

# DETERMINAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA EM SOLOS COM DIFERENTES MÉTODOS DE ANÁLISE E UMA PROPOSTA PARA RECICLAGEM DOS RESÍDUOS LABORATORIAIS FORMADOS



OLAM – Ciência & Tecnologia, Rio Claro, SP, Brasil – ISSN: 1982-7784 – está licenciada sob [Licença Creative Commons](#)

Janaina Silva Pereira [1]  
Maiko Cristian Sedoski [2]  
Sergio Roberto Oberhauser Quintanilha Braga [3]  
Darlene Lopes do Amaral Oliveira [4]

## INTRODUÇÃO

A preocupação com a mudança da visão nos laboratórios químicos frente à redução do volume e tratamento dos resíduos gerados é tema recorrente em discussões sobre poluição ambiental. Os benefícios obtidos com a minimização dos resíduos incluem a racionalização dos procedimentos analíticos visando menor consumo de reagentes e o decréscimo dos custos com tratamento e disposição final, além de colaborar com a segurança do operador e da comunidade, uma vez que previne a contaminação ambiental, seja por despejos gasosos, sólidos ou líquidos.

Laboratório de Solos geram diferentes tipos de resíduos dentre os quais podemos citar aqueles da determinação do teor de matéria orgânica. Os métodos propostos para a determinação da matéria orgânica em solos estimada através do carbono orgânico, podem ser por oxidação da matéria orgânica via seca (YOUNG; LINDBECK, 1964), por via úmida onde se destacam os métodos preconizados de Schollenberger (1927), Schollenberger (1945) e de Walkley e Black (1934); por cromatografia (DEAN, 1974), gravimétrica por incineração em mufla (BALL, 1964;

BEN-DOR; BANIN, 1984; JACKSON, 1982), termogravimétrica (WENDLANDT, 1986; BELTRAN et al., 1988) e por calorimetria.

Dias et al. (1991) observaram que, para trabalhos de laboratório de rotina, os métodos colorimétricos apresentam como vantagem principal a economia de reagentes, a reprodutividade dada pela análise de variância, mas eram pouco precisos. Segundo estes autores 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.

O método de Walkley e Black (1934) modificado por Jackson (1982), inserido no Manual de Métodos de Análise de Solo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (BRASIL, 1997), é o que vem sendo mais utilizado pela maioria dos laboratórios do país. Consiste na oxidação do carbono orgânico do solo pelo  $\text{Cr}^{6+}$  na presença de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado, na qual o excesso de  $\text{Cr}^{6+}$  é titulado com  $\text{Fe}^{2+}$ .

Como na maioria dos laboratórios os resíduos líquidos não são tratados antes do descarte no ambiente, a utilização deste método para determinação da matéria Orgânica (MO) do solo preocupa, por ser uma fonte de disseminação de Cr. Embora o  $\text{Cr}^{6+}$  nos resíduos laboratoriais possa ser neutralizado, por exemplo, com processos de redução e precipitação, isso não evita que seja gerado um resíduo sólido que contem esse metal. De acordo com a NBR nº 10.004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas, esses resíduos são classificados como perigosos, ou classe I (ABNT, 2004). Tais resíduos precisam de um sistema especial de acondicionamento, transporte, tratamento e, ou, disposição, o que dificulta o emprego de processos de tratamento nos laboratórios.

O descarte de resíduos ácidos contendo cromo no seu estado tóxico e os procedimentos de segurança como o uso de equipamento de proteção individual

(EPI), tem motivado o uso de métodos de determinação de carbono por combustão via seca em aparelhos automatizados (ESCOSTEGUY et al., 2007).

Reciclar é utilizar um resíduo ou o seu conteúdo energético após submetê-lo a algum tipo de processamento. A reciclagem de resíduos sólidos através de sua incorporação em formulações cerâmicas para produção de cerâmicas tradicionais, como tijolos, revestimentos e porcelanas, vem ganhando a cada dia mais destaque devido à possibilidade de aproveitamento de grandes quantidades de resíduos e pelos excelentes resultados técnicos que vêm sendo apresentados na literatura.

O objetivo deste trabalho foi avaliar: a) a eficiência de diferentes procedimentos de determinação de matéria orgânica do solo e b) a reciclagem do resíduo gerado do tratamento da determinação analítica de carbono orgânico em solos através de sua incorporação em formulações cerâmicas.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Comparação da Eficiência das Metodologias de Combustão Úmida e Seca**

O presente estudo foi desenvolvido no Laboratório de Solos Santa Rita de Mamborê e no Laboratório de Solos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *Campus* de Campo Mourão, no estado do Paraná. Os métodos de extração avaliados para a determinação da matéria orgânica do solo consistiram: a) combustão da matéria orgânica via seca, utilizando-se a mufla em duas temperaturas (450 °C e 350 °C); b) combustão via úmida utilizando-se a metodologia descrita em Walkley e Black (1934) em que as amostras foram determinadas por titulação e pelo método colorimétrico.

Em todos os testes as amostras foram previamente secas em estufa de circulação de ar e passadas em peneira de 2 mm. Para os ensaios combustão seca

em mufla (em ambas as temperaturas 350°C e 450°C) 2 gramas de solo foram pesados em latas de alumínio (28 cm<sup>3</sup>), sendo as pesagens efetuadas em balança analítica (quatro dígitos decimais). As latas foram inicialmente aquecidas em mufla (350 ± 2 °C, e 450 ± 2 °C por 3 horas) e deixadas esfriar para pesagem. Após a pesagem das latas (tara), pesaram-se então, as amostras de solo. Transcorrido o tempo de combustão na temperatura requerida as cápsulas metálicas foram novamente pesadas. O teor (% p/p) de MO foi calculado com a fórmula:

$$\frac{100 (\text{peso da lata} + \text{peso do solo } 105^{\circ}\text{C}) - (\text{peso da lata} + \text{peso solo } 350^{\circ}\text{C})}{100 (\text{peso da lata} + \text{peso do solo } 105^{\circ}\text{C}) - (\text{peso da lata})}$$

Nos métodos de combustão via úmida, a matéria orgânica foi oxidada a dióxido de carbono (CO<sup>2</sup>) em íons dicromato, em meio fortemente ácido conforme a reação:



Na determinação por titulação através do método Walkley e Black (1934), a quantidade de carbono orgânico foi obtida pela diferença entre a quantidade de Fe<sup>2+</sup> gasta na titulação da prova em branco e aquela gasta na titulação do dicromato que restou após a oxidação do carbono da amostra. A quantidade de matéria orgânica existente na amostra foi calculada pela seguinte expressão %MOS (p/v) = %C x 1,724. Este fator 1,724, foi utilizado em virtude de se admitir que na composição média da matéria orgânica do solo, o carbono participa com 58%.

