vidro, que, após um determinado tempo de uso, se rompe pelo atrito e impacto da peça metálica interna nas paredes do frasco durante o processo de moagem e, assim, levando à perda de amostra. Recentemente, os frascos de vidro foram substituídos com sucesso por frascos de porcelana.

Na Figura 2 são apresentados os gráficos mostrando as relações positivas existentes entre os métodos analisados (WB, COL e CHN). As equações obtidas apresentaram um alto coeficiente de determinação ($R^2 = 0,92$ para WB x CHN e COL x WB e $R^2 = 0,89$ para COL x CHN), confirmando a existência de uma grande interdependência entre estes métodos. Observou-se que apesar dos dois métodos (via seca e via úmida) se relacionarem, o método por via úmida (WB e COL) é menos vantajoso, pois além de ser necessário uma quantidade maior de tempo e, especificamente para WB, ser uma técnica mais laboriosa para determinação, os procedimentos por via úmida ainda utilizam o cromo, que, como exposto anteriormente, apresenta problemas de impacto ambiental no seu descarte. Já o CHN (método por via seca), em quatro minutos de análise, fornece o resultado mais preciso e sem dano ambiental similar ao observado na combustão via úmida, pois transforma a pequena quantidade de carbono existente na amostra em pequenas quantidades de CO_2 , assim como o hidrogênio é liberado na forma de vapor d'água e o nitrogênio na forma de gás. A correlação dos métodos seguiu a mesma tendência dentro das quatro classes texturais (relacionados à granulometria) de solos utilizadas (Tabela 4).

Tabela 2. Concentração de carbono (g C kg⁻¹ solo) dos solos obtida por diferentes métodos de preparo e determinação.

