INFLUÊNCIA DA MATÉRIA ORGÂNICA SOBRE O CALCÁRIO APLICADO AO SOLO

ISABELLA CLERICI DE MARIA

Orientador: Prof. Dr. ZILMAR ZILLER MARCOS

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Abril - 1986

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Zilmar Ziller Marcos, pela orientação e estímulo.

Ao Prof. Dr. Valdomiro Bittencourt

Ao Prof. Dr. Toshiaki Kinjo

À Prof.^a Dr.^a Elke Jurandy Bran Nogueira Cardoso

Ao Dr. Carlos Cerri

A ESALQ, em especial ao Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes.

Ao Centro de Informática na Agricultura

Aos funcionários do Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes e do CENA.

Ao CNPQ pela bolsa de estudos concedida

A todos aqueles que de maneira direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

ÍNDICE

RESUMO	1
SUMMARY	3
1. INTRODUÇÃO	5
2. REVISÃO DE LITERATURA	7
2.1. Solubilização do Calcário	7
2.2. Decomposição da Matéria Orgânica	14
2.2.1. Medida da taxa e extensão da decomposição	15
2.2.2. Fatores que afetam a decomposição	16
2.2.2.1. Temperatura	17
2.2.2.2. Grau de umidade e aeração	17
2.2.2.3. pH	18
2.2.2.4. Relação C/N	19
2.2.3. Influência da Matéria Orgânica sobre o pH do Solo	21
2.2.4. Atividade Microbiana e Solubilização de Minerais	23
2.2.5. Considerações Finais	26
3. MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1. Materiais	27
3.1.1. Solo	27
3.1.2. Calcário	28
3.1.3. Material Orgânico	29
3.2. Métodos	31
3.2.1. Método Experimental	31
3.2.2. Método Operacional	31

3.2.2.1. Determinação da dose de calcário	32
3.2.2.2. Determinação do teor de água para incubação ...	33
3.2.2.3. Montagem dos tratamentos	34
3.2.2.4. Medida da evolução do CO ₂ do solo	38
3.2.2.5. Determinação do pH	38
3.2.2.6. Determinação dos teores de cálcio e magnésio trocaíveis	38
3.2.2.7. Condutividade elétrica	39
4. RESULTADOS	40
4.1. Evolução do CO ₂	41
4.2. pH do Solo	47
4.3. Cálcio e Magnésio Trocaíveis	50
4.4. Tratamento Esterilizado	55
4.5. Perda de Água	59
4.6. Condutividade elétrica	61
4.7. Efeito da Restrição Imposta à Livre Difusão	63
5. DISCUSSÃO	65
5.1. Evolução do CO ₂ nos diferentes tratamentos	66
5.2. Alterações no pH provocadas pela matéria orgânica	69
5.3. Hipótese 1: A presença no solo de matéria orgânica em decompo- sição aumenta a solubilização do calcário	72
5.4. Hipótese 2: A produção de CO ₂ pelos microrganismos aumenta a solubilização do calcário	74
6. CONCLUSÕES	79
7. LITERATURA CITADA	80

LISTA DE QUADROS

1. Análise química do solo Terra Roxa Estruturada, série "Luiz de Queiroz"	28
2. Análise química e granulométrica do calcário	29
3. Teores de carbono (%) e nitrogênio (%) e relação C/N dos materiais orgânicos aplicados	30
4. Teores de água (% de peso seco) que foram utilizados na incubação em cada tratamento	34
5. Valores de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) máxima (M) e mínima (m) diária registrados durante o decorrer do experimento e a temperatura média (T_m) em cada semana	36
6. Teores de CO_2 (mg CO_2/g solo) liberados por semana em cada um dos tratamentos estudados	42
7. Teores acumulados de CO_2 (mg CO_2/g solo) liberados em cada um dos tratamentos estudados	43
8. Teores de carbono (mg C/g solo) inicial, evoluído e final, e a porcentagem de carbono perdido na forma de CO_2 , em relação ao teor inicial, para os tratamentos estudados.....	46
9. Valores de pH obtidos semanalmente para cada tratamento (média de três repetições), e valores de pH no início da incubação (Tempo zero = T_0). Resultados da análise estatística: valores de F, da DMS de Tukey e do coeficiente de variação.....	48

10. Valores de cálcio trocável ($\text{meq Ca}^{2+}/100 \text{ g solo}$) obtidos quinzenalmente em cada tratamento (média de três repetições). Resultados da análise estatística: valores de F, da DMS de Tukey e do coeficiente de variação 51
11. Valores de magnésio trocável ($\text{meq Mg}^{2+}/100 \text{ g solo}$) obtidos quinzenalmente em cada tratamento (média de três repetições). Resultados da análise estatística, valores de F, da DMS de Tukey e do coeficiente de variação..... 52
12. Valores de pH dos tratamentos esterilizado (ESTER) e testemunha (TEST) obtidos semanalmente (média de três repetições). Resultados da análise estatística: valores de F, da DMS de Tukey e do coeficiente de variação..... 57
13. Valores de cálcio e de magnésio trocáveis dos tratamentos esterilizado (ESTER) e testemunha (TEST) obtidos quinzenalmente (média de três repetições). Resultados da análise estatística: valores de F, da DMS de Tukey e do coeficiente de variação..... 58
14. Quantidade de água (g) colocada por frasco pra suprir as perdas por evaporação em cada tratamento (média de três repetições) Resultados da análise estatística: valores de F, da DMS de Tukey e do coeficiente de variação..... 60
15. Condutividade elétrica (mmhos/cm) determinada, para cada tratamento nas três últimas semanas: X, XI e XII (média de três repetições). Resultados da análise estatística: valores de F, da DMS de Tukey e do coeficiente de variação..... 62

16.. Valores de pH (média de 5 repetições) nos tratamentos do experimento fatorial 2^2 calcário x difusão do ar. Valores de F, da DMS de Tukey e do coeficiente de variação	64
---	----

LISTA DE FIGURAS

1. Quantidade de CO_2 (mg CO_2 / g solo) evoluído a cada semana nos tratamentos com 5% (1A) e 10% (1B) de matéria orgânica.....	45
2. Valores de pH obtidos a cada semana nos tratamentos com 5% (2A) e 10% (2B) de matéria orgânica.....	49
3. Teores de cálcio trocável (meq Ca^{2+} /100 g solo) obtidos quinzenalmente nos tratamentos com 5% (3A) e 10% (3B) de matéria orgânica.....	53
4. Teores de magnésio trocável (meq Mg^{2+} /100 g solo) obtidos quinzenalmente nos tratamentos com 5% (4A) e 10% (4B) de matéria orgânica.....	54
5. Valores de pH obtidos nos tratamentos do experimento fatorial 2 ² calcário x difusão	64

INFLUENCIA DA MATÉRIA ORGÂNICA SOBRE O CALCÁRIO APLICADO AO SOLO

Candidato : *ISABELLA CLERICI DE MARIA*

Orientador: *Prof. Dr. Zilmar Ziller Marcos*

RESUMO

Para verificar a possível influência da matéria orgânica em decomposição sobre o efeito corretivo do calcário no solo, através do CO_2 e outros produtos da atividade microbiana, foi montado um experimento em condições de laboratório.

Ao horizonte A de uma Terra Roxa Estruturada, série "Luiz de Queiróz", aplicou-se calcário dolomítico (6,3 ton/ha) e quatro tipos de material orgânico: soja, composto, palha de milho e bagaço de cana. Incluiu-se um tratamento testemunha, sem adição da matéria orgânica, e um tratamento esterilizado com clorofórmio.

O tempo de incubação foi de 12 semanas, e a cada semana foram analisados: evolução do CO_2 , pH e cálcio e magnésio trocáveis.

Os resultados indicaram que a presença da ma-

téria orgânica em decomposição aumentou a solubilização do calcário. A quantidade de CO_2 produzida nos diferentes tratamentos não teve correlação com os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis, indicando que não houve aumento na solubilização do calcário devido ao aumento na produção de CO_2 . Outros produtos da atividade microbiana são responsáveis pelas diferenças entre tratamentos.

THE INFLUENCE OF ORGANIC MATTER ON AGRICULTURAL LIMESTONE

Candidate: *ISABELLA CLERICI DE MARIA*

Adviser : *Prof. Dr. Zilmar Ziller Marcos*

SUMMARY

This study was conducted with the specific purpose of testing the validity of the assumption that decomposing organic matter affects the neutralizing effect of agricultural limestone through the CO₂ and other products resulting from soil microbial activity.

A large earth sample taken from the Ap horizon of a "TERRA ROXA ESTRUTURADA" (Structured Roxa Soil) was uniformly treated with dolomitic limestone (at the rate equivalent to 6.3 ton/ha). Various organic materials identified as soybean (leaves and branches), compost, corn straw and sugar cane bagasse were added to sub-samples. These were applied individually to the sub samples at the rates of 5% and 10%. A no-organic matter and a chlorophorm-sterilized treatment were added for control. All sub-samples were incubated for 12 weeks under standard laboratory conditions and weekly analysed for CO₂ evolved, pH and exchangeable Ca⁺⁺ and Mg⁺⁺.

Analysis and interpretation of the results indicated that decomposing organic matter increased limestone solution whereas the amount of CO_2 released through bio-respiration could not be related to the amount of exchangeable Ca^{++} and Mg^{++} . It was postulated that other products released during organic matter decomposition participate in the resulting pH and exchanglable Ca^{++} and Mg^{++} observed for the various treatments.

INTRODUÇÃO

Inúmeros estudos têm sido realizados a procura de informações sobre a taxa na qual o calcário altera a acidez do solo e libera íons cálcio e magnésio para o solo. A maior parte desses trabalhos visa analisar o efeito da granulometria e da composição química do calcário sobre a sua reação com o solo. Mas outros fatores também podem alterar essa taxa de reação.

Sabe-se que a solubilização do carbonato de cálcio das rochas calcárias é um processo que, na natureza, ocorre com a participação do gás carbônico dissolvido na água. É conhecido, também, o efeito de ácidos orgânicos e inorgânicos, produzidos por microorganismos, na solubilização de rochas pouco solúveis.

Tendo-se em conta que a decomposição da matéria orgânica incorporada ao solo libera gás carbônico (CO_2), ácidos orgânicos e inorgânicos, e diversas outras substâncias

decorrentes da atividade microbiana, considerou-se a hipótese de que o calcário agrícola, colocado no solo para correção da acidez, poderia ter sua taxa de solubilização afetada pela presença de matéria orgânica em decomposição.

Este trabalho de pesquisa procura verificar, experimentalmente, a possível influência da matéria orgânica em decomposição e da atividade biológica sobre a ação do calcário no solo, na correção da acidez e na liberação de íons cálcio e magnésio.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Neste ítem, são apresentados alguns aspectos gerais da solubilização do calcário no solo e da decomposição da matéria orgânica com o intuito de mostrar as observações que levaram à formulação das hipóteses deste trabalho.

2.1. SOLUBILIZAÇÃO DO CALCÁRIO

O calcário aplicado ao solo para a correção de acidez tem, como constituintes principais, carbonatos de cálcio e de magnésio: CaCO_3 e MgCO_3 . Esses carbonatos são muito pouco solúveis em água pura. É a presença de anidrido carbônico (CO_2), dissolvido na água, que promove a decomposição dos carbonatos em íons Ca^{2+} , Mg^{2+} e HCO_3^- .

A reação do CaCO_3 (ou do MgCO_3) desenvolve-se em duas etapas, conforme citado em PIMENTEL (1966). Inicialmente forma-se ácido carbônico (H_2CO_3) de acordo com a seguinte reação:

$$\text{CO}_2 (\text{g}) + \text{H}_2\text{O} (\text{l}) \xrightarrow{\quad\quad\quad} \text{H}_2\text{CO}_3 (\text{aq}) \quad (1)$$

Quando o CaCO_3 entra em contato com a água é estabelecido o seguinte equilíbrio:

A combinação das reações (1) e (2) mostra como o CO_2 promove a solubilização do CaCO_3 passando o íon carbonato (CO_3^{2-}) para a forma de bicarbonato (HCO_3^-):

A reação completa pode ser expressa assim:

Os íons H^+ presentes na solução combinar-se-ão com os HCO_3^- , deixando Ca^{2+} livres para trocar com Al^{3+} e H^+ presos às cargas negativas do solo.

O HCO_3^- , porém, é um ácido fraco, e dissocia-se apenas quando o pH do meio é elevado.

COLEMAN e THOMAS (1967) e MALAVOLTA (1967) apresentam uma reação diferente para o carbonato de cálcio no solo:

$$\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + \text{HCO}_3^- + \text{OH}^- \quad (6)$$

Essa reação, na qual não é considerada a participação do CO_2 , mostra a formação de íons OH^- , responsáveis pela diminuição da acidez do solo. MALAVOLTA (1967) cita ainda, que a presença de CO_2 pode diminuir a hidrólise indicada, diminuindo a alcalinidade.