O método colorimétrico utiliza a mesma reação química evidenciada acima, mas a dosagem do cromo (Cr<sup>+3</sup>) nesta metodologia foi medida a partir da intensidade da cor esverdeada produzida por esses íons em solução em

comprimento de onda de 650 *nm* e os resultados foram obtidos a partir de uma curva padrão.

As amostras de solos utilizadas no experimento foram obtidas no laboratório Santa Rita do Município de Mamborê, (PR). Estas amostras representam vários municípios do Arenito Caiuá (textura arenosa) e da formação Serra Geral (textura argilosa) do Paraná. As amostras foram coletadas a profundidade de 0 a 20 cm e representam áreas cultivadas com plantio direto. O teor de argila das amostras de solo selecionadas foi determinado através do método da pipeta.

Baseados nos procedimentos analíticos adotados foram comparados as quantidades de reagentes utilizados nos processos para a determinação da matéria orgânica e a quantidade de resíduo formado em cada determinação analítica.

### **Composição do Resíduo**

Foram coletadas amostras representativas do resíduo da metodologia de carbono orgânico por combustão úmida antes do tratamento por precipitação química e os mesmos foram caracterizados em relação aos teores de pH, Ferro e Cromo Total e comparados com a Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 2005). As análises foram feitas pelo Laboratório Santa Rita de Mamborê, de acordo com metodologias preconizadas pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* da *American Public Health Association* (EATON et al., 2005).

### **Tratamento do Resíduo Líquido**

O resíduo da determinação analítica foi tratado inicialmente no Laboratório Santa Rita com álcool etílico, para redução do Cromo VI até o estado de valência +3. A precipitação química com Hidróxido de sódio comercial (soda escama) foi feita no

Laboratório de Solos da UTFPR, *campus* Campo Mourão. Após a formação do precipitado (hidróxidos insolúveis) o mesmo foi disposto em Cones de Imhof para sedimentação, e o lodo gerado foi posteriormente testado em incrementos de massas argilosas. O lodo gerado após a precipitação química foi caracterizado em relação aos teores de pH, Sulfato, Ferro e Cromo Total conforme preconizados em *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (EATON et al., 2005).

### **Ensaio Tecnológico em Corpos de Prova**

Para os ensaios de retração linear foi necessário a confecção de molde metálico de perfil retangular de 60 x 20 x 5mm (Figura 1) conforme procedimentos descritos no Manual de Procedimentos para a Indústria de Cerâmica Vermelha do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (SÃO PAULO, 1986).

Para cada tipo de massa argilosa foram confeccionados três corpos de prova. Adicionou-se 15 a 18% de umidade em massa, com borrifador tarado, utilizando o cálculo de massa de água para obter 16% de umidade (valor intermediário). Fórmula: massa de água a ser adicionada =  $M_{\text{amostra}} \times 16\% \text{ de água} / 100\%$ . Em que:  $M_{\text{amostra}}$  corresponde à massa de material seca a 110 °C (usualmente: 200 g).

Após ter sido adicionado a umidade, a amostra foi acondicionada em saco plástico tomando-se o cuidado de identificar as amostras e manter o mesmo fechado durante a realização do procedimento restante. Pesou-se aproximadamente 10 g da amostra (com umidade adicionada) transferindo-a para o gabarito de aço e o mesmo foi prensado em prensa hidráulica (2.500 t). Ao término desta etapa tomou-se o cuidado que o corpo de prova tivesse 5 mm de espessura com o auxílio de um paquímetro. Quando inicialmente não foi atingida a espessura requerida, foi

aumentado/diminuído a quantidade de amostra colocada no gabarito e o mesmo foi prensado novamente até que fosse atingida a espessura sugerida.

Para os corpos com mais de um material com argila mais resíduo misturou-se os respectivos componentes, e depois a mistura foi passada pela peneira de malha 30, e em seguida a mistura foi homogenizada em almofariz.

Os corpos de prova recém-prensados foram pesados e medidos, postos a secar, primeiramente ao ar e posteriormente em estufa a uma temperatura de 110°C por 2 horas, foram então, novamente pesados e medidos de modo a se determinar a umidade imediatamente após a prensagem, massa específica aparente após secagem em estufa (MEAseca) e retração linear após secagem na estufa (RLseca).

A determinação da umidade das amostras após prensagem (hp) foi feita através da equação (A) em valor percentual. A massa específica aparente foi determinada pela equação (B). No caso dos corpos de prova antes das queimas o volume aparente foi determinado através do processo geométrico (equação (C)) e a retração linear para as amostras após secagem em estufa a temperatura de 110°C (RLseca) foi obtida pela equação (D):

$$hp = [(mv - ms) / ms] \times 100 \quad \text{(Equação A)}$$

$$MEA = m / Va \quad \text{(Equação B)}$$

$$Va = (Cs \times Ls \times Es) \quad \text{(Equação C)}$$

$$RLseca = [(Cv - Cs) / Cs] \times 100 \quad \text{(Equação D)}$$

Em que: mv, ms, é a massa do corpo de prova verde (logo após prensagem), após secagem em estufa, após a queima e seco em estufa, massa úmida e imersa do corpo de prova após a queima (g), respectivamente; (Cv, Cv, Cs, Cq) é o comprimento do corpo de prova verde, seco em estufa e após a queima (cm),

respectivamente; Ls e Es são a largura e a espessura do corpo de prova após secagem em estufa (cm), respectivamente.

## Queima

Com o objetivo de verificar o aparecimento de defeitos e as propriedades físicas dos corpos de prova ocasionados por diferentes curvas de queima, as amostras foram queimadas em forno de laboratório, tipo mufla. Depois dos corpos-de-prova estudados nas dimensões: 6,0 X 2,0 X 0,5 cm serem levados à estufa a 100-105°C, os mesmos foram queimados em forno elétrico de laboratório em temperaturas variando de 700 a 900° C. Foi utilizada uma taxa de aquecimento de 4°C/min, tempo de patamar de 3 horas e resfriamento realizado por convecção natural, desligando-se o forno. As propriedades tecnológicas determinadas foram: retração linear de secagem e absorção de água, de acordo com norma técnica NBR nº 13.818/1997 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1997). A equação E evidencia os cálculos para a perda ao fogo, a equação F mostra como foi calculado o percentual de absorção de água e os resultados dos ensaios de retração linear de queima foram calculados conforme a equação G, que relaciona o tamanho inicial das peças cruas (Cs – Cq) e o tamanho das peças queimadas (Cq).