Solo	WB		CHN		COL (10 ⁻³ Absorvância a 540 nm)							
	Manual	TFSa	Moíño	Manual	Moíño	Manual	TFSa	Moíño				
	Carbono (g kg ⁻¹)											
1	5,56 ± 0,34*	5,18 ± 0,15	5,48 ± 0,38	6,44 A**	± 0,28	6,04 B ± 0,18	30,0 B	± 1,581	40,2 A	± 6,38	33,2 AB	± 5,35
2	4,62 AB	± 0,08	4,34 B ± 0,15	4,76 A ± 0,26	5,90 ± 0,19	5,90 ± 0,14	24,8 B	± 1,640	35,2 A	± 7,36	27,2 AB	± 5,07
3	10,30 A	± 0,31	9,68 B ± 0,36	10,38 A ± 0,27	12,84 ± 0,87	12,56 ± 0,54	67,0	± 5,339	82,6	± 16,92	76,2	± 7,90
4	12,64 ± 0,34	12,46 ± 0,92	12,80 ± 1,60	17,72 ± 5,64	18,30 ± 3,57	18,30 ± 3,57	76,2	± 10,060	82,2	± 14,27	91,2	± 6,83
5	5,48 B ± 0,26	5,60 B ± 0,14	6,20 A ± 0,35	7,16 B ± 0,51	8,36 A ± 0,97	8,36 A ± 0,97	26,2 B	± 3,564	36,0 A	± 4,95	35,6 A	± 5,55
6	5,12 A ± 0,22	4,56 B ± 0,17	5,20 A ± 0,27	6,32 ± 0,85	6,06 ± 0,21	6,06 ± 0,21	28,0	± 2,915	34,2	± 6,49	28,6	± 2,88
7	1,64 ± 0,15	1,56 ± 0,05	1,60 ± 0,07	1,86 ± 0,17	2,10 ± 0,38	2,10 ± 0,38	78,0	± 1,923	10,2	± 2,16	9,0	± 2,44
8	0,92 ± 0,13	1,02 ± 0,11	1,02 ± 0,11	1,54 ± 0,24	1,54 ± 0,34	1,54 ± 0,34	5,4	± 1,140	5,0	± 1,87	5,8	± 1,48
9	5,24 ± 0,13	4,94 ± 0,36	5,08 ± 0,18	6,50 ± 0,25	6,46 ± 0,29	6,46 ± 0,29	30,2	± 2,168	33,4	± 10,04	34,4	± 6,34
10	1,16 ± 0,30	1,18 ± 0,18	1,26 ± 0,15	1,42 ± 0,48	1,72 ± 0,13	1,72 ± 0,13	7,4	± 1,673	8,8	± 2,26	10,8	± 5,21
11	7,18 ± 0,47	6,74 ± 0,49	6,74 ± 0,34	8,36 ± 0,29	8,48 ± 0,67	8,48 ± 0,67	27,0	± 1,225	33,6	± 6,42	27,6	± 5,59
12	7,50 B ± 0,25	7,32 B ± 0,19	8,06 A ± 0,40	8,42 B ± 0,37	9,60 A ± 0,50	9,60 A ± 0,50	41,0 B	± 10,977	5,8 A	± 4,20	56,2 A	± 5,76
13	5,57 ± 0,26	5,74 ± 0,43	6,02 ± 0,19	7,88 ± 0,38	8,04 ± 0,27	8,04 ± 0,27	24,6	± 5,177	31,4	± 5,68	30,4	± 4,03
14	0,70 ± 0,12	0,90 ± 0,12	0,76 ± 0,19	0,90 ± 0,34	0,96 ± 0,27	0,96 ± 0,27	8,6	± 1,517	9,8	± 0,83	7,8	± 1,30
15	21,24 ± 0,90	19,66 ± 7,51	28,28 ± 6,05	24,76 A ± 1,93	48,40 A ± 5,17	48,40 A ± 5,17	178,6	± 14,363	157,2	± 67,75	232,2	± 49,53
16	23,24 ± 3,36	24,50 ± 0,98	24,90 ± 0,86	31,10 ± 1,33	30,74 ± 1,33	30,74 ± 1,33	146,8 B	± 12,853	194,0 A	± 26,57	152,8 B	± 12,27
17	23,80 ± 3,66	25,40 ± 0,25	25,56 ± 0,29	30,42 ± 1,12	30,50 ± 0,41	30,50 ± 0,41	148,0 B	± 20,688	197,6 A	± 43,88	170,0 AB	± 9,61
18	6,26 ± 2,67	5,50 ± 0,32	6,16 ± 0,61	5,74 B ± 1,31	7,56 A ± 0,57	7,56 A ± 0,57	45,2 B	± 7,396	60,6 A	± 11,28	55,4 AB	± 5,07
19	12,64 ± 0,36	12,62 ± 0,41	12,80 ± 0,23	15,44 A ± 1,00	16,64 A ± 0,59	16,64 A ± 0,59	95,8	± 11,411	98,2	± 22,86	92,4	± 7,43
20	14,98 ± 0,22	14,68 ± 0,36	14,94 ± 0,21	18,62 ± 0,41	18,48 ± 0,24	18,48 ± 0,24	99,0 AB	± 7,746	119,8 A	± 22,75	92,4 B	± 11,39

* desvio padrão (n = 3); ** Valores seguidos pela mesma letra na mesma linha não são significativos a p < 0,05.

Tabela 3. Porcentagem da massa de solo retida na peneira de 0,177mm após a moagem manual e no moinho rolador com frasco de vidro.