A reação do calcário como o solo é lenta e perdura por um período de alguns anos, THOMPSON e THOEH (1973) explicam que a taxa de reação é mais rápida durante o primeiro e segundo ano, até alcançar o valor máximo de pH que resultará da calagem. Depois a reação torna-se mais lenta e o pH diminui gradualmente. ANJOS et alii (1981), aplicando calcário a um cambissol, encontraram elevação do pH até atingir um máximo ao redor de 6,5, dez meses após a calagem. RAIJ et alii (1982) encontraram os maiores teores de Ca e Mg doze meses após a calagem.

Evidentemente a velocidade de reação varia com características do solo e do calcário. Um dos fatores que influem nessa reação é a acidez do solo. Se no solo houver grande quantidade de íons H^+ , estes, combinando-se com os íons HCO_3^- , provocarão um deslocamento da reação (4); vista anteriormente, para a direita, aumentando a solubilização do carbonato de cálcio. Segundo COLEMAN e THOMAS (1967), quando a concentração de íons H^+ diminui, a solubilidade do carbonato é reduzida. Esse fato pode ser considerado como um dos responsáveis pela queda

trou menor solubilidade do calcário no nível mais baixo de umidade, e, também, menor solubilização a 10°C que a 30°C.

Características físicas e químicas do calcário, como teor de carbonatos e grau de moagem, assim como também a textura da rocha que lhe deu origem, afetam sua reação com o solo. MORGAN e SALTER (1923), estudando várias características dos calcários como dureza, porosidade, composição cristalina e teor de cálcio e magnésio trocáveis, encontraram que essa última, é a que tem maior efeito na reação do calcário com o solo. O teor de carbonatos presentes determina o poder neutralizante (PN) de um calcário expresso em equivalentes de CaCO_3 .

A proporção entre carbonato de cálcio e carbonato de magnésio também afeta a dissolução de calcário. A dolomita (MgCO_3) é menos solúvel do que a calcita e sua presença no calcário determina uma diminuição de taxa de reação deste com o solo. GALLO e CATANI (1954) fizeram um estudo comparativo da solubilidade de alguns tipos de calcário. Seus re-

sultados mostraram solubilidade mais elevada para calcários com teores altos de cálcio em relação aos calcários dolomíticos. Esses autores verificaram também que a textura da rocha calcária modifica a solubilidade: "*calcários com cristais macroscópicos nítidos são menos solúveis que calcários com micro cristais*".

Dentre os fatores envolvidos na reação do calcário com o solo, a área superficial, que representa a superfície exposta à reação, é um dos mais intensamente estudados. Sua importância está no fato de poder ser modificada mais facilmente que os outros fatores.

Com o decréscimo do tamanho da partícula, a superfície de reação aumenta. Assim, materiais mais finos reagem mais rapidamente com o solo. É com base nesse fato que a legislação brasileira exige que 100% de um calcário passe em peneira nº 10 (2mm) e 50% em peneira nº 50 (0,297mm).

A distribuição do tamanho das partículas que compõem um calcário não é suficiente para dar uma estimativa verdadeira da sua taxa de reação com o solo. Materiais com granulometrias iguais podem ter taxas de reação diferentes. Muitos métodos para avaliar a eficiência de diferentes frações granulométricas e tipos de calcário têm sido propostos, como por exemplo, a reação do calcário com ácido acético, utilizado por GALLO (1954). THOMAS e GROSS (1952) fizeram uma comparação en-

tre alguns desses métodos e indicaram o método proposto por BARNES (1947) como o melhor para avaliar a reação do calcário com o solo.

Grande parte dos autores, porém, tem medido a reação direta do calcário com o solo para avaliar a sua eficiência. Isso é feito medindo-se as variações provocadas no pH e nos teores de cálcio e magnésio trocáveis, como pode ser visto no trabalho de WUNSCHÉ e BOHNEN (1976).

Existem na literatura muitos trabalhos onde os autores aplicaram calcário com diferentes granulometrias ao solo e mediram as variações de pH, cálcio e magnésio trocáveis e produção de culturas, como os trabalhos de MEYER e VOLK (1952), ANDERSON (1969), CAMARGO (1972) e SOUZA e NEPTUNE, (1979). Concordando com o que é teoricamente esperado, esses autores encontraram que granulometrias mais finas reagem mais rapidamente com o solo, provocando maiores valores de pH.

Para o cálculo da quantidade de calcário que deve ser aplicada ao solo, para corrigir a acidez, considera-se a eficiência das frações granulométricas que o compõem através da expressão PRNT (poder relativo de neutralização total). Cada fração granulométrica tem um peso de acordo com sua capacidade de reagir com o solo. Não existe, porém, uma expressão definitiva e válida para qualquer tipo de calcário e de solo. RAIJ (1977) e BELLINGERI (1978) apresentam expressões dife-

rentes para o cálculo do PRNT.

Com a preocupação de obter informações quantitativas sobre a taxa na qual o calcário reage com o solo, as reações entre tamanho da partícula e taxa de dissolução têm sido estudadas, do ponto de vista teórico pela hipótese da "*equal reduction*". Essa hipótese supõe que a taxa de perda de massa é diretamente proporcional à área exposta à reação num determinado instante. A espessura do diâmetro que é reduzida, em cada partícula não varia com o tamanho desta pois a dissolução se dá pela remoção de uma camada de espessura uniforme.

O desenvolvimento matemático dessa hipótese tem encontrado relação com o que ocorre no solo, como pode ser visto em SCHOLENBERG e SALTER (1943) e SWARTZENDRUBER e BARBER (1965).

A velocidade com a qual o calcário promove a neutralização do solo depende, ainda, da difusão dos íons Ca^{+2} , Mg^{+2} e HCO_3^- pelo volume de terra. A difusão do cálcio é lenta e é por isso que, de acordo com BARBER (1967), calcário finalmente moído e uniformemente misturado com o solo, neutraliza a acidez mais rapidamente. Existem mais partículas por unidade de volume de solo, e a distância entre partículas é menor, aumentando a área de ação total.

São necessários, ainda, estudos para conhecer-se, completamente, a solubilização do calcário no solo e os

fatores do solo e do próprio material que têm influência nessa reação. Um fator do solo a ser incluído entre os que podem acelerar a reação do calcário é a presença de matéria orgânica. BELLINGIERI (1983), aplicando diferentes frações granulométricas à três tipos de solo, encontrou que frações mais grosseiras reagiram apenas no solo que continha maior teor de matéria orgânica. Esse fato, segundo o autor, poderia estar relacionado com uma maior quantidade de ácidos oriundos da mineralização da matéria orgânica nesse solo.

A presença de maior quantidade de matéria orgânica em decomposição, como no caso de incorporação de adubo verde ou restos de cultura ao solo, poderia aumentar a solubilização de partículas mais grosseiras de calcário ou aumentar a eficiência dessas frações.

2.2. DECOMPOSIÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA

Quando resíduos orgânicos são aplicados ao solo, inicia-se, imediatamente, a decomposição desse material pelos microrganismos presentes. Esse processo é, em geral, rápido no início, diminuindo gradualmente até atingir um valor mínimo constante.

A rapidez com que o substrato é oxidado depende de sua composição química e das condições do meio, tais como temperatura, oxigênio (O_2), umidade, pH e nutrientes disponíveis.

A exposição que se segue visa mostrar, inicialmente, como é feita a determinação da taxa de decomposição da matéria orgânica e, em seguida, como os diversos fatores do material e do meio afetam essa taxa.

2.2.1. Medida de taxa e extensão da decomposição

Muitos métodos tem sido utilizados para determinar taxas de decomposição da matéria orgânica no solo. Esses métodos baseiam-se no aparecimento de produtos da decomposição, no desaparecimento de algum componente específico ou na diminuição do próprio teor de matéria orgânica.

Durante a degradação do material orgânico, grande parte do carbono é liberada na forma de CO_2 pela respiração dos microrganismos, de maneira que o CO_2 torna-se um dos principais produtos dessa decomposição. ALISSON (1973) cita que o processo de decomposição converte em CO_2 60% ou mais do carbono adicionado ao solo. Assim, segundo consideram diversos autores, como WAKSMAN (1952), RUSSELL e RUSSELL (1964) e WAGNER (1975), o CO_2 pode ser utilizado para medir a taxa e extensão da decomposição e avaliar a atividade microbiana. A liberação de CO_2 do solo é denominada, por alguns autores, de respiração ou mais comumente de evolução do CO_2 do solo.

Deve-se observar, porém, algumas restrições à medida da evolução do CO_2 na avaliação da atividade microbiana.

Ainda que a atividade de microrganismos heterotróficos resulte em liberação de CO_2 no solo, existem outros microrganismos que não produzem CO_2 mas estão em atividade. CORBET (1935) comenta que nem sempre a evolução do CO_2 é proporcional ao número de microrganismos.

Por outro lado, a evolução do CO_2 do solo não é decorrente apenas da decomposição da matéria orgânica e da atividade microbiana. BECKMANN e SCHARPENSEEL (1964) verificaram que o CO_2 pode ser liberado por descarboxilação química. Essa reação começa com pH 6,5 a 7,0 e sua taxa e extensão aumentam com a elevação do pH. Segundo esses autores, o aumento da respiração do solo, que se segue à calagem, pode estar associado a esse processo.

Devido a esses fatores, torna-se difícil comparar medidas isoladas de evolução do CO_2 . Em estudos comparativos, porém, essa medida é utilizada com frequência, e tem apresentado bons resultados em estudos da decomposição de resíduos orgânicos.

2.2.2. Fatores que afetam a decomposição

Temperatura, grau de umidade, aeração, pH e a relação C/N são alguns dos fatores que exercem influência sobre os microrganismos e sobre a decomposição da matéria orgânica no solo.

2.2.2.1. Temperatura

A faixa de temperatura ótima para a decomposição da matéria orgânica está entre 30°C e 40°C . ABRASIMOVA (1979) encontrou um aumento na produção de CO_2 durante a decomposição da matéria orgânica com o aumento da temperatura de 15°C a 35°C . Segundo os vários autores que têm tratado do assunto, o processo de decomposição não se modifica. Assim, a qualquer temperatura, as reações e os produtos são os mesmos, ocorrendo modificação apenas nas taxas de quebra do tecido orgânico e evolução do CO_2 .

2.2.2.2. Grau de umidade e aeração

Alterações marcantes no processo de decomposição são causadas por variações no teor de água, porque esta modifica a movimentação do ar e o suprimento de oxigênio no solo. Quando há pouca aeração, falta oxigênio e a decomposição é lenta; os microrganismos fazem respiração fermentativa, liberando no meio mais álcoois e ácidos orgânicos do que se a respiração fosse aeróbica. Em condições hidromórficas, pela falta de oxigênio, não há, por exemplo, nitrificação, e o nitrogênio permanece na forma de amônia.

A água, entretanto, é primordial para a vida, e em solos secos há pouca atividade biológica. MILLER e JOHNSON

(1964) incubaram solos com diferentes teores de água por 14 dias e observaram um aumento na produção de CO_2 a partir de um valor mínimo, quando o solo estava seco ao ar, a um valor máximo com a água numa tensão de 0,15 bars. Mas a produção de CO_2 diminuiu quando o grau de umidade foi maior que esse valor, indicando deficiência na aeração. O efeito do teor de água sobre a mineralização da matéria orgânica também pode ser visto em ALMEIDA (1983), que incubou solos com vinhaça por três meses a 40, 60 e 80% da capacidade de retenção de água e encontrou mineralização mais rápida no solo mais seco. Em cada solo existe um grau ideal de umidade que permite, ao mesmo tempo, um suprimento adequado de água e de oxigênio, para uma rápida e completa decomposição da matéria orgânica.

2.2.2.3. pH

Os microrganismos possuem uma faixa ideal de pH para seu desenvolvimento. Existem microrganismos acidófilos que vivem em pH até 2,0, e microrganismos basófilos que vivem em pH maior do que 8,0. A maior parte dos microrganismos, porém, se desenvolve melhor em pH entre 4,0 e 7,0. De maneira geral, no solo, predominam fungos em pH ácido e bactérias em pH ligeiramente ácido ou ligeiramente alcalino. Processos realizados por um determinado grupo de microrganismos também têm uma faixa ótima de pH na qual a velocidade do processo é maior.

Valores de pH ligeiramente ácidos ou neutros parecem favorecer a decomposição. É o que mostra o trabalho de DYAL et alii (1939). Esses autores incubaram resíduos de gramíneas em solos com diferentes valores de pH e encontraram decomposição mais rápida em solos com pH entre 5,9 e 7,0 do que em solos com pH entre 3,7 e 4,5. Esses resultados são semelhantes aos citados por MAYAUDON (1967).