Em que: (mqs, mqu e mqi), é a massa do corpo de prova após a queima e seco em estufa, massa úmida e imersa do corpo de prova após a queima, respectivamente.

$$AA = [(mqu - mqs)/mqs] \times 100 \quad (\text{Equação F})$$

$$RL_{\text{queima}} = [(Cs - Cq)/Cq] \times 100 \quad (\text{Equação G})$$

$$PF = [(ms - mqs)/mqs] \times 100 \quad (\text{Equação E})$$

## **Massas Argilosas Testadas**

Diferentes proporções de amostra de resíduo 0%, 5%, 10% e 15% foram misturadas às argilas utilizadas na indústria cerâmica Ki Base de Luiziana (PR). A sinterização foi realizada na temperatura de 700°C, 800°C e 900° C. As medidas dos corpos de prova cerâmicos (variações dimensionais) foram feitas antes e após a sinterização (comprimento, largura, altura com o auxílio de um paquímetro e peso através de balança analítica de precisão de 4 casas decimais).

No decorrer do processo produtivo cerâmico, em suas diversas etapas de fabricação (preparação de massa, prensagem, secagem e queima), as peças podem apresentar defeitos dos mais variados tipos e proporções. Entre estes defeitos incluem as trincas e a falta de planaridade que poderão ser observados nos corpos de prova através de testes visuais. Os testes físicos e mecânicos juntamente com os testes visuais avaliam a qualidade e classificam os produtos cerâmicos dentro das normas para cada uso específico. Tomou-se o cuidado de se fazer uma análise por inspeção visual na coloração e nas condições dos corpos de prova, antes e após a queima e um registro fotográfico foi feito para avaliar as variações da cor.

## **Limites de Consistência de Atterberg**

Foram avaliados os limites de liquidez (LL) de acordo com a NBR nº 6.459/1984 (ABNT, 1984) e o limite de Plasticidade (LP) através da norma NBR nº 7.180/1984 nas diferentes massas argilosas propostas. Através dos resultados obtidos calculou-se o índice de plasticidade (IP) de acordo com a equação H:

$$IP = LL - LP \quad (\text{Equação H})$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Comparação dos Diferentes Métodos de Determinação de Matéria Orgânica (Mo) do Solo

Analisando-se os dados apresentados na Tabela 1, pode-se verificar que os métodos de combustão seca (mufla a 450°C seguido pelo de 350°C) apresentaram os maiores valores de MO no solo em relação àqueles de combustão úmida – colorimetria seguido pelo método de Walkley e Black (1934), o que corrobora com os resultados de Silva et al. (1999).

Tabela 1 - Média dos valores de matéria orgânica de solos superficiais do Arenito Caiuá e da formação Serra Geral do Estado do Paraná, avaliados por diferentes métodos de análises.

Amostra	% MO 350 (p/p)	%MO 450 (p/p)	% MO Calor (p/v)	% MO WB (p/v)	Teor de argila
1	12,20	16,50	3,58	3,13	617
2	11,00	14,00	3,20	2,65	571
3	13,70	16,80	3,84	3,22	571
4	9,70	13,00	1,60	1,37	614
5	15,30	18,10	3,45	3,00	592
6	1,30	2,00	1,13	2,30	107
7	4,80	7,40	2,55	2,30	301
8	5,00	6,30	2,33	2,27	221
9	3,20	4,30	2,61	2,24	106
10	1,30	2,10	1,35	0,93	125

Elaborado pelos autores (2009).

Estes autores para o horizonte A de vários solos estudados encontraram maiores teores de matéria orgânica quando se utilizou a mufla a 500°C, sendo estes valores de 3 a 6 vezes superior ao obtido pelo método utilizado nos laboratórios de solos do Brasil (WALKLEY; BLACK, 1934) e de 3 a 4 vezes superior ao obtido pelo método do analisador elementar, padrão mundial. Foi atribuída esta superestimação

ao fato de que, a 500°C toda a gibbsita e parte da caulinita presente na fração argila do solo ser também calcinados, além de perdas de água estrutural. Ressalta-se que todos os solos estudados por estes autores foram argilosos e a mineralogia de sua fração argila era caulinita-gibbística.

O trabalho de Silva et al. (1999) buscou também avaliar a extração da matéria orgânica a 250°C e pode-se observar que a esta temperatura os valores foram menores do que a 500°C, mas ainda superiores ao do Carbono Elementar e ao de Walkley e Black (1934), a exemplo deste experimento onde os valores extraídos a 350° C foram menores do que aqueles extraídos a 450° C, mas também superiores aqueles encontrados por Colorimetria e por titulação (WALKLEY; BLACK, 1934).

A calcinação, que utiliza a gravimetria como forma de determinar o carbono orgânico, possui problemas inerentes ao seu princípio, uma vez que a temperatura alta pode provocar perdas de água estrutural (componente da estrutura dos minerais do solo). Tal fato pode causar uma superestimação do carbono orgânico do solo. Outra possível fonte de variação é a perda de compostos inorgânicos, pela calcinação em temperaturas mais elevadas, como por exemplo, da gibbsita, o que também pode provocar a superestimação do carbono, em maior ou menor escala, dependendo da mineralogia do solo. São vários os trabalhos que testam as temperaturas ideais para a calcinação (ESCOSTEGUY et al. 2007; DAVIES, 1974), sendo que as temperaturas normalmente estudadas variam de 250 a 1000°C. Segundo Carvalho Júnior et al. (1997), esta amplitude de valores justifica a necessidade de novos estudos para adaptar esta metodologia aos solos tropicais.

O método proposto por Walkley e Black (1934) e o método colorimétrico subestimam os resultados obtidos, comparando-se com o método mufla, pois estes métodos foram propostos para medir a matéria orgânica facilmente oxidável ou decomponível do solo, húmus e resíduos, mas exclui frações orgânicas resistentes como carvão e carbonatos presentes no solo e parte da humina os quais não são

oxidados pelo dicromato de potássio (NELSON; SOMMERS, 1996). A reação no método de combustão úmida estudada ocorre sem aquecimento externo, contando somente com o calor despreendido pela diluição do H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, desse modo, a oxidação do carbono da matéria orgânica não é completa.

A Tabela 2 evidencia os valores médios de MO obtidos para as diferentes metodologias levando em consideração a textura das amostras. Pode-se observar que a análise dos solos em que predominam a fração argila, os valores de MO foram maiores em relação aos valores médios dos solos totais (onde foram considerados tanto aqueles que predominam a de fração argila como os de fração areia), enquanto que aqueles solos arenosos os valores de MO foram muito menores e os valores de MO avaliados para os diferentes métodos se aproximam consideravelmente. Isto pode ser explicado devido à maior presença de minerais primários, principalmente quartzo e feldspato, das frações grosseiras (areia e silte).