Solos	% Amostra retida			
	Manual	Desvio Padrão	Moinho	Desvio Padrão
1	30,833	± 7,003	4,466	± 2,084
2	7,946	± 4,874	1,783	± 1,747
3	13,646	± 10,407	2,483	± 1,278
4	29,843	± 19,737	6,870	± 0,216
5	26,516	± 18,099	7,133	± 1,027
6	13,936	± 10,352	2,656	± 1,062
7	5,996	± 5,644	5,996	± 5,644
8	5,923	± 3,680	1,623	± 1,319
9	37,840	± 28,692	6,190	± 0,650
10	27,703	± 13,328	5,586	± 2,411
11	14,900	± 5,428	5,473	± 0,208
12	17,386	± 13,404	7,666	± 0,680
13	23,970	± 13,798	4,430	± 0,880
14	26,746	± 1,178	10,686	± 0,547
15	22,326	± 12,022	11,706	± 0,218
16	14,480	± 7,222	4,216	± 0,681
17	22,320	± 20,382	3,560	± 0,346
18	16,183	± 9,013	8,223	± 1,459
19	17,733	± 12,963	3,426	± 0,878
20	21,026	± 10,110	0,963	± 1,005

Tabela 4. Equações de retas obtidos e seus respectivos coeficientes em relação às classes texturais.

Textura	Equação	R ²
Col X CHN		
Muito argilosa	$y = 0,0053x - 0,0034$	0,917
Argilosa	$y = 0,0047x + 0,0036$	0,903
Media	$y = 0,0045x - 8E-06$	0,875
Arenosa	$y = 0,0047x + 0,0083$	0,845
WB X CHN		
Muito argilosa	$y = 0,792x + 0,3078$	0,952
Argilosa	$y = 0,7438x + 0,2586$	0,936
Media	$y = 0,6104x + 1,4984$	0,902
Arenosa	$y = 0,6104x + 1,4984$	0,902
Col X WB		
Muito argilosa	$y = 0,0069x - 0,002$	0,802
Argilosa	$y = 0,0068x - 0,0004$	0,920
Media	$y = 0,006x + 0,00$	0,707
Arenosa	$y = 0,0073x + 0,0025$	0,808

Os resultados indicam que, na presença de CaCO_3 e nos solos alcalinos, existe uma tendência dos valores obtidos no CHN serem maiores que WB e COL (Figuras 2 e 3). Isso ocorre devido aos métodos WB e COL não serem eficientes para determinar o carbono inorgânico (Tabatabai, 1996). Entretanto, nas condições do estudo, o CHN foi eficiente para determinar o carbono total (mineral e orgânico), pois como o carbonato de cálcio é um sal, ao se dissociar o carbonato é lido como carbono total pelo CHN. A

quantidade de carbonato lida, todavia, foi insignificante perto do resultado obtido, pois as amostras coletadas apresentam no máximo um teor de 3,0% de carbonato.

Para valores de pH ácidos e básicos, observou-se que também não há interferência na medição de carbono, pois a variação obtida, foi menor que 10%, sendo, portanto aceitável dentro da faixa prevista de erros, que podem ser decorrentes da parte experimental (Tabela 5).

Tabela 5. Equações de retas obtidas e seus respectivos coeficientes em relação ao pH e presença de CaCO_3 .

Parâmetro	Equação	R ²
Col X CHN		
pH < 7,0	$y = 0,005x + 0,0018$	0,877
pH > 7,0	$y = 0,0056x - 0,0026$	0,939
Sem CaCO_3	$y = 0,005x + 0,0018$	0,877
CaCO_3 (de 0,2 a 3,0%)	$y = 0,0056x - 0,0026$	0,939
WB X CHN		
pH < 7,0	$y = 0,675x + 1,4377$	0,901
pH > 7,0	$y = 0,8168x - 0,0701$	0,983
sem CaCO_3	$y = 0,675x + 1,4377$	0,901
CaCO_3 (de 0,2 a 3,0%)	$y = 0,8168x - 0,0701$	0,983
Col X WB		
pH < 7,0	$y = 0,0074x - 0,0053$	0,909
pH > 7,0	$y = 0,0073x - 0,0024$	0,911
sem CaCO_3	$y = 0,0074x - 0,0053$	0,910
CaCO_3 (de 0,2 a 3,0%)	$y = 0,0073x - 0,0024$	0,911