A calagem de solos ácidos é um fator de aumento na mineralização do carbono orgânico do solo, como apontaram McLean et alii (1967). A atividade microbiana é estimulada pelo aumento de pH e fornecimento dos íons cálcio e magnésio.

O pH do solo interfere na decomposição da matéria orgânica não só pelo efeito direto sobre os microrganismos, mas também por afetar a disponibilidade de nutrientes e a solubilidade de íons tóxicos.

2.2.2.4. Relação C/N

É de conhecimento geral que a relação entre o conteúdo de carbono e o conteúdo de nitrogênio, ou seja a relação C/N do material, controla a taxa de decomposição. Isto porque os microrganismos precisam de uma proporção definida de carbono e nitrogênio para multiplicação e crescimento. Assim, se o material orgânico contiver muito carbono, em relação ao nitrogênio, a degradação será lenta pois não haverá ni-

trogênio suficiente para o crescimento microbiano. Por outro lado, se a relação C/N for baixa haverá sobra de nitrogênio, que é liberado no solo na forma de amônio.

A medida que se processa a decomposição, a relação C/N do material diminui porque o carbono é perdido como CO_2 , enquanto que o nitrogênio é conservado. ALISSON (1973) cita que as plantas em geral tem 40% a 45% de carbono, e por esta razão plantas com mais de 1,5% a 1,7% de nitrogênio liberam grande parte desse elemento na forma de amônio; mas, se o teor de nitrogênio for menor que 1,5% muito pouco amônio é liberado.

Em um estudo feito por ALBUQUERQUE (1976) e AQUINO (1976), sobre a decomposição da matéria orgânica em solos argilosos e arenosos, mostrou-se que a adição de nitrogênio à palha de milho diminuiu o teor de matéria orgânica ao final de 30 dias, indicando maior decomposição. Como palha de milho tem alta relação C/N, a adição de nitrogênio acelerou o processo de degradação.

A relação C/N não é, porém, o único fator do material orgânico determinante da taxa de decomposição. O teor de constituintes como celulose, hemicelulose e lignina, também é importante. DYAL et alii (1939) verificaram que plantas com altos teores desses constituintes tiveram decomposição mais lenta do que plantas contendo menores teores. Segundo FASSBENDER

(1984) a relação lignina/celulose também controla a mineralização. A lignina, devido a sua constituição química, é um dos compostos de mais difícil decomposição numa planta.

É importante, para o desenvolvimento dos microrganismos, a presença de nutrientes inorgânicos, tanto no solo como no material em decomposição. WAKSMAN e TENNEY (1928) mostraram que, com a maturação da planta, ocorre um desequilíbrio entre os carboidratos e os minerais requeridos pelos microrganismos, diminuindo a velocidade de decomposição da matéria orgânica.

Em suma, pode-se dizer que, entre os fatores que afetam a decomposição, o suprimento de oxigênio, o pH e a relação C/N são os que influem mais intensamente na seleção dos processos predominantes.

A matéria orgânica e os produtos de decomposição provocam alterações físicas e químicas no solo e, entre essas destaca-se, neste trabalho, a influência sobre o pH e sobre a solubilização de minerais.

2.3. INFLUÊNCIA DA MATÉRIA ORGÂNICA SOBRE O pH DO SOLO

Quando uma certa quantidade de matéria orgânica é aplicada ao solo, ocorrem alterações em alguns atributos do solo, dentre eles o pH. Segundo WUTKE (1972), a matéria orgânica aplicada ao solo provoca um abaixamento do pH porque

há um aumento da CTC do complexo coloidal, e como, normalmente, a matéria orgânica não tem íons básicos suficientes para contrabalançar esse aumento de CTC, o grau de saturação de bases diminui e o pH assume valores mais baixos.

Alguns autores, porém, como EIRA e CARVALHO (1970), FERRAZ (1978) e NEVES et alii (1983), têm relatado que determinados tipos de materiais aplicados ao solo provocam elevação do pH: ocorre que o efeito da matéria orgânica sobre o pH pode ser decorrente da atividade microbiana durante a decomposição desse material.

Os produtos do metabolismo microbiano, de acordo com DOMMERGUES e MANGENOT (1970) podem ser alcalinizantes, (como a amônia) ou acidificantes (como ácidos minerais ou orgânicos). A concentração de ácidos orgânicos no solo é, em geral, baixa e bastante variável. Entretanto, altas concentrações podem ser obtidas em zonas localizadas, onde a atividade biológica é intensa, como por exemplo perto de resíduos em decomposição, provocando abaixamento do pH. A acidificação pode dar-se, também, pela produção de CO_2 que forma ácido carbônico na solução.

O aumento de pH, que ocorre devido à adição de matéria orgânica, tem sido atribuído à liberação de amônio no solo, já que materiais como glicose, que não contém nitrogênio, provocam um abaixamento do pH, como foi encontrado por EIRA e CARVALHO (1970).

Outra explicação para o aumento do pH é dada por ROSATO (1978). Esse autor incubou solos com torta de algodão e encontrou aumento de pH, mas nenhuma alteração nos teores de Al^{3+} trocável e H total. Sugeriu, então, que radicais orgânicos com cargas negativas formados durante a decomposição, reteriam os íons H^+ da solução, elevando, consequentemente, o pH. COSTA (1983) encontrou, porém, uma diminuição do Al^{3+} trocável pela aplicação de matéria orgânica ao solo. Esse fato pode ter ocorrido, segundo o autor, pela complexação desses íons por compostos orgânicos.

Observa-se do exposto que os resultados apresentados por diversos autores são conflitantes. Não se pode perceber, a partir dos dados fornecidos, uma explicação para essas discrepâncias. Mas pode-se dizer que o aumento do pH, causado pela matéria orgânica, estaria, pelo menos em parte, relacionado com retenção ou complexação de íons que causam a acidez.

2.4. ATIVIDADE MICROBIANA E SOLUBILIZAÇÃO DE MINERAIS

Existem diversos trabalhos relatando que a dissolução no solo de formas pouco solúveis de fosfato é estimulada pela atividade microbiana.

O aumento da solubilidade de fosfatos pode ser observado pela absorção desse elemento pelas plantas. GERRETSEN

(1948) encontrou que a quantidade de fósforo assimilada pelas plantas foi maior em condições não estéreis que em condições de esterilidade, mostrando que os microrganismos tornam disponíveis quantidades de fósforo que eram inacessíveis às plantas.

A adição de matéria orgânica ao solo aumenta a dissolução de fosfatos dicálcicos, como foi encontrado por SREERAMUCU e PRATT (1970). A ação de ácidos, produzidos pelos microrganismos durante a decomposição, torna os fosfatos mais solúveis. SWABY e SHERBER (1958) e STEVENSON (1967) já haviam citado, anteriormente, que os ácidos lático, cítrico, glicolítico, succínico, fórmico e acético, produzidos por microrganismos, solubilizam fosfatos. Ácidos que foram complexos estáveis com os íons cálcio, ferro, magnésio e alumínio, como o 2 - ceto-glucônico, também são importantes na solubilização, como demonstrado por DUFF et alii (1963).

Ácidos inorgânicos, produzidos na decomposição da matéria orgânica, também podem agir sobre os fosfatos. HAYMAN (1975) cita que o dióxido de carbono, ao provocar diminuição de pH ao redor do fosfato, aumentaria sua solubilização. A produção biológica de ácidos inorgânicos, como o sulfúrico e o nítrico, pode afetar a solubilização não só do fósforo como também de cálcio, magnésio e alumínio. A atividade nitrificante nos solos é apontada por ALEXANDER (1961)

como importante na solubilização de minerais. O efeito da aplicação de matéria orgânica ao solo, sobre a liberação de formas não disponíveis de fósforo, pode ser vista em CARVALHO et alii (1977) e ASSUMPÇÃO (1981).

Da mesma forma como atuam sobre a solubilização de fosfatos, os microrganismos podem agir sobre carbonatos de cálcio e magnésio. A ação microbiana sobre carbonatos foi observada por LOUW e WEBLEY (1979). Esses autores verificaram que microrganismos isolados da rizosfera, produzem halos em torno de suas colônias em placas de incubação contendo carbonato de cálcio, indicando solubilização. O exame da natureza dos ácidos orgânicos produzidos mostrou que os microrganismos liberaram principalmente ácido lático.

Os microrganismos podem atuar sobre os carbonatos pela liberação de CO_2 e formação de ácido carbônico. BEAR (1963) cita, como exemplo clássico, o efeito corrosivo do anidrido carbônico, expelido por raízes de plantas, sobre uma placa de mármore.

Durante intensa atividade biológica é observado um teor mais alto de CO_2 no ar do solo. RUSSELL e RUSSELL (1964) mencionam que o uso de adubo verde, especialmente se as plantas são muito suculentas, aumentará a quantidade de CO_2 do ar do solo, podendo até mesmo inibir a germinação. O aumento da concentração de CO_2 do ar, segundo KHEGAY et alii

(1981), leva a um aumento na concentração de íons bicarbonato na solução do solo, aumentando, assim, a solubilidade de carbonatos pouco solúveis.

Mudanças na concentração hidrogeniônica do meio causadas por microrganismos, contribuem tanto para a formação quanto para a solubilização de carbonatos de cálcio e magnésio. STANIER et alii (1969) citam que processos que aumentam a alcalinidade do meio, como a redução do sulfato e a denitrificação que ocorrem nos oceanos, favorecem a deposição de CaCO_3 , enquanto que a produção de ácidos orgânicos no solo favorece a solubilização de depósitos calcários.

2.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diate das observações aqui registradas pode-se dizer que há apoio experimental e científico para as hipóteses formuladas para este trabalho. Os trabalhos relatados mostram que é de se supor que a matéria orgânica tenha influência na solubilização do calcário.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. MATERIAIS

Para verificar o efeito da matéria orgânica em decomposição sobre a solubilização do calcário, aplicou-se a um solo com calcário quatro resíduos orgânicos de uso comum na agricultura.

3.1.1. Solo

O solo usado no experimento foi o horizonte Ap de uma Terra Roxa Estruturada, textura barro argilosa, classificada como série "Luiz de Queiroz" por RANZANI et alii (1966) de ocorrência nas proximidades do Posto Meteorológico da ESALQ.

Sua análise química foi realizada de acordo com os métodos de análise de rotina, com excessão do teor de carbono orgânico, e é apresentada no QUADRO 1. O carbono orgânico foi determinado por via seca em um aparelho Wosthoff Carmhograph 12A.

QUADRO 1: Análise química do solo Terra Roxa Estruturada série "Luiz de Queiroz".

pH	%C	Teor de íons trocáveis (meq/100 g solo)					
		PO_4^{3-}	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	H^+
5,3	2,43	0,13	0,49	3,08	1,16	0,26	4,24

Para a incubação uma amostra do solo foi seca ao ar e passada em peneira 2mm.

3.1.2. Calcário

As análises química e granulométrica do calcário, feitas também segundo os métodos de rotina, encontram-se no QUADRO 2. Trata-se de um calcário agrícola da região de Piracicaba e pode ser classificado como dolomito-calcítico pelos seus teores de cálcio e magnésio, de acordo com ABRAHÃO (1983).

QUADRO 2: Análise química e granulométrica do calcário.

PRNT	<u>Granulometria (%)</u>		<u>Cálcio</u>		<u>Magnésio</u>	
	Peneira	Peneira				
	10	50	%CaO	%CaCO ₃	%MgO	%MgCO ₃
58,15	97,80	50,72	23,8	42,4	16,5	34,5

3.1.3. Material orgânico

Para a escolha do tipo de matéria orgânica a ser aplicada ao solo, foram considerados como critérios os seguintes atributos: relação C/N, composição química e facilidade de decomposição. Com base nesses critérios, foram escolhidos materiais que tivessem comportamento diferente durante sua degradação no solo. Os materiais utilizados foram os seguintes: soja, composto,* palha de milho e bagaço de cana.

O material soja (S) corresponde à parte aérea da planta cortada a cinco centímetros do solo. Esse material foi colhido à época do florescimento e sua incorporação ao solo corresponde à utilização de um adubo verde. O composto (C) foi obtido de cama de bezerreiro que, no caso, era um material

contendo esterco e feno misturados e parcialmente decompostos. A palha de milho (M) compõe-se das folhas secas no campo após a colheita. E, por fim, o bagaço de cana (B) é constituído de colmos da cana depois de passados em moinho para retirar o caldo.

Os teores de carbono e nitrogênio desses materiais e suas respectivas relações C/N são apresentadas no QUADRO 3. O carbono foi determinado por via seca (ver ítem 3.1.1) e o nitrogênio pelo método de Kjeldahl, utilizando microdestilador.

QUADRO 3: Teores de Carbono (%) e Nitrogênio (%) e C/N dos materiais orgânicos aplicados.