Tabela 2 - Valores médios da MO nos solos estudados em função da textura

Solos	MO 350	MO 450	MO Colorimetria	MO Walkley e Black (1934)
Arg + Areia	7,8	10,1	2,6	2,2
Arg	12,38	15,7	3,7	2,7
Areia	3,1	4,4	2,0	1,7

Elaborado pelos autores (2009).

Até recentemente, segundo Escosteguy et al. (2007), o método combustão seca (mufla) não foi utilizado em laboratórios de rotina, principalmente devido ao prolongado tempo para a pesagem das amostras. Entretanto, nos últimos anos, a maior preocupação com a qualidade do ambiente nos países desenvolvidos estimulou o uso desse método, o qual foi viabilizado com a automatização dos procedimentos de pesagem. Estes autores ressaltam que a adoção do método

combustão seca também é limitada pela necessidade de os resultados obtidos com ele serem correlacionados com os métodos usados em tabelas com recomendação de adubação nitrogenada, e essa correlação pode variar com o tipo e o uso do solo.

De acordo com Davies (1974), para se utilizar métodos de determinação de teor de matéria orgânica no solo por calcinação, deve-se compará-los com o método de Walkley e Black (1934) por meio de uma equação de regressão nos horizontes subsuperficiais dos latossolos. Baseados nisto Escosteguy et al. (2007), avaliaram o método da perda de massa por ignição, em comparação ao método da combustão úmida usando a solução sulfocrômica, utilizado na Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e de Tecido Vegetal dos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (ROLAS) e também ao método-padrão de (WALKLEY; BLACK, 1934). Os teores de MO determinados com a combustão seca por estes autores foram, em média, 22 a 94 % maiores que os da solução sulfocrômica e 27 a 46 % maiores que os obtidos com o método de Walkley e Black (1934), nas amostras da Depressão Central e nas unidades de mapeamento do RS, respectivamente corroborando com os resultados encontrados nesta pesquisa. Estes autores encontraram correlação significativa entre o método de combustão seca e os métodos com dicromato e evidenciaram que o método mufla pode ser usado na análise do teor de MO do solo em substituição aos que empregam o dicromato. Para isso sugeriram que equações que possibilitem calcular o teor de MO usando a mufla devem ser desenvolvidas para a maioria das classes de solos do RS.

Os resultados obtidos com as amostras coletadas em diversos locais do estado do Paraná (Figura 1) evidenciam que o valor do coeficiente de determinação entre os métodos de combustão seca (temperatura de 450°C e 350°C,  $R^2 = 0,9888$ ) foi maior, muito embora em pequena proporção que o apresentado para o método de combustão úmida de Walkley e Black (1934) e o método colorimétrico ( $R^2 = 0,9788$ ).

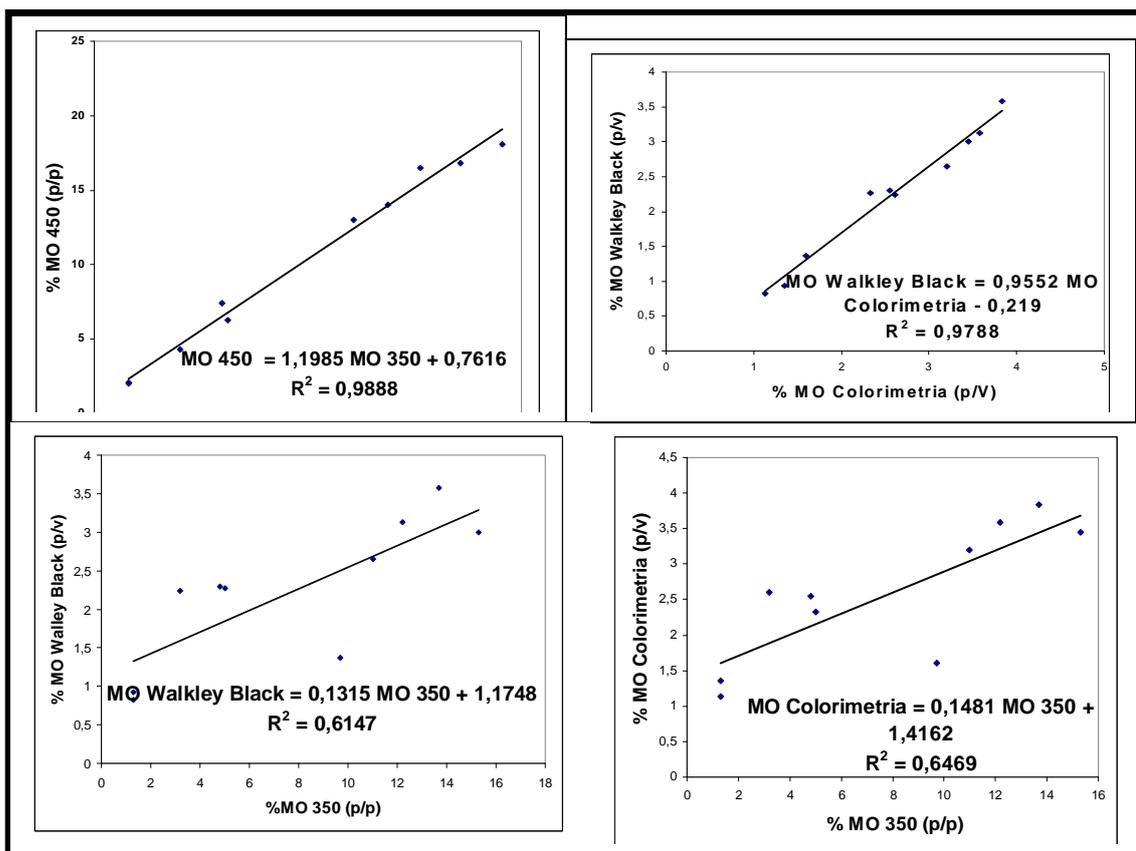


Figura 1- Relação entre os teores de Matéria Orgânica (MO) determinada com os métodos Walkley e Black (1934), colorimétrico e combustão seca por ignição em mufla a 450° e 350° em amostras do Arenito Caiua e da Formação Serra Geral do Paraná .  
Elaborado pelos autores (2009).

