

**EFEITOS DA VERMICULITA NA DISPONIBILIDADE DE ÁGUA
E DE NUTRIENTES EM FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris*, L.),
CULTIVAR “CARIOCA COMUM”**

ELIAS DE FREITAS JUNIOR

Orientador: KLAUS REI CHARDT

**Tese apresentada à Escola Superior de
Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade
de São Paulo, para obtenção do título de
Doutor em Agronomia. Área de Concentração:
Solos e Nutrição de Plantas.**

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo - Brasil
Abril - 1982

*Não danifiqueis a terra,
nem o mar,
nem as árvores ...*

(Apocalipse, 7:3)

*Aos meus pais,
Elias e Dirce,
a minha gratidão.*

AGRADECIMENTOS

- Aos Professores *Dr. Klaus Reichardt* e *Dr. Paulo Leonel Libardi*,
a orientação.

- Aos Colegas *Antonio Carlos Saraiva da Costa*
João Eduardo Pilotto
José Carlos de Araújo Silva
Luis Fernando Stone
Paula Pinheiro Padovese
Segundo Urquiaga Caballero
Sérgio Oliveira Moraes

- Ao *Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)*,
a oportunidade.

- Ao *Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA)*,
as facilidades.

- À *Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ)*,
os ensinamentos.

Í N D I C E

	<u>Página</u>
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
3. MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1. O Solo	10
3.2. A Cultura	12
3.3. Tratamentos	12
3.3.1. Água no Solo	15
3.3.2. Adubação, Calagem e Condicionamento do Solo	16
3.4. Desenvolvimento Experimental	19
3.5. Parâmetros a Avaliar	21
3.6. Determinação do N Mineral do Solo	21
3.7. Determinação da Relação Isotópica $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$	22
3.8. Cálculo da Eficiência de Utilização do Fertilizante Nitrogenado	23
3.9. O Valor A do Solo	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1. O Solo	25
4.2. Produção de Matéria Seca	27
4.3. Adubação Nitrogenada	31
4.4. Absorção de Nutrientes	40
4.5. O Solo Após a Cultura	41
5. CONCLUSÕES	45
6. LITERATURA CITADA	47
APÊNDICE	55

EFEITOS DA VERMICULITA NA DISPONIBILIDADE DE ÁGUA E DE NUTRIENTES EM
FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris*, L.), CULTIVAR "CARIOCA COMUM"

Elias de Freitas Junior

Klaus Reichardt
Orientador

RESUMO

O experimento foi conduzido em casa de vegetação. Teve como objetivo, avaliar os efeitos do condicionador do solo vermiculita expandida na disponibilidade de água no solo, mantida entre os intervalos 0,1 - 0,3 e 0,1 - 0,7 atm, e de nutrientes em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L. var. "carioca comum"), em um Latosol Vermelho Escuro, coletado na região de Goiânia (GO). Alguns tratamentos receberam calagem, e o pH subiu de 5,70 para 6,98.

Os parâmetros analisados foram produção de matéria seca e acúmulo dos macro e micronutrientes pela parte aérea e sistema radicular. O estudo da eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (EUFN) foi feito através da técnica da utilização do adubo (uréia) enriquecido artificialmente com o isótopo estável ^{15}N .

Os resultados mostraram que, sob o regime hídrico mais seco, o uso da vermiculita a 10% em volume permitiu um desenvolvimento estatisticamente igual aos tratamentos mais úmidos. A vermiculita não permitiu economia de água, porém, diminuiu a frequência de irrigação. Nos tratamentos mais úmidos, o aumento da dose de vermiculita diminuiu a EUFN, o nitrogênio mineral residual do solo e promoveu o uso do nitrogênio natural do solo.

Com relação aos nutrientes, a presença de vermiculita aumentou a absorção de cobre e ferro e diminuiu a de manganês.

O uso da calagem alterou o balanço com magnésio e potássio e aumentou a razão de transpiração.

EFFECT OF VERMICULITE ON WATER AND NUTRIENT AVAILABILITY FOR BEAN CROP

(*Phaseolus vulgaris*, L.)

Elias de Freitas Junior

Klaus Reichardt

Adviser

SUMMARY

This experiment that was conducted under greenhouse conditions, had the objective of evaluating the effects of expanded vermiculite as a soil conditioner. Aspects of available water and nutrient dynamics were studied on a bean crop grown on a "Latosol Vermelho Escuro" of the "cerrado" near Goiânia, Brazil. Treatments involved two water levels, three vermiculite concentrations, with and without liming.

The parameters that were analysed consisted of dry matter production, accumulation of micro and macronutrients in shoot and root. Enriched ^{15}N urea fertilizer permitted the evaluation of nitrogen utilization efficiency.