MATERIAL	C%	N%	C/N
Soja	42,6	1,97	21,6
Composto	33,7	1,62	22,0
Palha de Milho	39,4	0,75	52,5
Bagaço de Cana	42,6	1,56	27,3

Os quatro materiais foram secados em estufa a 40°C, triturados em moinho (Wiley Mill Standard 3) e individualmente peneirados em tamizes com crivo de 1mm de abertura. Utilizou-se para a montagem dos tratamentos o material menor do que 1mm.

3.2. MÉTODOS

Em se tratando de uma dissertação científica, optou-se por apresentar separadamente, para maior clareza, os métodos empregados para a condução deste trabalho.

3.2.1. Método experimental

As hipóteses de trabalho foram formuladas a partir das observações feitas principalmente através do exame de parte da literatura disponível sobre o assunto. As hipóteses foram consideradas como base para a eleição do delineamento experimental e do tratamento estatístico para análise e interpretação dos resultados.

O delineamento experimental para testar as relações causa-efeito expressas pelas hipóteses formuladas baseou-se nos métodos gerais segundo Mill, citado por RESCHER (1964), que são, respectivamente, o Método da Concordância e o Método da Variação Concomitante.

3.2.3. Método operacional

O experimento constou da aplicação de dez tratamentos assim discriminados: soja, composto, palha de milho, e bagaço de cana (ver 3.1.3.) nas dosagens de 5% e 10%, res-

pectivamente, com um tratamento testemunha, correspondendo a uma dose 0% de matéria orgânica, e um tratamento esterilizado. Cada tratamento foi repetido três vezes. A duração da incubação foi de 12 semanas, sendo que a cada semana eram retiradas amostras para análise. Os detalhes referentes à incubação e à amostragem serão apresentadas adiante.

3.2.2.1. Determinação da dose de calcário

Para determinar a dose de calcário a ser aplicada ao solo, utilizou-se o método que considera a correlação entre pH e saturação de bases do solo (V%). Escolheu-se a elevação de V% para 90% de forma a atingir um valor de pH maior do que 6,5. Para os cálculos utilizou-se a equação recomendada por QUAGGIO (1983).

$$NC = \frac{T (V_2 - V_1)}{100} \cdot f$$

Onde:

NC = Quantidade de calcário a ser aplicada
(meq/100 cm³)

T = Capacidade de troca de cátions (meq/100 cm³)

V₁ = Saturação de bases atual (%)

V₂ = Saturação de bases desejada (%)

f = Fator de calagem = $\frac{100}{PRNT}$

A partir dos dados apresentados no QUADRO 1, calculou-se os valores de T ($9,32 \text{ meq}/100 \text{ cm}^3$) e V_1 (50,75%). O valor calculado para NC foi de $6,29 \text{ meq CaCO}_3/100 \text{ cm}^3$ de solo. Sabendo-se que a densidade da terra dentro dos frascos de incubação ficaria em torno de $1,1 \text{ g}/\text{cm}^3$ determinou-se a quantidade de calcário, em peso, a ser adicionada à terra.

Embora hajam restrições a essa maneira de se analisar a composição volumétrica do solo utilizando amostras deformadas, a metodologia foi seguida porque considerou-se que a investigação proposta neste trabalho deveria ser conduzida seguindo os procedimentos em uso.

3.2.2.2. Determinação do teor de água para incubação

O solo foi incubado com um teor de água correspondente à capacidade de campo, para permitir um fornecimento adequado de ar e água. Para determinação desse teor de água, utilizou-se o método denominado TSFM (torrão separado pela frente de molhamento).

Esse método considera que o teor de água do torrão úmido que se separa da terra pela frente de molhamento pode ser explicado pelos mesmos princípios que explicam o teor de água de um solo em capacidade de campo.

A metodologia relatada em COSTA (1983) foi ligeiramente modificada. Nesse trabalho adicionou-se 5 ml de água à terra e esperou-se 120 segundos para separar o torrão úmido.

Os teores de umidade determinados para cada tratamento estão no QUADRO 4.

QUADRO 4: Teores de água (% de peso seco) que foram utilizados na incubação em cada tratamento.

TRAT	<u>TRAT S</u>		<u>TRAT C</u>		<u>TRAT M</u>		<u>TRAT B</u>	
TEST	5%	10%	5%	10%	5%	10%	5%	10%
24,8	32,3	37,6	32,1	36,5	32,7	39,1	34,6	41,8

3.2.2.3. Montagem dos tratamentos

A terra misturada ao calcário e à matéria orgânica foi incubada em frascos de vidro com capacidade de 100 ml. Cada frasco recebeu 40g de terra mais a quantidade correspondente de calcário e matéria orgânica. Cada frasco representou uma repetição de um tratamento e de um período de tempo, perfazendo um total de 360 frascos, ou seja, 10 tratamentos x 3 repetições x 12 semanas de incubação.

Depois de colocada a água no teor calculado, os frascos foram cobertos com papel de alumínio e incubados em condições de laboratório. O papel de alumínio teve a função de diminuir as perdas de água, deixando, porém, que houvesse restrita troca de ar por difusão. O teor de água em cada um dos frascos foi mantido constante. A quantidade de água a ser colocada foi controlada por diferença de peso.

A terra foi colocada nos frascos com auxílio de um funil para conseguir uma distribuição uniforme das partículas.

O tratamento esterilizado foi montado da mesma maneira que os outros tratamentos. A esterilização foi feita com clorofórmio (CHCl_3) conforme o método descrito por JENKINSON (1966). Os frascos contendo solo, calcário e a quantidade de água determinada anteriormente foram colocados em dessecadores, juntamente com um becker contendo cerca de 30 ml de CHCl_3 . Os dessecadores foram ligados a uma bomba de vácuo até o clorofórmio começar a ferver. Todas as semanas um dos dessecadores era aberto para a retirada de três frascos e em seguida era fechado e ligado ao vácuo novamente. Não foi feita reposição de água porque as amostras retiradas mostraram que a perda foi desprezível.

De cada frasco, retirava-se uma amostra de solo, de aproximadamente 10g para medir a evolução de CO_2 . O res-

tante era seco em estufa a 40°C por 48 horas e usado nas análises realizadas.

Foi determinada a evolução de CO₂ para avaliação da decomposição da matéria orgânica e da quantidade de CO₂ no meio, e mediu-se pH e cálcio e magnésio trocáveis para avaliar a solubilização do calcário.

As temperaturas máxima e mínima diárias no laboratório durante as 12 semanas estão registradas no QUADRO 5.

QUADRO 5: Valores de temperatura (°C) máxima (M) e mínima (m) diária e média semanal registrados durante o experimento.

SEMANA	TEMPERATURA	DIA DA SEMANA							MÉDIA SEMANAL
		SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	DOM	
I	M	29	29	29	29	30	30	30	29,2
	m	29	29	29	28	29	29	30	
II	M	31	31	30	30	31	31	31	29,9
	m	29	29	29	29	29	29	29	
III	M	31	31	30	30	30	30	29	29,4
	m	29	29	29	29	28	28	28	
IV	M	29	30	28	29	28	29	30	28,2
	m	28	28	28	28	27	27	26	
V	M	30	27	27	27	26	27	28	26,3
	m	26	25	26	25	24	25	25	
VI	M	26	26	27	27	28	28	28	26,4
	m	25	25	25	26	26	26	27	
VII	M	28	28	26	26	25	25	25	25,4
	m	27	26	25	24	23	23	24	
VIII	M	26	27	26	26	25	25	24	24,6
	m	21	25	25	24	24	23	23	
IX	M	24	25	25	25	26	26	26	24,6
	m	22	22	24	24	25	25	25	
X	M	26	26	26	26	27	27	27	25,7
	m	24	26	25	25	25	25	25	
XI	M	26	26	26	25	25	25	24	24,7
	m	24	24	25	25	24	24	23	
XII	M	24	23	24	22	20	20	22	21,5
	m	22	22	22	20	20	20	20	

Em intervalos de sete dias foram retirados três frascos de cada tratamento, correspondendo às três repetições de cada semana, para se proceder as determinações analíticas.

Para facilidade de compreensão é apresentado abaixo um esquema da sequência de operações realizadas para obtenção dos dados de cada uma das parcelas.

3.2.2.4. Medida da Evolução do CO₂ do solo

A medida da quantidade de CO₂ desprendida do solo foi feita pelo método de absorção por NaOH 1N e posterior titulação com HCl 1N descrito por PARKINSON et alii (1972). Esse método baseia-se na ocorrência da seguinte reação:

Amostras de solo retiradas dos frascos foram transferidas para cadinhos de porcelana que foram colocados em frascos de vidro com capacidade de um litro, juntamente com um recipiente de vidro contendo 5 ml de NaOH 1N. Esses frascos foram fechados com tampa de plástico. Para vedação satisfatória utilizou-se massa para calafetar em torno das tampas. Um frasco adicional, sem terra, foi preparado da mesma forma para determinar o CO₂ presente no meio.

3.2.2.5. Determinação do pH

O pH do solo foi determinado na suspensão de uma mistura de solo: água na proporção de 1: 2,5.

3.2.2.6. Determinação do teor de cálcio e magnésio trocáveis

O extrato de solo para determinar os íons de Ca²⁺ e Mg²⁺ trocáveis foi obtido de 5g de terra adicionados

a 50 ml de solução KCl 1N, agitados por 15 minutos e deixados em repouso por uma noite. A determinação dos íons Ca^{2+} e Mg^{2+} no extrato foi feita por espectrofotometria de absorção atômica.

3.2.2.7. Condutividade elétrica

A condutividade elétrica foi determinada em extrato filtrado de uma mistura solo: água na proporção 1:25. As medidas foram feitas com condutivímetro.

4. RESULTADOS

A evolução do CO_2 , o pH e a perda de água por evaporação foram medidos todas as semanas, e os teores de cálcio e de magnésio trocáveis foram medidos quinzenalmente. Determinou-se também a condutividade elétrica de cada tratamento nas três últimas semanas.

A média das três repetições de cada tratamento em cada período de tempo, serão apresentadas em quadros que mostram, também, os parâmetros estatísticos da análise de variância e os valores da diferença mínima significativa (DMS) utilizados para comparar as médias, de acordo com o teste de Tukey. Os resultados aparecerão, também, na forma de gráficos para facilitar a observação das variações que ocorreram durante a incubação. Os tratamentos serão identificados pela primeira letra do nome do material (S = Soja, C = Composto, M = Palha de Milho, B = Bagaço de Cana) precedida pelo número que indica a dosagem aplicada (5% ou 10%).

Serão incluídos, no item 4.6., dados de pH obtidos em uma incubação de quatro semanas, realizada após o término do experimento, para verificar algum possível efeito no pH da colocação do papel alumínio sobre os frascos.

Inicialmente serão apresentados os resultados relativos a evolução do CO_2 , ao pH e ao cálcio e ao magnésio trocáveis por serem os dados que mais se relacionam com a decomposição da matéria orgânica e a solubilização do calcário.

4.1. EVOLUÇÃO DO CO_2

Os valores da quantidade de CO_2 liberado, pelos tratamentos são mostrados de duas maneiras: os valores obtidos a cada intervalo de sete dias, no QUADRO 6, e os valores acumulados, no QUADRO 7. Para esses dados não foi feita a análise de variância porque só houve uma determinação a cada semana para os tratamentos estudados.

Na primeira semana, a respiração do solo foi alta, para em seguida sofrer uma queda acentuada em todos os tratamentos.

QUADRO 6: Teores de CO_2 ($\text{mg CO}_2/\text{g solo}$) liberados por semana em cada um dos tratamentos estudados.

TRATAMENTOS	S E M A N A S											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
TEST	12,60	0,54	0,06	0,66	0,29	0,04	0,20	0,07	0,09	0,17	0,04	0,09
5S	32,54	10,26	5,69	2,20	1,57	0,65	0,89	0,62	0,68	0,56	0,35	0,35
5C	17,85	3,84	4,11	2,39	1,08	0,89	0,97	0,35	0,42	0,50	0,42	0,35
5M	31,31	8,81	6,03	4,71	2,40	1,38	1,19	1,46	1,50	0,87	0,61	0,76
5B	27,31	5,52	4,11	3,33	2,64	1,95	1,68	1,48	1,13	1,42	1,28	0,94
10S	46,34	15,27	6,12	5,36	4,34	3,20	1,82	1,50	1,40	1,24	0,65	0,63
10C	22,25	7,43	6,42	4,08	2,47	1,06	0,65	0,62	0,72	0,97	0,70	0,56
10M	32,07	14,30	9,58	8,53	5,76	3,88	4,10	2,98	3,04	3,10	1,99	1,82
10B	41,48	14,12	5,99	4,20	3,36	2,23	2,29	1,75	2,36	4,72	5,51	5,63

QUADRO 7: Teores acumulados de CO₂ (mg CO₂/ g solo) liberado em cada um dos tratamentos estudados.