Estes resultados muito próximos podem estar relacionados à forma de extração, enquanto que nos métodos de combustão seca foi utilizada a calcinação das amostras em diferentes temperaturas, nos métodos de combustão úmida utiliza-se a mesma reação química (oxidação da matéria orgânica com dicromato em meio ácido). Quando analisamos os valores dos coeficientes de determinação entre os métodos de combustão seca e úmida podemos observar menores valores,  $r^2 = 0,6469$  para os resultados do método colorimétrico relacionados ao de MO 350 e  $r^2 = 0,6147$  do Walkley e Black (1934) comparado ao MO 350. Os valores encontrados podem estar correlacionados com as diferenças intrínsecas entre estes dois métodos.

Os valores dos coeficientes das equações (a e b) foram diferentes para as equações das retas encontradas. Schulte e Hopkins (1996), ao compararem 16 equações de regressão linear que relacionavam métodos com dicromato com o de combustão seca por ignição, observaram diferenças entre os valores dos coeficientes dessas equações a exemplo do encontrado nesse trabalho. Segundo esses autores, isso resulta dos diferentes tempos e temperatura de aquecimento da amostra analisada com os diferentes métodos de análise. Podemos também citar que no método combustão seca a quantidade de amostra é medida com a pesagem e o teor de MO é expresso em base de massa de solo (% p/p), enquanto que no método combustão úmida a alíquota analisada é medida em volume e o resultado expresso em base de volume de solo (% p/v). Assim os maiores teores de MO obtidos com o método combustão seca podem estar relacionados com a densidade das amostras pesadas, as quais diferem das amostras coletadas nas alíquotas do método combustão úmida.

### **Comparação dos Reagentes e Resíduos Formados nas Extrações por Combustão Seca e Úmida**

Baseados nos procedimentos analíticos utilizados foram comparados as quantidades de reagentes necessárias a cada método deste estudo (Tabela 3).

A grande vantagem encontrada no método gravimétrico é que se consegue eliminar os resíduos gerados, mas deve-se ressaltar que a calcinação em mufla elétrica consome energia produzida sempre de impactos ambientais de ordem variável. O valor do Kw hora<sup>-1</sup> estimado pela Companhia Paranaense de Energia Elétrica (COPEL) é de R\$ 0,3998 para consumo em residência (PARANÁ, 2009) Segundo dados de Pietrobelli e Costa Técnico (2008), a calcinação aparentemente mais vantajosa pela simplicidade de execução das análises e a não geração de resíduos tóxicos requer um consumo elevado de energia elétrica (84 Kw hora<sup>-1</sup>). Estes autores substituíram o dicromato de potássio pelo permanganato e verificaram

que tanto o método WB quanto o de permanagemetria indireta são geradores de resíduos tóxicos,  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  e  $\text{MnO}(\text{OH})_2$ , respectivamente após tratamento com alcalis e ressaltam que ambos os resíduos gerados foram Classe I.

A utilização do método colorimétrico produz uma quantidade de resíduo (23 mL) menor do que no método titulométrico (84 mL) devido a não necessidade do ácido fosfórico. Segundo Cambardella et al. (2001), a adição de ácido fosfórico e água abundante na titulação ajuda a visualizar a viragem da cor do indicador e também favorece a eliminação da cor amarela do  $\text{Fe}^{+3}$ , por meio da formação do complexo  $[\text{Fe}(\text{PO}_4)_2]^{+3}$ , incolor.

Tabela 3 - Quantidade de reagentes utilizados nos processos de determinação de MO do solo segundo as metodologias combustão seca e combustão úmida

<i>Componente</i>	<i>Walkley e Black (1934)</i>	<i>Colorimetria</i>	<i>Mufla 450° C</i>	<i>Mufla 350° C</i>
Amostra de solo	1,0 ml	1,0 ml	2 g	2 g
Dicromato de potássio 0,1 N	10 ml	10 ml	.....	.....
Acido sulfúrico conc.	10 ml	10 ml	.....	.....
Acido fosfórico 1:50	50 ml	.....	.....	.....
Difenilamina	1 ml	.....	.....	.....
Sulfato ferroso 0,1 N	10 ml	.....	.....	.....
Álcool etílico	2 ml	2 ml	.....	.....
Consumo de Energia elétrica	Não	Não	Sim	Sim
Total resíduo gerado	84 mL	23 mL	Não ha geração	Não há geração

Elaborado pelos autores (2009).

Ao se determinar a concentração de Cromo total no resíduo total descartado sem tratamento (Tabela 4), através de Espectrometria de Absorção Atômica modalidade chama, constatou-se a presença média de 2719,2 mg L<sup>-1</sup> do elemento, sendo que o valor Máximo permitido (VMP) na Resolução n<sup>o</sup> 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 2005) é de 0,5 mg L<sup>-1</sup> para lançamentos de efluentes. Ressalta-se que os valores de pH também não estão em conformidade com os VMP estabelecidos por esta Resolução.

Tabela 4 - Resultados de análise para os resíduos líquidos gerados na determinação analítica de MO do solo por combustão úmida comparados com os valores máximos permitidos (VMP) da Resolução Conama 357 de 2005.

Parâmetros	Resultados médios	VMP RESOLUÇÃO CONAMA 357/05
pH	0	Entre 5 e 9
Cromo Total (mg L <sup>-1</sup> )	2719,2	0,5
Ferro Total (mg L <sup>-1</sup> )	1322,9	-----
Ferro dissolvido (mg L <sup>-1</sup> )	-----	15

Elaborado pelos autores (2009).

### **Redução e Precipitação Química dos Resíduos Gerados na Determinação de Mo do Solo por Combustão Úmida**

Visando reduzir os danos ambientais causados pelo despejo desses rejeitos, a redução do Cr+6 vem sendo feita através da adição de álcool etílico a estes resíduos. São gerados 1.000 kg/ano deste resíduo no Laboratório Santa Rita de Mamborê, os quais são armazenados em galões devidamente identificados e dispostos em uma sala de resíduos. Ao final de cada ano os mesmos são enviados à Curitiba ao galpão técnico de armazenamento temporário de resíduos da V e, posteriormente, enviado para co-processamento (destruição térmica de resíduos em fornos de cimento). Esta disposição final acarreta um ônus de R\$ 6,00 o kilo de resíduo gerado.

O procedimento básico consistiu em reduzir o cromo (VI), contido nos resíduos, da solução de dicromato de potássio que não reagiu a Cr (III) e precipitá-lo como seu hidróxido. Isto foi feito utilizando-se o álcool etílico como agente redutor de cromo e a neutralização final foi feita pela adição de NaOH 10 M, conforme evidenciado na Figura 2.