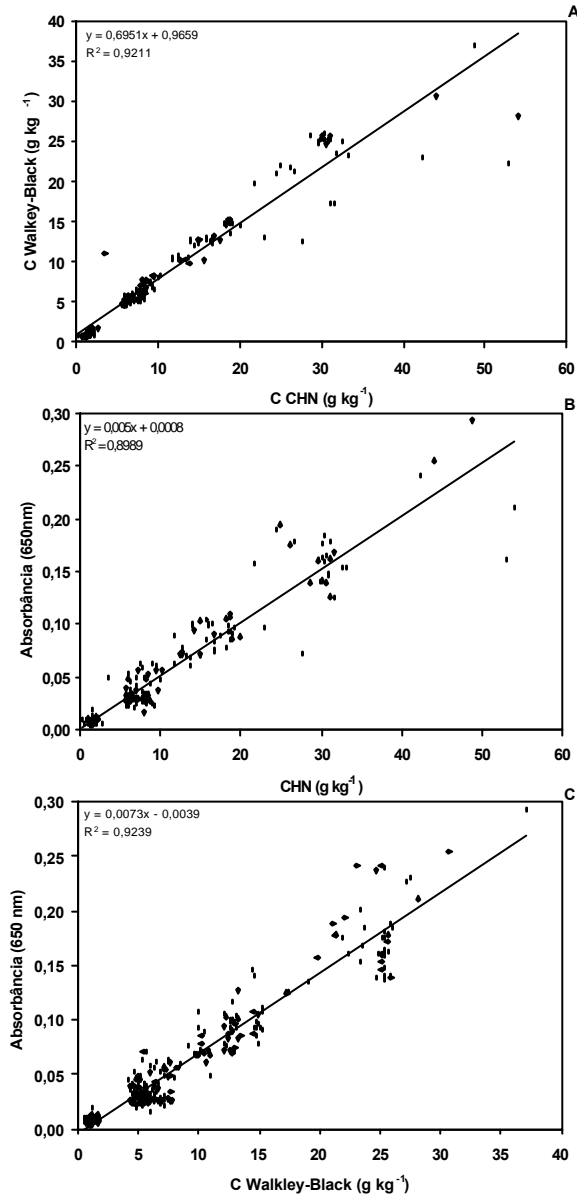


Fig. 2 - Gráficos das relações entre os métodos testados.