TRATA- MENTOS	S E M A N A S											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
TEST	12,60	13,14	13,20	13,86	14,15	14,19	14,19	14,26	14,35	14,52	14,56	14,65
5S	32,64	42,67	48,36	50,56	52,13	52,78	53,67	54,29	54,97	55,53	55,88	56,23
5C	17,85	21,69	25,80	28,19	29,27	30,16	31,13	31,48	31,90	32,40	32,82	33,17
5M	31,31	40,12	46,15	50,86	53,26	54,64	55,83	57,29	58,79	59,66	60,27	61,03
5B	27,31	32,88	36,99	40,32	42,96	44,91	46,59	48,07	49,20	50,62	51,90	52,84
10S	46,74	62,01	68,13	73,49	77,83	78,89	80,71	82,81	83,61	84,85	85,50	86,13
10C	22,25	29,68	36,10	40,18	42,65	45,85	46,50	47,12	47,84	48,81	49,51	50,07
10M	32,07	46,37	55,95	64,48	70,24	74,12	78,22	81,20	84,24	87,34	89,33	91,15
10B	41,48	55,60	61,59	65,79	69,15	71,38	73,67	75,42	77,78	82,50	88,01	93,64

Nas parcelas que receberam a dose de 5% de matéria orgânica ocorreu uma progressiva e lenta diminuição na diferença entre os tratamentos, como podemos ver na FIGURA 1. Nas parcelas com a dose de 10% de matéria orgânica, a evolução do CO_2 apresentou diferenças relativamente maiores entre os tratamentos do que no caso da dose de 5%, conforme observa-se na FIGURA 2. Durante o decorrer da incubação, os tratamentos com a maior dose de matéria orgânica apresentaram, respectivamente, maior taxa de respiração do que os com 5% de matéria orgânica, em todo o período de incubação.

A partir da quantidade total de CO_2 evoluído (QUADRO 7), e da quantidade de carbono no início da incubação, em cada tratamento, estimou-se o teor de carbono remanescente e a porcentagem de perda de carbono. Esses resultados estão no QUADRO 8. Nota-se que a porcentagem de carbono perdido pela respiração é mais baixa no tratamento testemunha do que nos outros tratamentos. E nesses é mais baixa para a dose de 5% do que para a dose 10% de matéria orgânica. Apenas no caso do tratamento composto houve semelhança na porcentagem de carbono perdido em ambas as doses.

FIGURA 1: Quantidade de CO_2 (mg CO_2 / g solo) evoluído a cada semana nos tratamentos com 5% (A) e 10% (B) de matéria orgânica

QUADRO 8: Teores de carbono (mg C/g solo) inicial, evoluído e final, e a porcentagem de carbono perdido na forma de CO₂ em relação ao teor inicial, para os tratamentos estudados

TRATAMENTO	TEORES DE C			PERDA DE C (%)
	INICIAL	EVOLUIDO	FINAL	
TEST	24,3	4,0	20,3	16,5
5S	45,6	15,3	30,3	33,5
5C	42,1	9,0	33,1	21,4
5M	44,0	16,6	27,4	37,7
5B	45,6	14,4	31,2	31,6
10S	66,9	23,5	43,4	35,1
10C	60,0	12,7	47,3	21,2
10M	63,7	24,9	38,8	39,1
10B	66,9	25,5	41,4	38,1

4.2. pH DO SOLO

O pH do solo foi medido semanalmente e os resultados obtidos encontram-se no QUADRO 9. Nesse quadro estão também os valores de pH no início da incubação (T_0 = tempo zero) medidos um dia após a montagem do experimento, sem repetição. Nota-se que a presença da matéria orgânica em decomposição alterou o pH do solo, pois a análise estatística indicou que houve diferença significativa entre os tratamentos.

Em relação ao tratamento testemunha, sem matéria orgânica, os outros tratamentos apresentaram um pH mais elevado. As FIGURAS 2A e 2B ilustram esse fato. Observa-se, também, uma elevação acentuada do pH, nas duas primeiras semanas, nos tratamentos que receberam soja (5S e 10S). Durante a incubação o pH, nos diferentes tratamentos, sofreu alterações, mas houve uma tendência à estabilização nas últimas semanas.

Ao final das doze semanas de incubação, comparando-se os tratamentos com a dose de 5%, verifica-se que o bagaço de cana apresentou o maior valor de pH, seguido dos materiais milho, soja e composto. Nos tratamentos com dose 10% porém, houve um comportamento diferente, com o bagaço de cana apresentando valores de pH mais baixos que os outros materiais.

QUADRO 9: Valores de pH obtidos semanalmente para cada tratamento (média de três repetições) e valores de pH no início da incubação (tempo zero = To). Resultados da análise estatística: valores de F, da DMS de Tukey e do coeficiente de variação.

TRATA- MENTO	S E M A N A S													
	To	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
TEST	6,06	6,22	5,89	5,91	5,72	6,00	6,01	6,06	5,83	5,77	6,02	5,97	5,86	
5S	6,24	6,82	6,42	6,30	6,17	6,35	6,32	6,33	6,35	6,37	6,45	6,41	6,37	
5C	6,40	6,05	6,25	6,18	6,07	6,16	6,30	6,37	6,40	6,28	6,23	6,17	6,17	
5M	5,89	6,21	6,31	6,36	6,32	6,51	6,64	6,64	6,65	6,51	6,40	6,33	6,45	
5B	4,98	6,02	6,11	6,19	6,32	6,40	6,57	6,53	6,52	6,57	6,54	6,50	6,62	
10S	6,24	7,26	7,06	6,52	6,51	6,43	6,53	6,38	6,49	6,47	6,51	6,50	6,52	
10C	6,42	6,25	6,38	6,21	6,06	6,20	6,27	6,27	6,21	6,18	6,12	6,23	6,20	
10M	6,17	6,39	6,51	6,53	6,22	6,58	6,72	6,75	6,71	6,72	6,72	6,82	6,76	
10B	5,33	5,49	6,29	6,08	5,92	6,25	6,38	6,41	6,37	6,14	6,11	6,07	6,14	
F TRAT	=	534,92	DMS 5% TRAT = 0,198											
F TEMPO	=	21,26	DMS 5% TEMPO = 0,238											
													% CV = 1,39

FIGURA 2: Valores de pH obtidos a cada semana nos tratamentos com 5% (A) e 10% (B) de matéria orgânica.

4.3. CÁLCIO E MAGNÉSIO TROCÁVEIS

Os teores de cálcio e de magnésio trocáveis obtidos estão em dois quadros: o QUADRO 10 para os valores de Ca^{2+} trocável e o QUADRO 11 para os valores de Mg^{2+} trocável.

Os resultados mostram que os teores de cálcio e de magnésio aumentaram, principalmente durante os primeiros quinze dias. A análise estatística mostrou, porém, que o teor de magnésio continuou tendo aumentos significativos até a quarta semana.

De maneira geral, os tratamentos com a dose 10% de matéria orgânica apresentaram valores mais elevados de Ca^{2+} e de Mg^{2+} do que os que receberam a dose 5%. Para o cálcio, porém, essas diferenças nem sempre foram significativas.

Os maiores valores, tanto de cálcio quanto de magnésio, foram apresentados pelos tratamentos que receberam composto. Os tratamentos com soja e milho tiveram valores mais baixos desses íons que os tratamentos com composto, mas na última semana esses três tratamentos não foram significativamente diferentes. (Ver FIGURAS 3 e 4).

O tratamento bagaço de cana, nas duas doses empregadas, apresentou os menores valores de cálcio e de magnésio trocáveis, mais baixos até mesmo que os do tratamento testemunha.

QUADRO 10: Valores de cálcio trocável ($\text{meq Ca}^{2+}/100 \text{ g solo}$) obtidos quinquenalmente em cada tratamento (média de três repetições). Resultados da análise estatística: valores de F, da DMS 5% de Tukey e do coeficiente de variação.

TRATA- MENTO	S E M A N A S					
	II	IV	VI	VII	X	XII
TEST	4,55	4,57	4,99	5,05	4,71	5,26
5S	5,24	5,99	5,89	6,41	5,51	5,94
5C	5,85	6,13	6,43	6,10	6,13	6,32
5M	5,01	4,92	5,34	5,31	5,27	5,70
5B	4,15	3,63	4,74	4,72	4,51	4,76
10S	4,85	5,36	6,69	6,69	6,83	6,65
10C	6,19	7,58	7,62	7,70	6,94	7,20
10M	5,07	5,72	5,83	6,18	6,22	5,72
10B	4,15	4,79	4,93	5,28	5,01	4,08
F TRAT = 201,00 DMS 5% TRAT = 0,813						
F TEMPO = 24,84 DMS 5% TEMPO = 0,977						
						% CV = 6,51

QUADRO 11: Valores de magnésio trocável (meq Mg^{2+} / 100 g solo) obtidos quinzenalmente em cada tratamento (média de três repetições). Resultados da análise estatística: valores de F, da DMS de Tukey e do coeficiente de variação.

TRATAMENTOS	S E M A N A S					
	II	IV	VI	VIII	X	XII
TEST	1,54	1,81	2,69	2,50	2,48	2,48
5S	2,05	2,53	2,93	3,35	3,12	3,05
5C	2,43	2,77	3,46	3,39	3,38	3,44
5M	1,99	2,08	2,91	2,96	3,00	3,18
5B	1,99	2,08	2,70	2,85	2,66	2,89
10S	2,24	2,61	3,71	3,84	3,75	3,76
10C	3,05	3,12	4,07	4,43	3,54	3,91
10M	3,03	3,22	3,87	4,06	3,43	3,79
10B	2,18	2,38	3,12	3,37	2,99	3,33

F TRAT = 413,42 DMS 5% TRAT = 0,302

F TEMPO = 364,82 DMS 5% TEMPO = 0-363

% CV = 4,56

FIGURA 3: Teores de cálcio trocável ($\text{meq Ca}^{2+} / 100 \text{ g solo}$) obtidos quinzenalmente nos tratamentos com 5% (a) e 10% (B) de matéria orgânica.

FIGURA 4: Teores de magnésio trocável ($meq Mg^{2+}$ / 100 g solo) obtidos quinzenalmente nos tratamentos com 5% (A) e 10% (B) de matéria orgânica.

4.4. TRATAMENTO ESTERILIZADO

O tratamento esterilizado seguiu os mesmos passos dos outros tratamentos quanto a obtenção dos resultados. A evolução do CO_2 foi determinada, mas os valores foram muito elevados. Na primeira semana a respiração atingiu 26,69 mg de CO_2 /g de solo, valor mais alto que o apresentado pelos tratamentos testemunha (12,60 mg CO_2 /g solo) e o composto (17,85 e 22,25 mg CO_2 /g solo, respectivamente para 5% e 10% de matéria orgânica). O frasco utilizado para determinação da evolução do CO_2 do tratamento esterilizado também foi esterilizado com clorofórmio. Mas ocorreram problemas com a vedação do frasco, permitindo a entrada de CO_2 . Como esse fato continuou ocorrendo nas semanas seguintes, esses resultados não foram considerados.

Entretanto, dentro dos dessecadores, onde estavam incubados os frascos do tratamento esterilizado, o ambiente provavelmente continuava em condições estéreis, e, por isso, prosseguiu-se com as determinações de pH e de cálcio e de magnésio trocáveis.

Os resultados desse tratamento, que estão nos QUADROS 12 e 13, serão comparados apenas com o tratamento testemunha, já que nenhum dos dois recebeu adição de matéria orgânica. As FIGURAS 3 e 4 apresentadas anteriormente, contêm, também, os resultados do tratamento esterilizado, permitindo uma comparação com os outros tratamentos.

Pode-se notar, pelos resultados encontrados, que o tratamento esterilizado alcançou valores mais elevados de pH e teores mais baixos de cálcio e magnésio trocáveis que o tratamento testemunha.

QUADRO 12: Valores de pH dos tratamentos esterilizado (ESTER.) e testemunha (TEST) obtidas semanalmente (média de três repetições). Resultados da análise estatística: valores de F, da DMS de Tukey e do coeficiente de variação.

TRATA- MENTO	S E M A N A S											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
ESTER.	6,33	6,65	6,69	6,52	6,68	6,68	6,65	6,72	6,70	6,70	6,77	6,69
TEST.	6,22	5,89	5,91	5,72	6,00	6,01	6,03	5,83	5,77	6,02	5,97	5,86
F = 360,33 DMS 5% = 0,27 %CV = 1,46												

QUADRO 13: Valores de cálcio e magnésio trocáveis dos tratamentos esterilizado (ESTER) e testemunha (TEST) obtidos quinzenalmente (média de três repetições). Resultados da análise estatística: valores de F, da DMS de Tukey e do coeficiente de variação.