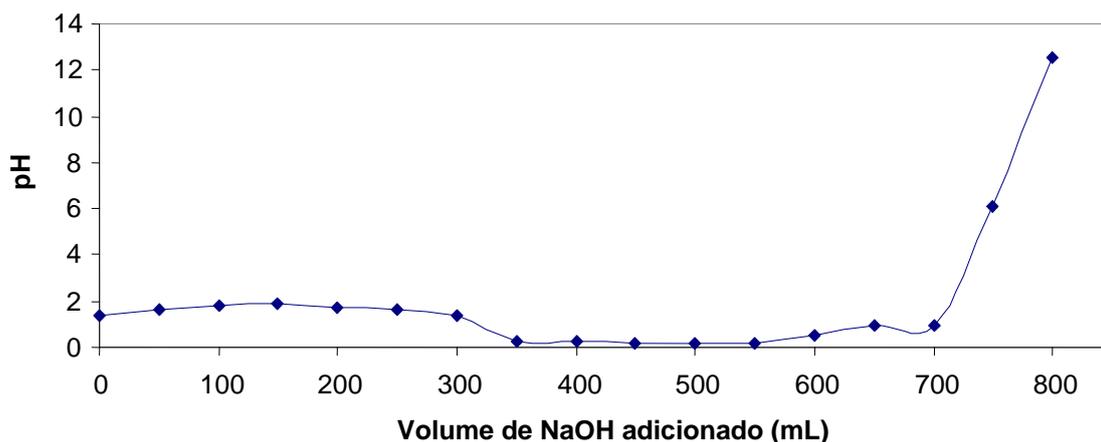


Figura 2 - Curva da variação dos valores de pH dos resíduos da determinação de MO do solo em função da quantidade de NaOH adicionada para neutralização. Elaborado pelos autores (2009).

A acidez muito elevada dos resíduos gerados representou um inconveniente devido à necessidade de neutralizar o Cr (III) para a obtenção do precipitado. O volume de NaOH 10 M requerido para a neutralização foi de 750 ml, o que equivale a 300 g de NaOH comercial.

O lodo gerado na precipitação química foi testado em incrementos em massas argilosas e a solução resultante foi guardada para neutralização de outros resíduos da determinação de MO que serão formados posteriormente. Para reaproveitamento Gromboni et al. (2006) utilizaram o precipitado filtrado após a transformação em óxido a partir da calcinação em mufla por 6 h, para o uso na marcação de gado.

Para os resultados da composição química do lodo gerado na precipitação química dos resíduos da determinação analítica da MOS (Tabela 5) vale a pena destacar os altos teores de sulfato ( $1018,4 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

Tabela 5 - Resultado de análise para os resíduos sólidos gerados (lodo) na precipitação química dos resíduos da determinação analítica de MO do solo por combustão úmida.

Parâmetros	pH	Cromo Total ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Ferro Total ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Sulfato ( $\text{mg kg}^{-1}$ )
Resultados médios	10,2	2984,4	1845,2	1018,4

Elaborado pelos autores (2009).

### Propriedades Físicas das Massas Argilosas com Incremento do Lodo

Os resultados dos limites de consistência de Atterberg (Tabela 6) para as massas cerâmicas preparadas mostram índices de plasticidade da ordem de 30,6 a 39,2%. Assim, estas massas argilosas podem ser classificadas do ponto de vista de Mecânica dos Solos, como pertencente ao grupo de argilas inorgânicas de plasticidade alta.

Tabela 6 – Limites de Atterberg para as massas cerâmicas preparadas

	Argila + 0 % Lodo	Argila + 5 % Lodo	Argila + 10 % Lodo	Argila + 15 % Lodo
LL	77,4	72,1	66,5	65,4
LP	38,2	34,9	35,8	34,8
IP	39,2	37,2	30,7	30,6

Elaborado pelos autores (2009).

Foram feitas algumas tentativas no sentido de determinar os limites de consistência de Atterberg para o resíduo puro (lodo gerado no tratamento físico químico), no entanto, todos os experimentos foram impraticáveis, devido à natureza não coesiva deste material.

Segundo Vieira et al (2003), o Índice de Plasticidade (IP) define a faixa de teor de umidade em que o lodo se encontra no estado plástico. As argilas com  $1\% < IP < 7\%$  são classificadas como fracamente plásticas; com  $7\% < IP < 15\%$  temos as medianamente plásticas e com  $IP > 15\%$  as altamente plásticas. Os resultados mostram que o lodo forma uma massa de consistência altamente plástica. Segundo estes autores as massas argilosas usadas em cerâmica vermelha devem apresentar um IP compreendido entre  $10 < IP < 35\%$  sendo a faixa recomendada para o Lp entre  $22 < LP < 24\%$ . Com os resultados apresentados, evidencia-se a diminuição do índice de plasticidade, o LL e o LP das misturas conforme a adição do lodo. Este comportamento era previsto, pois esta lama constitui-se unicamente de materiais não-plásticos. Contudo, esta queda na plasticidade não deixa a mistura imprópria para o processo de extrusão, uma vez que a diminuição não é significativa, apresentando excelentes índices de plasticidade, mesmo aqueles de menor valor como o caso da mistura de 15% de lodo.

As propriedades físicas dos corpos de prova, confeccionados com argila com diferentes incrementos de lodo da precipitação química do resíduo da determinação analítica da MO do solo através de combustão por via úmida são apresentadas na Tabela 7. Observa-se que a umidade após a prensagem (Hp) teve um decréscimo em função do aumento do incremento do lodo. Os valores variaram de 16,5 a 21%. As misturas (0, 5, 10 e 15%) comportaram-se bem na conformação por prensagem. De todos os corpos de prova nenhum apresentou defeito de conformação e secagem. Pode-se observar que as massas específicas tanto verdes (úmidas) como secas não sofreram variações significativas em função do incremento do lodo, e que a retração linear após a secagem em estufa a 105°C teve o mesmo comportamento

da umidade após a prensagem, os valores decresceram em função do acréscimo de lodo as massas cerâmicas.

Em relação à retração linear de queima (Figura 3), pode-se observar que as massas argilosas sofreram grande influência do lodo adicionado, pois as massas que não apresentaram defeitos aparentes do tipo trincas numa curva de queima de 40°C/min foram apenas as com 5 % de lodo à temperatura de aquecimento de 700 e 800° C e aquelas com 10% de incremento com lodo a temperatura de 700° C. As demais massas argilosas propostas sofreram ruptura quando no aquecimento na temperatura sugerida.