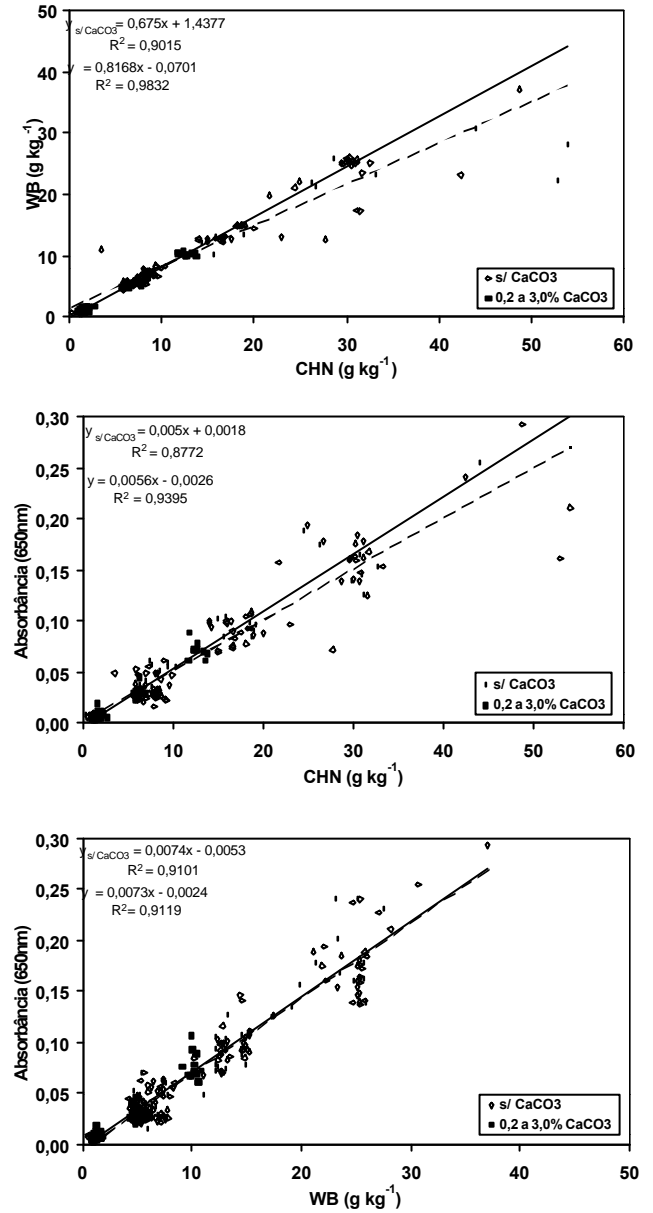


Fig. 3 - Gráficos relacionados a presença ou não de carbonato nos solos.

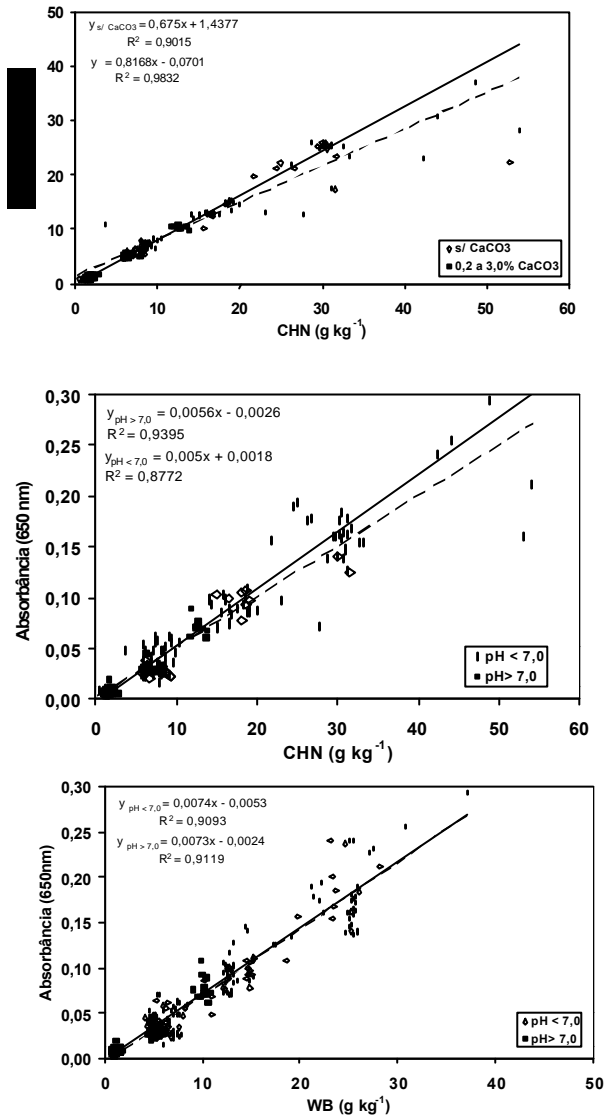


Fig.4 - Gráficos relacionados a variação de pH no solo

Conclusões

- 1) A moagem manual do material de solo para peneiração a 0,177mm (80 mesh) resulta em problemas de eficácia na moagem com grande quantidade de solo moído parcialmente e, assim, podendo gerar erros nas análises;
- 2) O moinho rolador com frasco de vidro é eficaz e ágil na moagem para peneiração a 0,177mm;
- 3) Não há maior eficácia na quantificação de carbono pelo método WB e principalmente COL (métodos por via úmida), moendo-se o material de solo para peneiração a 0,177mm. O uso de amostras TFSA para estes métodos satisfaz uma eficaz e eficiente análise de carbono do solo.