	TRATAMENTO	S E M A N A S									
		II	IV	VI	VIII	X	XII				
CÁLCIO	ESTER.	4,51	4,52	4,82	4,29	4,52	4,95	F	= 10,08		
	TEST.	4,55	4,57	4,99	5,05	4,71	5,19	DMS 5%	= 0,38		
								% CV	= 4,86		
MAGNÉSIO	ESTER.	1,53	1,75	2,53	2,28	2,30	2,43	F	= 11,39		
	TEST.	1,54	1,81	2,69	2,50	2,48	2,48	DMS 5%	= 0,13		
								% CV	1 3,60		

4.5. PERDA DE ÁGUA

A perda de água por evaporação foi avaliada pela quantidade de água colocada nos frascos, a cada semana, para manter o grau de umidade pré-estabelecido.

Para analisar a perda de água, foram utilizados apenas os valores obtidos nos três últimos frascos de cada tratamento, isto é, os frascos que permaneceram até o final da incubação. Esses valores são apresentados no QUADRO 14.

A diferença significativa entre os tratamentos, indicada pelo teste de F, é devido a diferenças ocorridas nas primeiras semanas. A ordenação dos tratamentos em relação a quantidade de água perdida, porém, variou a cada semana. Em relação à dose empregada não houve diferença significativa.

A análise estatística mostrou, ainda, que a perda de água diminuiu com o tempo de incubação. Isto deve estar relacionado com a diminuição da temperatura média no laboratório (ver QUADRO 5). Ou, possivelmente, com a diminuição na taxa de decomposição.

Esses resultados não concordam com os obtidos por COSTA (1983), que verificou maior evaporação com o aumento da quantidade de matéria orgânica adicionada. Assim, o papel de alumínio fechando os frascos exerceu um controle sobre a perda de água. As variações observadas são atribuídas a acidentes no laboratório.

QUADRO 14: Quantidade de água (g) colocada por frasco para suprir as perdas por evaporação em cada tratamento (média de três repetições). Resultados da análise estatística: valores de F, da DMS de Tukey e do coeficiente de variação.

TRATAMENTO	S E M A N A S										
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
TEST	0,55	0,65	0,47	0,43	0,40	0,30	0,40	0,28	0,35	0,28	0,45
5S	0,63	0,60	0,70	0,35	0,38	0,31	0,38	0,25	0,80	0,28	0,38
5C	0,68	0,75	0,82	0,35	0,52	0,33	0,32	0,27	0,38	0,33	0,43
5M	0,68	0,87	0,67	0,53	0,50	0,33	0,32	0,27	0,48	0,27	0,48
5B	0,67	0,88	0,43	0,62	0,53	0,38	0,35	0,30	0,38	0,28	0,48
10S	0,85	0,87	0,47	0,55	0,40	0,40	0,37	0,25	0,30	0,33	0,40
10C	0,68	0,78	0,51	0,58	0,48	0,35	0,38	0,35	0,23	0,28	0,38
10M	0,77	0,80	0,63	0,58	0,42	0,42	0,42	0,37	0,27	0,37	0,53
10B	0,70	0,80	0,42	0,65	0,30	0,35	0,40	0,33	0,30	0,25	0,56
F TRAT = 7,90 DMS 5% TRAT = 0,208											
F TEMPO = 26,66 DMS 5% TEMPO = 0,299											
% CV = 20,13											

4.5. CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

A condutividade elétrica foi medida para verificar se as variações do pH ocorridas nos tratamentos estudados poderiam ser devidas a uma variação no teor de sais presentes na solução do solo. As determinações foram feitas nas três últimas semanas (X, XI e XII). Os dados obtidos encontram-se no QUADRO 15.

A análise estatística mostrou diferenças entre os tratamentos. De fato, nota-se, claramente, uma diferença entre os tratamentos soja e composto e os tratamentos milho, bagaço de cana e testemunha. Os dois primeiros apresentaram condutividade elétrica mais elevada.

Os valores da condutividade elétrica dos tratamentos não apresentaram correlação com os valores de pH ($r^2 = 0,052$), mas apresentaram correlação com os valores de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ trocáveis ($r^2 = 0,785$).

QUADRO 15: Condutividade elétrica (m mhos/cm) determinada nas três últimas semanas (X, XI e XII) para cada tratamento (média de três repetições). Resultados da análise estatística: valores de F, da DMS de Tukey e coeficiente de variação

TRATA- MENTO	S E M A N A S		
	X	XI	XII
TEST	0,61	0,65	0,66
5S	1,57	1,48	1,67
5C	1,53	1,40	1,60
5M	0,45	0,47	0,53
5B	0,27	0,30	0,28
10S	2,71	2,43	2,85
10C	2,38	2,08	2,18
10M	0,47	0,38	0,45
10B	0,44	0,37	0,35
ESTER.	0,30	0,29	0,33
F = 39,49 DMS 5% = 0,75 % CV = 21,99			

4.6. EFEITO DA RESTRIÇÃO IMPOSTA À LIVRE DIFUSÃO

Para verificar se a presença do papel de alumínio cobrindo os frascos poderia influenciar na difusão do CO_2 e alterar os valores de pH do meio pelo acúmulo de ácido carbônico, foi montado um experimento paralelo, segundo um delineamento fatorial 2^2 , em que os fatores eram: difusão (livre e restrita) e presença de calcário (sim e não). A restrição imposta à difusão foi a mesma que para o experimento principal, isto é, uma folha de papel de alumínio fechando a boca dos frascos.

Nos mesmos frascos de vidro utilizados anteriormente incubou-se 40g de solo sem adição de matéria orgânica durante 4 semanas, com 5 repetições. Os tratamentos foram:

- calcário e difusão livre (C DL)
- calcário e difusão restrita (C DR)
- sem calcário e difusão livre (S DL)
- sem calcário e difusão restrita (S DR)

A cada semana, uma amostra de solo era seca em estufa a 40°C e usada para determinação do pH. Os resultados encontram-se no QUADRO 16. A diferença entre os tratamentos foi significativa, como indica o teste F. A restrição à difusão, na presença ou ausência de calcário, provocou uma diminuição no pH. Essa diferença acentuou-se com o tempo, como pode-se observar, claramente, na FIGURA 5.

QUADRO 16: Valores de pH (média de 5 repetições) nos tratamentos do experimento fatorial 2^2 Calcário x difusão do ar. Valores de F, da DMS de Tukey e do coeficiente de variação.

TRATA- MENTO	S E M A N A S			
	I	II	III	IV
CDR	5,15	5,10	4,96	4,91
CDL	5,19	5,28	5,23	5,34
SDR	4,62	4,57	4,28	4,16
SDL	4,66	4,77	4,68	4,63
F = 542,39 DMS 5% = 0,12 CV% = 1,49

FIGURA 5: Valores de pH obtidos nos tratamentos do experimento fatorial 2^2 calcário x difusão

5. DISCUSSÃO

A discussão dos resultados será feita confrontando-se as hipóteses do trabalho, que foram citadas na introdução, com a interpretação dos resultados obtidos.

As hipóteses formuladas foram as seguintes:

HIPÓTESE 1:

A presença da matéria orgânica em decomposição no solo aumenta a solubilização do calcário aplicado.

HIPÓTESE 2:

A produção de gás carbônico pela respiração de microrganismos aumenta a solubilização do calcário.

Antes, porém, serão feitos alguns comentários a respeito dos resultados obtidos, com o propósito de auxiliar a discussão principal. Esses resultados são:

- a) evolução do CO_2 nos diferentes tratamentos.
- b) alterações no pH provocadas pela matéria orgânica.

5.1. EVOLUÇÃO DO CO₂ NOS TRATAMENTOS ESTUDADOS

Como foi visto anteriormente (ítem 4.1.) a liberação de CO₂ em todos os tratamentos foi alta na primeira semana, caindo nas semanas seguintes. Essa respiração inicial elevada é consequência do rápido consumo, pelos microrganismos, dos compostos de fácil degradação presentes na matéria orgânica adicionada.

O tratamento testemunha, apesar de não ter compostos de fácil degradação, apresentou, também, uma elevação na respiração no início da incubação (QUADRO 6). Esse fato é consequência do umedecimento da terra. Quando uma amostra de solo é seca ao ar e depois umedecida, ocorre um salto na evolução do CO₂, que dura alguns dias. Em seguida, há um declínio para uma baixa taxa de respiração. Ao que parece, de acordo com BLACK (1968), a secagem e umedecimento provocariam uma ruptura física no material mais resistente à decomposição, com exposição de novas superfícies e novos compostos. ABRASIMOVA (1979) cita, porém, que o aumento na liberação do CO₂ é devido a decomposição de células microbianas mortas durante a secagem. A adição de calcário, que estimula a atividade microbiana e, assim, aumenta a decomposição da matéria orgânica, pode ser também responsável pela evolução do CO₂ do tratamento testemunha. Uma relação semelhante foi anteriormente demonstrada por WHITE et alii (1954) e McLEAN et alii (1967).

Em relação aos outros tratamentos observou-se que a diferença entre eles diminuiu progressivamente, até a última observação (FIGURA 1). A evolução do CO_2 tende ao mesmo valor em todos os tratamentos, pois o equilíbrio final deverá ser semelhante. Essa tendência ficou evidente nos tratamentos que receberam a dose de 5% de matéria orgânica (FIGURA 1A). Nos tratamentos com a dose de 10% (FIGURA 1B), a diferença maior entre os tratamentos, ao final da incubação, é atribuída à maior quantidade de substrato ainda disponível para a atividade biológica.

Na primeira semana o tratamento soja apresentou maior evolução de CO_2 , seguido pelos tratamentos de milho, bagaço e composto, nesta ordem. Essa sequência indica a facilidade de decomposição desses materiais. Sabe-se que quando a relação C/N do material é alta a sua decomposição é mais lenta. O tratamento milho (C/N 52,5), porém, produziu mais CO_2 que os tratamentos composto (C/N 22,0) e bagaço de cana (C/N 27,3), como foi visto no QUADRO 6. É provável que a composição química do material, isto é, o teor de constituintes como celulose, hemicelulose, lignina e proteína interfira na taxa de decomposição, como foi observado por DYAL et alii (1939). A baixa respiração do tratamento composto pode ser atribuída ao fato deste material já estar parcialmente decomposto.

Ao final de doze semanas, porém, os tratamentos soja, composto e bagaço perderam menos CO_2 que o tratamento milho (ver QUADRO 7), indicando que relações C/N mais altas determinam maior evolução de CO_2 , e relações mais baixas determinam menor perda de CO_2 . A presença de um teor relativamente mais alto de nitrogênio pode provocar menor perda de CO_2 , como observaram SAMPAIO e SALCEDO (1982). Esses autores, incubando solos mais palha de milho, encontraram menor evolução de CO_2 nos tratamentos que receberam nitrogênio suplementar. Essa menor respiração estaria acompanhada de maior formação de biomassa microbiana, conseqüentemente, um teor mais alto de carbono permanece no solo na forma orgânica. Portanto, no presente trabalho, seria esperado que tratamentos com menor respiração apresentassem teores mais altos de carbono no final da incubação. De fato, como se observou (QUADRO 8) ocorreu um maior teor de carbono final e menor porcentagem de perda nos tratamentos com menor respiração.

Esses resultados, porém, não concordam com os obtidos por AQUINO (1976) e ALBUQUERQUE (1976). Esses autores verificaram maior decomposição e menor teor de matéria orgânica no final da incubação quando adicionaram nitrogênio à palha de milho (ver Ítem 2.2.2.4.)

O tratamento 10 B apresentou uma elevação na respiração a partir da décima semana (FIGURA 2). Não se encontrou uma explicação para esse fato. Mas, como as condições ex-

ternas não se alteraram, é possível que esse aumento de respiração seja determinado por condições próprias do tratamento, isto é, a composição do material e suas interações com a população microbiana existente e as condições vitais oferecidas.

5.2. ALTERAÇÕES NO pH PROVOCADAS PELA MATÉRIA ORGÂNICA

Na apresentação dos resultados de pH (item 4.2.), destacou-se as diferenças de comportamento apresentadas pelos tratamentos estudados. Essas diferenças foram, provavelmente, causadas pelos tipos de compostos liberados pelos tratamentos. EIRA e CARVALHO (1970) verificaram que o tipo de material orgânico adicionado ao solo influenciava a variação de acidez; atribuíram esse fato à seleção dos microrganismos pelos princípios nutricionais das fontes utilizadas. No presente trabalho, não só a composição do material como também o pH inicial de cada tratamento (QUADRO 9) influenciaram na seleção dos microrganismos e, conseqüentemente, nos produtos da decomposição, provocando variações de pH entre os tratamentos.