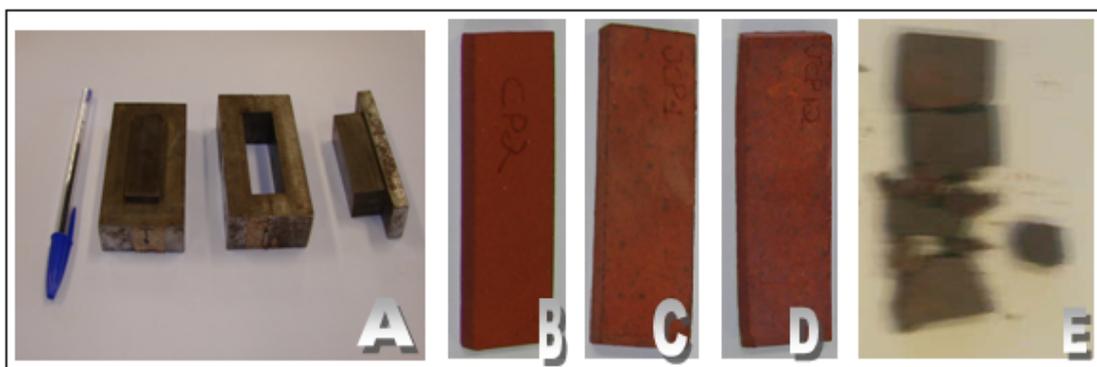


Figura 3 - Gabarito de aço para os ensaios de retração linear (a), Corpos de Prova com 0% de resíduo (b), com 5% de resíduo (c), com 10% de resíduo (d) e com 15% de resíduo (e) a temperatura de queima de (700°C). Elaborado pelos autores (2009).

As misturas (0, 5, 10 e 15 %) comportaram-se bem na conformação por prensagem. De todos os corpos nenhum apresentou defeito de conformação e secagem. E pode ser notado que para umidades diferentes e para mesma pressão de compactação, as misturas apresentaram densidades aparentes muito próximas após a secagem.

Da análise feita após a queima, a uma temperatura de 700°C pode-se observar que somente as misturas 5 e 10% (Figura 3) não apresentaram trincas,

rachaduras ou distorções para a curva de queima proposta e aquela de 5% a temperatura de 800 °C. As misturas, de uma forma geral, atingiram valores superiores a 13% de perda de massa ao fogo sendo a mistura 10% de lodo a 800°C aquela que apresentou o maior valor com percentual de 20,98. Essas variações de massa devem-se, principalmente, a eliminações de matérias orgânicas, perda de água por desidroxilação, e principalmente as altas concentrações de sulfato no resíduo que podem, por aquecimento, ter liberado óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>).

Contudo, o melhor resultado foi para os corpos referentes da mistura a 5% a 700 °C, devido ao menor valor de absorção de água apresentado, conseqüentemente o valor de porosidade aparente foi menor. Estes corpos de prova não apresentaram defeitos aparentes do tipo trincas numa curva de queima de 40°C/min.

Tabela 7- Propriedades físicas dos corpos de prova com massas cerâmicas com diferentes incrementos de lodo da precipitação química do resíduo da determinação analítica da MO do solo através de combustão por via úmida.

Amostras	Temperatura °C	0% lodo	5% lodo	10% lodo	15% lodo
HP %	100-105	21,05	20,47	16,70	16,50
MEA verde (g cm <sup>-3</sup> )	ambiente	2,00	2,00	2,00	2,00
MEA seca (g cm <sup>-3</sup> )	100-105	1,82	1,80	1,83	1,85
RL seca %	100-105	3,75	3,70	3,30	3,04
RL queima %	700	1,78	1,92	2,51	Quebrou
	800		5,93	Quebrou	Quebrou
	900		Quebrou	Quebrou	Quebrou
AA %	700	23,3	20,6	15,5	-----
	800	22,5	16,2	-----	-----
	900	22,2	-----	-----	-----
PF %	700		13,92	20,90	-----
	800		15,71	-----	-----
	900		-----	-----	-----

Hp=umidade após prensagem; MEA= massa específica aparente; RLseca= Retração linear após a secagem em estufa a 105°C; RL queima=Retração linear de queima; AA= Absorção de água e PF= Perda ao fogo. Elaborado pelos autores (2009).

## CONCLUSÕES

Os métodos de calcinação em mufla (350 °C e 450 °C) superestimam os teores de matéria orgânica do solo.

Equações de regressão devem ser propostas para correlacionar os métodos de Walkley e Black (1934) e o de combustão seca para os solos do Estado do Paraná.

O resíduo da matéria orgânica determinada por colorimetria apresentou alta concentração de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, e para a precipitação deste resíduo foi utilizado 750 ml de NaOH 10 M, o que equivaleu a 300g de NaOH comercial.

O índice de plasticidade, o LL e o LP das misturas diminuíram conforme a adição do lodo, muito embora esta queda na plasticidade não deixe a mistura imprópria para o processo de extrusão, uma vez que a diminuição não foi significativa.

Os ensaios de queima evidenciaram que a proporção de 5% de resíduo (lodo) poderá ser utilizada na fabricação de cerâmicas vermelhas a temperatura de 700°, pois em temperaturas e incrementos maiores os corpos de prova testados sofreram ruptura e distorções.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.818**: placas cerâmicas para revestimentos - especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.180**: determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6.459**: determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984.

BALL, D. F. Loss-on-ignition as an estimate of organic matter and organic carbon in non-calcareous soils. **European Journal of Soil Science**, London, v. 15, n. 1, p. 84-92, jul. 1964.

BELTRAN, V.; BLASCO, A.; ESCARDINO, A.; NEGRE, F. Formation of black core during the firing of floor and wall tiles. **International Ceramic Review**, Freiburg, v. 37, n. 3, p. 15-21, 1988.

BEN-DOR, E.; BANIN, A. Determination of organic matter content in arid zone soils using a simple "loss-on-ignition" method. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, PA, v. 20, n. 15, p. 1675-1695, 1984.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução 357**: classificação dos corpos de água. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

CAMBARDELLA, C. A.; GAJDA, A. M.; DORAN, J. W.; WIENHOLD, B. J.; KETTLER, T. A. Estimation of particulate and total organic matter by weight loss-on-ignition. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; FOLLET, R. F.; STEWARD, B. A. (Eds). **Assessment methods for soil carbon**, Boca Raton: CRC Press, 2001, p. 349-359.

CARVALHO JÚNIOR, J.; BRAGANÇA, R.; RIBEIRO, E.; BENITES, V. Comparação entre métodos de determinação de carbono orgânico do solo e da frações húmicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro, **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/EMBRAPA, 1997. CD-ROM.

DAVIES, B. E. Loss-on-ignition as an estimate of soil organic matter. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 38, n.1, p. 150-151, jan. 1974.

DEAN JUNIOR, W. E. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods. **Journal of Sedimentary Research**, New York, v. 44, n. 1, p. 242-248, mar. 1974.