Referências Bibliográficas

- CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. V. Determinação da matéria orgânica. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. Cap. 9, p. 173-180.
- CHICHESTER, F.W., CHAISON, R.F. Analysis of carbon in calcareous soils using a two temperature dry combustion infrared instrumental procedure. **Soil Science**, Baltimore, v.153, p.237-241, 1993.
- COELHO, M.R.; SANTOS, H.G.; SILVA, E. F.; AGLIO, M.D. O recurso natural solo. In: MANZATTO, C.V.; FREITAS JUNIOR, E.; PERES, J.R.R. **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. p.1-12.
- DIAS, L. E.; JUCKSCH, I.; RICCI, M. S. F.; ALVAREZ V., V. H. Comparação de diferentes métodos de determinação de carbono orgânico em amostras de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, p.157-162, 1991.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).
- JIMENEZ, R. R., LADHA, J. L. Automated element analysis: A rapid and reliable but expensive measurement of total carbon and nitrogen in plant and soil samples. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 24, n. 15/16, p.1897-1924, 1993.
- KERVEN, G. L.; MENZIES, N. W.; GEYER, M. D. Soil carbon determination by high temperature combustion: a comparison with dichromate oxidation procedures and the influence of charcoal and carbonate carbon on the measured value. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 31, p. 1935-1939, 2000.
- METSON, A.J.; BLAKEMORE, L.C.; RHOADES, D.A. Methods for the determination of soil organic-carbon: a review and application to New Zealand soils. **New Zealander Journal of Soil Science**, Wellington, v. 222, p. 205-228, 1979.
- NELSON, D.W., SOMMERS, L. E. Total carbon, organic, and organic matter. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY D. R. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1982. Part 2, p. 539-579.
- PÉREZ, D.V.; ALCANTARA, S.; ARRUDA, R. J.; MENEGHELLI, N. A. Comparing two methods for soil carbon and nitrogen determination using selected Brazilian soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 32, p. 295-309, 2001.

SOON, Y. K., ABOUD, S. A comparison of some methods for soil organic carbon determination. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.22, p. 943-954, 1991.

TABATABAI, M. A. Soil organic matter testing: an overview. In: MAGDOFF, F. R.; TABATABAI, M. A.; HANLON JR, E. A. (Ed.). **Soil organic matter: analysis and interpretation**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 1-9. (SSSA. Special Publication, 46).

TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J., BOHNEN, H. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS - Departamento de Solos, 1985. 188 p. (UFRGS. Boletim Técnico, 5).

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, Baltimore, v. 37, p. 29-38, 1934.

WATSON, R. T.; NOBLE, I. R.; BOLIN, B.; RAVINDRANATH, N.H.; VERARDO, D.J.; DOKKEN, D. J. **Land use, land-use change and forestry: a special report of the IPCC**. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. 377 p.

YEOMANS, J.C., BREMMER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.19, p.1467-1476, 1988.

YEOMANS, J.C., BREMMER, J.M. Carbon and nitrogen analysis of soils by automated combustion techniques. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.22, p.843-850, 1991.

Circular Técnica 19

Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento

Exemplares desta edição podem ser obtidos na

Embrapa Solos

Endereço: Rua Jardim Botânico, 1.024 Jardim Botânico. Rio de Janeiro, RJ. CEP: 22460-000

Fone: (21) 2274.4999

Fax: (21) 2274.5291

E-mail: sac@cnps.embrapa.br

<http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/conhecimentos.html>

1ª edição

1ª impressão (2003): 300 exemplares

Expediente

Supervisor editorial: *Jacqueline S. Rezende Mattos*

Revisão de texto: *André Luiz da Silva Lopes*

Tratamento das ilustrações: *Rafael Simões B. Fernandes*

Editoração eletrônica: *Rafael Simões B. Fernandes*

Jacqueline Silva Rezende Mattos