As diferenças entre os efeitos das doses (5% e 10%) são causadas pela quantidade dos diversos produtos liberados no solo, que deve ser maior na dose de 10% de matéria orgânica. No caso do tratamento bagaço, onde a dose de 5% teve um pH mais elevado que a dose 10%, é possível que os produtos formados sejam acidificantes. Assim, a dose 10% liberando maior quantidade desses produtos determinaria um valor mais baixo de pH.

No tratamento soja ocorreu uma elevação no pH nas primeiras semanas. Essa elevação ocorreu, provavelmente, devido à alta amonificação que se verifica logo no início da decomposição em material rico em nitrogênio e de fácil decomposição, como o utilizado. A liberação de NH_4^+ pela matéria orgânica tem sido apontada como um fator de aumento de pH por vários autores, como DOMMERGUES e MANGENOTT (1970) e FERRAZ (1978). O abaixamento do pH que ocorre em seguida deve-se à rápida oxidação dos íons NH_4^+ a nitrato NO_3^- realizada por bactérias nitrificantes, processo que ocorre normalmente em solos com aeração adequada.

Mas o aumento de pH observado nos tratamentos que receberam adição de matéria orgânica não pode ser explicado apenas pela liberação de íons NH_4^+ , já que materiais com baixo teor de nitrogênio também provocaram aumentos de pH. Ácidos orgânicos produzidos durante a decomposição, retendo íons H^+ e Al^{3+} , segundo ROSATO (1978) e COSTA (1983), podem ter contribuído para essa elevação no pH, conforme o que foi comentado no item 2.3.

O valor do pH no tratamento testemunha ficou abaixo de 6,0, quando se esperava que alcançasse um valor mais alto do que 6,5, considerando-se que a V% escolhida no cálculo da quantidade de calcário a ser aplicada foi igual a 90%. Esse baixo pH não foi causado por um acúmulo de sais, pois a condutividade elétrica (QUADRO 15) foi baixa para esse tratamento.

No experimento montado para verificar o efeito da restrição à difusão provocada pela presença de papel de alumínio sobre os frascos (ver item 4.6.), foi mostrado que esta restrição provocou um abaixamento do pH (QUADRO 16). O papel de alumínio dificultou a difusão do ar e o CO_2 acumulou-se nos frascos. Como o CO_2 dissolve-se na água, houve formação de HCO_3^- na solução do solo, provocando um abaixamento no pH. Nos frascos abertos houve maior difusão do CO_2 e assim o efeito do CO_2 foi atenuado.

Os valores de pH e de evolução do CO_2 não apresentaram correlação entre si ($r^2 = 0,0041$), portanto não se pode afirmar que o tratamento que produziu mais CO_2 tenha provocado maior abaixamento do pH. Notou-se, porém, que os valores de pH do tratamento esterilizado (QUADRO 12) ficaram em torno de 6,7 nas semanas finais, alcançando os valores esperados.

Conjugando-se as observações e interpretações expostas acima pode-se dizer que a respiração do tratamento testemunha foi responsável pelo baixo valor de pH deste tratamento, ou pela diferença no pH entre os tratamentos esterilizado e testemunha.

A alteração do pH provocada pela matéria orgânica tem um aspecto importante para esse trabalho. Trata-se da utilização do pH como índice da solubilização do calcário. Como a matéria orgânica em decomposição altera o pH, nessas con-

dições o pH deixa de ser um bom índice para verificar a solubilização do calcário. Alguns autores acreditam que no campo a alteração do pH é muito pequena, SMITH e BURNS (1965) mostraram que houve alterações no pH apenas a uma distância de 4 cm do material orgânico, colocado no solo. Mas a incorporação de grande massa orgânica, como na adubação verde, talvez possa alterar significativamente o pH da camada arável, pelo menos durante a sua decomposição.

5.3. HIPÓTESE 1: A presença no solo de matéria orgânica em decomposição aumenta a solubilização do calcário

Como foi discutido anteriormente, o pH do solo foi alterado não apenas pela adição do calcário, mas também, pela presença de matéria orgânica em decomposição. Por essa razão o pH não será utilizado como indicador da solubilização do calcário e sim os teores de cálcio e de magnésio trocáveis apresentados pelos tratamentos durante as semanas de observação.

Admitiu-se neste trabalho que o calcário foi a única fonte significativa desses elementos, a possível contribuição dos tratamentos foi considerada desprezível.

O aumento dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} deu-se principalmente nas duas primeiras semanas, mas estendeu-se até as

semanas IV e VI. Esses resultados indicaram reação mais lenta do calcário em relação aos resultados encontrados por MELLO e ARZOLLA (1971). Esses autores verificaram que a máxima solubilização de um calcário dolomítico ocorreu por volta do décimo dia de incubação, com o pH atingindo 6,5. Aceitando-se que o pH e o teor de cálcio e de magnésio trocáveis podem ser utilizados como indicadores da solubilização do calcário, conforme as circunstâncias da incubação, pode-se dizer que as diferenças entre este trabalho e o conduzido por MELLO e ARZOLLA podem ser atribuídas à presença da matéria orgânica em decomposição, que determinaria a solubilização de partículas mais grosseiras por um período de tempo mais longo.

Durante o período da incubação ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos quanto aos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis, especialmente entre os tratamentos composto e bagaço de cana (FIGURAS 3 e 4). Comparando-se os valores de Ca^{2+} e Mg^{2+} dos tratamentos com matéria orgânica, e o tratamento testemunha, observa-se que os tratamentos composto, milho e soja apresentaram valores mais elevados enquanto que bagaço de cana apresentou valores mais baixos (QUADROS 10 e 11). Os três primeiros tratamentos aumentaram a solubilização do calcário.

Os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} do tratamento testemunha foram maiores que os teores do tratamento esterilizado (QUADRO 13). Pode-se dizer, então, que a atividade microbiana

presente no tratamento testemunha teria provocado essa diferença. Assim, a atividade microbiana aumentou a solubilização do calcário.

Ao final de doze semanas os tratamentos que receberam composto, soja e milho não apresentaram diferenças significativas, mas nota-se uma tendência do tratamento composto em apresentar valores mais elevados. O tipo de material orgânico que sofre a decomposição parece ter, também, influência na solubilização do calcário.

Diante do que foi exposto, a HIPÓTESE 1 deve ser aceita, isto é, a matéria orgânica em decomposição aumenta a solubilização do calcário.

5.4. HIPÓTESE 2: A produção de gás carbônico pelos microrganismos aumenta a solubilização do calcário

Comentou-se, no ítem 5.1, que ocorreram diferenças na produção de CO_2 entre os tratamentos e, no ítem 5.2., que os resultados de pH do tratamento TEST indicam que pode ter havido acúmulo de HCO_3^- no solo. Segundo KHEGAY et alii (1980) o aumento da concentração de íons bicarbonato na solução do solo promove a solubilização de carbonatos. Assim, os tratamentos com maior produção de CO_2 deveriam ter apresentado maiores valores de Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis. Não houve, entretanto, cor-

relação entre os valores de CO_2 e Ca^{2+} trocável, e CO_2 e Mg^{2+} trocável ($r^2 = 0,0859$ e $r^2 = 0,0782$, respectivamente).

Quando se observa os tratamentos que receberam a dose 10% de matéria orgânica, parece ter havido um efeito negativo do CO_2 , pois nota-se maior solubilização nos tratamentos com menor respiração, concordando com MALAVOLTA (1967) (ver ítem 2.1.).

Os resultados encontrados indicam que as variações no teor de CO_2 no solo não tiveram efeito sobre a solubilização do calcário.

As modificações do pH do solo também não foram responsáveis pelas diferenças entre os tratamentos. Os tratamentos soja e composto, com alto pH inicial, apresentaram também maior solubilização do calcário.

Não foi encontrada correlação entre os valores de pH e $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ trocáveis ($r^2 = 0,070$). Normalmente, no solo existe correlação positiva entre pH e cátions trocáveis. O fato dessa correlação não ter ocorrido é devido às condições criadas pela matéria orgânica em decomposição. DOBEREINER e ALVAYDO (1966) verificaram que solo incubado com matéria orgânica não exibiu correlação entre pH e o teor de manganês (Mn^{2+}) que existe, em geral, nos solos.

Outros produtos da decomposição podem ter importância na solubilização do calcário, como nitratos, por exemplo. Os tratamentos soja e composto apresentaram elevada condutividade elétrica (QUADRO 15) devido, provavelmente, a teores altos de nitratos e sulfatos. Essa afirmação é aceitável, especialmente considerando-se que esses dois materiais têm alto teor de nitrogênio e que as variações de pH ocorridas indicaram atividade nitrificante, principalmente para a soja, conforme comentado no item 5.2.

Deve-se observar, porém, que a quantidade de nitrogênio nitrificado depende, não só do teor de nitrogênio mas também, do tipo de amino-ácido presente. GUPTA e REUSZER (1967) determinaram que 4,6% do nitrogênio da soja foi nitrificado, e apenas 3,0% do nitrogênio do milho.

Dessa forma, a produção de nitratos estaria contribuindo para a solubilização do calcário, confirmando o que foi citado por ALEXANDER (1961).

A decomposição do esterco, segundo TIBAU (1983) desenvolve reação redutora capaz de promover a solubilização de minerais como o ferro e o manganês. Esse fator pode ter determinado a maior solubilização apresentada pelos tratamentos que receberam composto.

Como não se pode estabelecer uma relação entre produção de CO_2 e solubilização do calcário, e como é provável que a diferença entre os tratamentos esteja sendo

causada por outros produtos da decomposição, a HIPÓTESE 2 deve ser rejeitada. Os produtos da atividade microbiana aumentam a solubilização do calcário, mas o CO_2 não é o produto que determina este aumento.

5.5. COMENTÁRIOS FINAIS

Os resultados deste trabalho mostraram que a matéria orgânica em decomposição no solo pode provocar alterações no pH e na solubilização do calcário.

As condições do experimento foram de laboratório, e a quantidade de matéria orgânica aplicada foi elevada, procurando exagerar os efeitos para mostrar se seria possível ou não uma alteração na solubilização do calcário. Com base nos resultados obtidos pode-se pensar em ampliar esses estudos, modificando as condições do experimento ou introduzindo novas variáveis.

Neste trabalho, considerou-se que o aumento dos íons Ca^{2+} e Mg^{2+} deu-se apenas pela solubilização do calcário. Mas a matéria orgânica pode ter removido da solução parte desses íons. Seria interessante estudar especificamente esse efeito. Analisar a quantidade final de carbonatos no solo pode auxiliar nessa questão. Aliás, a determinação do teor final de carbonatos, ou do teor de calcário que permaneceu no solo sem reagir é importante para se ter um balanço total dos íons cálc-

cio e magnésio no solo (*).

Quanto à restrição imposta à livre difusão do ar, verificou-se que esta teve efeito sobre o pH e é uma variável a ser considerada nas incubações feitas em laboratório. Pode-se pensar ainda que, numa situação de livre difusão, as diferenças entre os tratamentos poderiam ser acentuadas. Esse ponto é mais um motivo para que se considere a matéria orgânica em decomposição influenciando na solubilização do calcário.

(*) Valdomiro C. Bittencourt - Comunicação particular

6. CONCLUSÕES

- A presença da matéria orgânica em decomposição aumenta a solubilização do calcário.
- Não se pode afirmar que a produção de CO_2 pelos microrganismos, na decomposição da matéria orgânica, aumenta a solubilização do calcário.

7. LITERATURA CITADA

- o ABRAHÃO, I.O., 1983. Rochas calcárias e sua ocorrência. Estudo Nacional do Calcário Agrícola. Piracicaba, FEALQ, 189 p.
- o ABRASIMOVA, L.N., 1979. Hysteresis and temperature dependence of O_2 and CO_2 exchange in soil. Soviet Soil Science. Madison, 11: 343-346.
- o ALBUQUERQUE, G.A.C., 1976. Decomposição de resíduos orgânicos em solos arenosos medida pelo teor de carbono e relação C/N. Piracicaba, ESALQ/USP, 67 p. (Dissertação de Mestrado).
- o ALEXANDER, M., 1961. Introduction to Soil Microbiology. New York, John Wiley e Sons, INC. 472 p.