DIAS, L. E.; JUCKSCH, I.; RICCI, M. S. F.; ALVAREZ, V. H. Comparação de diferentes métodos de determinação de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 2, p. 157-162, 1991.

EATON, A.D.; CLESCERI, L. S.; RICE, E.W.; GREENBERG, A. E. (Ed.). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21<sup>th</sup> ed. Washington: American Public Health Association; American Water Works Association; Water Pollution Control Federation, 2005.

ESCOSTEGUY, P. A.; GALIASSI, K.; CERETTA, C. A. Determinação de matéria orgânica do solo pela perda de massa por ignição em amostras do Rio Grande Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 247-255, mar.-abr. 2007.

GROMBONI, C. F.; MATOS, W.; DONATI, G. L.; NEVES, E. A.; NOGUEIRA, A. R. A.; NÓBREGA, J. A. Avaliação de alternativas para o tratamento de resíduo contendo Cromo Hexavalente. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 29, 2006, Águas de Lindóia, **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Química, 2006. CD-ROM.

JACKSON, M. L. **Análisis químico de suelos**. 1. ed. Barcelona: Ediciones Omega, 1982.

NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Donald L. Sparks. (Ed.). **Methods of soil analysis: chemical methods - part 3**. 2. ed. Madison: SSA-ASA, 1996, p. 961-1010.

PARANÁ. Companhia Paranaense de Energia Elétrica - COPEL. Disponível em: <[www.copel.com.hpcopel/comercial](http://www.copel.com.hpcopel/comercial)>. Acesso em: 14 de abr. 2009.

SÃO PAULO (estado). Secretaria de Desenvolvimento do Estado de São Paulo. Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. **Manual de procedimentos para a indústria de cerâmica vermelha**. São Paulo: IPT, 1986.

SILVA, A. C.; TORRADO, P. V.; JUNIOR, J. S. A. Métodos de quantificação da matéria orgânica do solo. **Revista da Universidade de Alfenas**, Alfenas, v. 5, p. 21-26, jan.-jun/1999.

SCHOLLENBERGER, C. J. A rapid approximate method for determining soil organic matter. **Soil Science**, Baltimore, v. 24, n. 1, p. 65-68, jul/1927.

SCHOLLENBERGER, C.J. Determination of soil organic matter. **Soil Science**, Baltimore, v. 59, n. 6, p. 53-56, jun/1945.

SCHULTE, E. E.; HOPKINS, B. G. Estimation of soil organic matter by weight loss-on-ignition. In: MAGDOFF, F. R. (Ed.). **Soil organic matter: analysis and interpretation**. Madison: SSSAASA, 1996, p. 21-31, 1996.

VIEIRA, C. M. F.; SOARES, T. M.; MONTEIRO, S. N. Massas cerâmicas para telhas: características e comportamento de queima. **Cerâmica**, São Paulo, v. 49, n. 312, p. 245-250, 2003.

YOUNG, J. L.; LINDBECK, M. R. Carbon determination in soils and organic materials with high-frequency induction furnace. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 28, n. 3, p. 377-381, may/1964.

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, n. 1, p. 29-38, jan/1934.

WENDLANDT, W. W. M. **Thermal analysis**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1986.

---

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório Santa Rita de Mamborê (PR), pelo apoio durante toda a realização do trabalho, e a cerâmica Ki Base de Luiziana (PR) pela doação da argila.

---

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de diversos métodos de quantificação da matéria orgânica do solo (MOS) por combustão seca e úmida. O método de calcinação superestimou os teores da MOS e isto evidenciou a necessidade de se propor equações de correlação com o método Walkley e Black (padrão do Estado do Paraná). O resíduo da determinação da MOS por combustão úmida, foi caracterizado e posteriormente foi feita a sua redução e precipitação onde o lodo gerado foi incorporado em massas argilosas (0, 5, 10 e 15%) nas quais foram avaliadas as propriedades físicas: limites de consistência de Atterberg, retração linear de secagem e queima (700, 800 e 900° C), absorção de água e cor de queima. Os resultados foram satisfatórios nas massas argilosas com 5% de incremento do resíduo à temperatura de 700° C, pois os demais corpos de prova testados sofreram ruptura e distorções.

**Palavras-chave:** Solo. Matéria Orgânica. Resíduos de Laboratório. Cromo. Propriedades Físicas. Indústria Cerâmica.

## ABSTRACT

The objective was to evaluate the efficiency of different methods of quantification of soil organic matter (SOM) for dry and wet combustion. The method of calcinations overestimated the levels of SOM and this highlighted the need to propose equations of correlation with the Walkley e Black method (the default State of Paraná). The residue from the determination of the SOM was characterized by wet combustion and later was made the reduction and precipitation where the sludge generated is incorporated into clay bodies (0, 5, 10 and 15%) were evaluated in which the physical properties: limits of consistency of Atterberg, linear shrinkage of drying and firing (700, 800 and 900th C), water absorption and color of burning. The results were satisfactory in the masses of clay with 5% increase in waste temperature of 700° C, because the other bodies of evidence tested suffered disruption and distortion.

**Key words:** Soil. Organic Matter. Laboratory Waste. Chromium. Physical Properties. Ceramic Industry.

---

## Informações sobre os autores:

[1] Janaina Silva Pereira – <http://lattes.cnpq.br/4246764Z8>

Graduanda do Curso de Tecnologia em Gestão Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *Campus* Campo Mourão.

Contato: [janaysilva@hotmail.com](mailto:janaysilva@hotmail.com)

[2] Maiko Cristian Sedoski – <http://lattes.cnpq.br/8354821176907733>

Tecnólogo em Construção Civil na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campo Mourão, Paraná; Técnico do Laboratório de Ensaios Tecnológicos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campo Mourão, Paraná.

Contato: [mackensi\\_maiko@hotmail.com](mailto:mackensi_maiko@hotmail.com)

[3] Sergio Roberto Oberhauser Quintanilha Braga – <http://lattes.cnpq.br/7199000210386101>

Docente nos cursos de Tecnologia e Engenharia de Produção Civil na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campo Mourão, Paraná; Coordenador do Laboratório de Ensaios Tecnológicos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campo Mourão, Paraná.

Contato: [braga@utfpr.edu.br](mailto:braga@utfpr.edu.br)

[4] Darlene Lopes do Amaral Oliveira – <http://lattes.cnpq.br/6016602588660305>

Docente nos cursos de Tecnologia e Engenharia Ambiental e de Tecnologia e Engenharia de Produção Civil na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campo Mourão, Paraná; Coordenadora do Laboratório de Solos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campo Mourão, Paraná.

Contato: [darlene@onda.com.br](mailto:darlene@onda.com.br)