- o ALISSON, F.E., 1973. Soil Organic Matter and its role in crop production. Netherlands. Elsevier Scientific Publishing Company, 637 p.
- o ALMEIDA, M.T., 1983. Decomposição da vinhaça incorporada ao solo (evolução do CO_2 e formação de biomassa microbiana) e destino da complementação nitrogenada. Piracicaba, ESALQ/USP, 75 p. (Dissertação de Mestrado).
- o ANJOS, J.T., M. PUNDEK, G. TASSINARI e S.S. GRIMM, 1981. Efeito da calagem e da adubação fosfatada sobre algumas propriedades químicas de um cambissol húmico-distrófico cultivado com milho. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 5: 50-54.
- o ANDERSON, C.A., 1969. Effect of particie size of calcitic and dolomitic limestone on rate of reaction in Lakeland fine sand. Procedings of Soil Crop. Science Society of Florida, Florida, 28: 63-69.
- o AQUINO, B.F., 1976. Decomposição de resíduos orgânicos em solos argilosos medido pelo teor de matéria orgânica e relação C/N. Piracicaba, ESALQ/USP, 67 p. (Dissertação de Mestrado).
- o ASSUMPÇÃO, e., 1981. Ação da população microbiana natural de um Regossolo do Estado de São Paulo, influenciada pela adição de uma fonte de matéria orgânica sobre um fosfato

natural. Piracicaba ESALQ/USP, 39 p. (Dissertação de Mestrado).

- o BARBER, S.A., 1967. Liming materials and Practices. In: PEARSON, R.W. e F. ADAMS, ed. Soil Acidity and Liming. Madison, American Society of Agronomy Publisher, p. 125-160.
- o BARNES, E.E., 1947. A new method for estimating the surface of liming material and other insoluble calcium compounds. Soil Science. Baltimore, 63: 285-289.
- o BEAR, F.E., 1963. Suelos y fertilizantes, 2ª ed. Barcelona, Ediciones Omega S.A. 458 p.
- o BECKMAN, H. e H.W. SCHARPENSEEL, 1964. Carbon dioxide release from sterilized soil. Soils and Fertilizers - Commonwealth Bureau of Soils, 27: 483
- o BELLINGIERI, P.A., 1983. - Avaliação em laboratório da eficiência de diferentes frações granulométricas de calcários agrícolas. Piracicaba, ESALQ/USP, 99 p. (Tese de Doutorado).
- o BLACK, C.A., 1968. Soil - Plant Relationships, 2nd ed. New York, John Wiley & Sons, INC. 792 p.
- o CAMARGO, A.P. 1972. Influência da granulometria de três materiais corretivos na neutralização da acidez do solo. Piracicaba, ESALQ/USP, 59 p. (Dissertação de Mestrado).

- o CARVALHO, P.C.T., J.M. SALGADO e E.P. SANTANA, 1977 .
Biotransformação da apatita de Araxá em solo suplementado
com diferentes fontes de carbono. O Solo, Piracicaba,
69: 30-34.
- o COLEMAN, N.T. e G.W. THOMAS, 1967 . The basic chemisty of
soil acidity. In: PEARSON, R.W. e F. ADAMS, ed. Soil
Acidity and Liming. Madison, American Society of Agronomy,
Publisher, 274 p.
- o CORBET, A.S., 1975. Biological Processes in Tropical Soils
with special reference to Malaysia. Cambridge, W. Heffer &
Sons LTD. 156 p.
- o COSTA, M.P., 1983 . Efeito da matéria orgância em alguns
atributos do solo. Piracicaba. ESALQ/USP, 137 p. (Disser-
tação de Mestrado).
- o DOBEREINER, J. e R. ALVAHYDO, 1966 . Eliminação da toxidez
de manganês pela matéria orgânica em solo "gray hidromórfico".
Pesquisa Agropecuária Brasileira. Rio de Janeiro, 1: 243-248.
- o DOMMERGUES, Y. e F. MANGENOT, 1970. Ecologie microbienne
du sol. Paris, Masson, 796 p.
- o DUFF, R.B., D.M. WEBLEY e R.O. SCOTT, 1963 . Solubilization
of minerals and related materials by 2 - Ketogeuconic -
acid producing bacteria. Soil Science, Baltimore, 95:105-114.

- o DYAL, R.S., F.B. SMITH e R.V. ALLISON, 1939. The decomposition of organic matter in soils at different initial pH. Journal of the American Society of Agronomy, Washington, 31: 841-850.
- o EIRA, A.F. e P.C.T. CARVALHO, 1970. A decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos do solo, e sua influência nas variações do pH. Revista da Agricultura, Piracicaba, 45: 15-21.
- o FASSBENDER, H.W., 1984. Química de suelos con énfasis en suelos de America Latina, 4ª ed. Costa Rica. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 398 p.
- o FERRAZ, J.M.G., 1978. Influência da vegetação sobre a população microbiana e fertilidade dos solos de cerrado. Piracicaba, ESALQ/USP, 93 p. (Dissertação de Mestrado).
- o GALLO, J.R. (1954). Estudo da solubilidade em solução de ácido acético a 1% de alguns materiais calcários de grau de finura comercial. Bragantia, Campinas, 13: 133-139.
- o GALLO, J.R. e R.A. CATANI, 1954. Solubilidade de alguns tipos de calcários. Bragantia, Campinas, 13: 63-74.
- o GERRETSEN, F.C., 1948. Microorganisms on the phosphate intake by the plant. Plant and Soil, The Hague, 1: 51-81.
- o GUPTA, V.C. e H.W. REUSZER, 1967. Effect of plant species on the amino acid content and nitrification of soil organic matter. Soil Science, Baltimore, 104: 395-400.

- o HASSET, J.J., D.W. GREGG, J.B. FEHRENBACHER, 1976. Formation of calcium carbonate concretions in natric horizons of Illinois soils. Soil Science, Baltimore, 122: 202-206.
- o JENKINSON, D.S., 1966. Studies on the decomposition of plant material in soil. II. Partial Sterilization of soil and the soil biomass. Journal of Soil Science, Oxford, 17: 280-302
- o HAYMAN, D.S. Phosphorus Cycling by soil microorganisms and Plant Roots, 1975. In WALKER, N. ed. Soil Microbiology. A critical review. Londres, Butterworths & Co. Ltd. p. 67-92.
- o KHEGAY, T.A., V.V. RACHINSKIY e A.S. PEL'TTSEY, 1980. Sorption of Carbon Dioxide by Soils. Soviet Soil Science, Madison, 12: 56-63
- o LOUW, H.A. e D.M. WEBLEY, 1959. A study of soil bacteria dissolving certain mineral phosphate fertilizers and related compounds. Journal of Applied Bacteriology, Great Britain, 22: 227-233.
- o MALAVOLTA, E., 1967. Manual de Química Agrícola - Adubos e Adubação 2ª ed. São Paulo, Editora Agronomica Ceres, 606 p.

- o MAYAUDON, J., 1971. Use of Radio-respirometry in soil microbiology and biochemistry. In: McLAREN, A.D. e J. SKUJINS, ed. Soil Biochemistry vol. II. New York, Marcel Dekker, INC. 202 - 256.
- o McLEAN, A.J., J.J. JASMIN e R.L. HASTER, 1967. Effect of lime on potato crops and properties of a sphagnum peat soil. Canadian Journal of Soil Science, Ottawa, 47: 89-84.
- o MELLO, F.A.F. e S. ARZOLLA, 1971. A solubilização do magnésio do calcário dolomítico no solo. I - Ensaio de Laboratório. Revista de Agricultura, Piracicaba, 46: 129-136.
- o MEYER, T.A. e G.W. VOLK, 1952. Effect of particle size of limestone on soil reaction, exchangeable cations and plant growth. Soil Science, Baltimore, 73: 27-52
- o MILLER, R.D. e D.D. JOHNSON, 1964. The effect of soil moisture tension on carbon dioxide evolution, nitrification and nitrogen mineralization. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 28: 644-647.
- o MORGAN, M.F. e R.M. SALTER, 1923. Solubility of limestone as related to their physical properties, Soil Science, Baltimore, 16: 293-305.
- o NEVES, M.C.P., I.T. LIMA e J. DOBEREINER, 1983. Efeito da vinhaça sobre a microflora do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas 7: 131-136.

- o PARKINSON, D., T.R.G. GRAY e S.T. WILLIAMS, 1971. Methods for studying the ecology of Soil micro-organisms. IBP Handbook nº 19. Oxford, Black-well Scientific Publications. 116 p.
- o PIMENTEL, G.C., 1966. Chemistry, an experimental science. 5ª. San Francisco, W.H. Freeman and company, Cooperating Publishers. 466 p.
- o QUAGGIO, J.A., 1983. Critérios para calagem em solos do Estado de São Paulo. Piracicaba, ESALQ/USP, 76 p. (Dissertação de Mestrado).
- o RAIJ, B. van, 1977. Estudo de materiais calcários usados como corretivos do solo no Estado de São Paulo IV - O poder relativo de neutralização total. Bragantia, Campinas 36: 139-145.
- o RAIJ, B. van H. CANTARELLA, A. P. CAMARGO e E. SOARES 1982. Perdas de cálcio e magnésio durante cinco anos em ensaio de calagem. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas 6: 33-37.
- o RANZANI, G.O. FREIRE e T. KINJO, 1966. Carta de Solos do Município de Piracicaba. Piracicaba, Centro de Estudo de Solos, ESALQ/USP, 85 p.
- o RESCHER, R., 1964. Introduction to Logic. New York, St. Martin's Press. 360 p.

- o ROSATO, F.M., 1978. Efeito da calagem e da matéria orgânica sobre a acidez de cinco solos do município de Piracicaba. Piracicaba, ESALQ/USP, 43 p. (Dissertação de Mestrado).
- o RUSSELL, E.J. e E.W. RUSSELL, 1964. Las condiciones del suelo y el desarrollo de las plantas. Espanha, Aguilar S.A. de Ediciones. 771 p.
- o SAMPAIO, E.V.S.B. e I.H. SALCEDO, 1982. Decomposição da palha de milho marcada e incorporação do ^{14}C à biomassa microbiana de um latossol vermelho amarelo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 6: 29-32.
- o SCHOLLENBERGER, C.J. e R.M. SALTER, 1943. A chart for evaluating agricultural limestone. Journal of American Society of Agronomy, Washington, 35: 955-966.
- o SMITH, J.H. e G.R. BURNES 1965. Ion Gradients and Nitrification Associated with Decomposition of a Plant Material Layer in soil. Soil Science Society of America Proceedings, 29: 179-181.
- o SOUZA, E.A. e A.M.L. NEPTUNE, 1979. Efeito da granulometria de calcário dolomítico sobre propriedades químicas de um latossolo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 3: 120-125.
- o SREERAMUCU, U.S. e P.F. PRATT, 1970. Influence of various treatments on the dissolution of dicalcium phosphate in soils. Soil Science, Baltimore, 109: 186-189.

- o STANIER, R.Y., M. DOUDOROFF e E.A. ADELBURG, 1969. Mundo dos micróbios. São Paulo: Editora Edgard Blucher LTDA, 741 p.
- o STEVENSON, F.J., 1967. Organic acids in soil. In: Mc LAREN, A.D. e PETERSON, G.H., ed. Soil Biochemistry vol. I. New York Marcel Dekker, INC. p. 119-146.
- o SWABY, R.J. e J. SHERBER, 1958. Phosphate-dissolving microorganisms in the rhizosphere of legumes. In: HALLOWORTH, E.G. ed. Nutrition of the legumes. Butterworths Scientifics Publicent.
- o SWARTZENDRUBER, D. e S.A. BARBER 1965. Dissolution of limestone particles in soil. Soil Science, Baltimore, 100: 287-291
- o THOMAS, R.P. e H.M. GROSS, 1952. A method of estimating the reacting rate of different particle size of limestone. Soil Science, Baltimore, 73: 53-59.
- o THOMPSON, C.M. e F.R. THOEH, 1973. Soils and soil fertility, 3ª ed. New York, McGraw-Hill, 495 p.
- o TIBAU, A.Q. 1983. Matéria orgânica e fertilidade do solo. 2ª ed. São Paulo, Livraria Nobel, 220 p.

- o WAGNER, E.H., 1975 . Microbial growth and carbon turnover
In: PAUL, E.A. e A.D. McLAREN, ed. Soil Biochemistry vol.
III, New York. Marcel Bekker, INC. p. 269-305.
- o WAKSMAN. A. e F.G. TENNEY, 1928. Composition of natural
organic materiais and their decomposition in soil. III -
the influence of nature of plant upon the rapidity of its
decomposition. Soil Science, Baltimore, 26: 155-171.
- o WAKSMAN, S.H., 1952. Soil Microbiology. New York, Jonh
Wiley & Sons, INC. 356 p.
- o WHITE, J.M., F.J. HOLBEN e C.D. JEFFRIES, 1934 . Influence
of soil acidity upon de decomposition of organic matter
in soils. Soil Science, Baltimore, 37: 1-15.
- o WUNSCHÉ, W.H. e H. BOHNEN, 1976. Avaliação da dissolução
de varias frações de calcário dolomítico em oxissol do
Rio Grande do Sul. Agronomia Sulriograndense, Porto
Alegre, 12: 173-178.
- o WUTKE, A.C.P. 1972 . Acidez. In: MONIZ, A.C. coord.
Elementos de Pedologia São Paulo, Editora Poligono, 459 p.