Results showed that under a more severe water regime the use of vermiculite in 10% volume concentration did not promote a better growth

with respect to wet treatments. Vermiculite did not have an effect on water economy but decreased irrigation frequency. In the wet treatments the increase in vermiculite concentration decreased the fertilizer nitrogen utilization efficiency and the mineral residual soil nitrogen, promoting a better use of soil nitrogen.

With respect to the nutrients the presence of vermiculite increased copper and iron absorption and decreased the manganese absorption. Liming affected magnisium and potassium balances and also increased transpiration rate.

1. INTRODUÇÃO

O uso do condicionador do solo vermiculita expandida tem mostrado resultados bastante promissores em experimentos preliminares executados no CENA/USP. Neles existem indicações de que a vermiculita promove a estruturação do solo, facilitando trocas gasosas, aeração e aumentando a permeabilidade. Estes resultados, aliados a outros que a literatura apresenta, como aumento na retenção de água e de alguns nutrientes, permitem-nos pensar na vermiculita como um instrumento que ajudaria na recuperação de solos problemáticos.

Uma projeção da expansão demográfica para o ano 2000, mostra que até lá a população alcançará $6 \cdot 10^9$ habitantes. Na mesma época, as terras cultivadas, considerando as que serão incorporadas ao cultivo, menos as que serão perdidas para urbanização e por degradação, ocuparão $0,94 \cdot 10^9$ hectares. Dessa maneira, cairá de 0,31 para 0,15 a relação de hectares cultivados por habitante (UNEP, 1977).

Esses dados fazem com que se olhe com mais cuidado para o

sistema em que vivemos. Existe uma necessidade premente de se aumentar a produtividade das áreas cultivadas e, além disso, incorporar novas terras à agricultura. No Brasil, a fronteira natural para essa expansão são os cerrados, com $1,8 \cdot 10^8$ ha. Os cerrados são áreas onde existem sérios problemas para o desenvolvimento agrícola. Um dos principais é o déficit de água, que pode ocorrer por precipitação insuficiente ou por irregularidade na precipitação, mesmo nos períodos chuvosos ("veranicos"). Outros problemas dessas áreas são a baixa fertilidade natural desses solos, alta toxicidade de alumínio, baixa CTC e baixa capacidade de retenção e disponibilidade de água. Essas limitações, entretanto, podem ser mais facilmente eliminadas do que quando comparadas às de outros ecossistemas mais frágeis, como, por exemplo, o da Amazônia.

A deficiência de água em culturas no cerrado tem levado a produções mais baixas, comprometendo a sua viabilidade. A utilização de vermiculita poderia auxiliar na resolução desse problema na região dos cerrados, uma vez que sua aplicação aumenta a retenção de água e a sua capacidade de troca catiônica. Com a utilização desse condicionador, poder-se-ia atingir alguns objetivos, como o de se obter manejo mais racional da água, a minimização dos efeitos dos "veranicos" e a viabilização da agricultura em regiões semi-áridas, onde as técnicas convencionais não permitiram produção satisfatória. Além disso, a utilização dessas áreas, poderia diminuir a pressão atual sobre o desmatamento da floresta amazônica.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A região dos cerrados mostra-se como a fronteira mais adequada para o crescimento agrícola de que necessitamos para cumprir dois objetivos básicos: o suprimento de uma demanda crescente de alimentos e a obtenção de excedentes para exportação. Apesar da extensa área, que ocupa $1,8 \cdot 10^6$ Km², e do enorme potencial que representa, existem problemas que dificultam a sua plena exploração, como a baixa fertilidade de seus solos e uma distribuição irregular de chuvas. Por outro lado, existe uma série de fatores positivos, como, topografia suave, temperatura, luminosidade, boas possibilidades de mecanização e proximidade com grandes centros consumidores (GOEDERT, 1979).

Os solos mais representativos da região dos cerrados são os LVA (Latosol Vermelho Amarelo - ACRUSTOX) e o LE (Latosol Vermelho Escuro - HAPLUSTOX) (RANZANI, 1971), ocupando, respectivamente, 41% e 11% das áreas (SANCHEZ, 1979). São solos geralmente profundos, com agregados de boa estabilidade, baixa capacidade de retenção de água (GOEDERT, 1979) e alta saturação de alumínio (GOODLAND, 1971).

A baixa capacidade de retenção e disponibilidade de água dos seus solos, aliada ao baixo desenvolvimento do sistema radicular (LOBATO *et alii*, 1979) e à distribuição irregular das chuvas dentro do período chuvoso (WOLF, 1977), é um problema bastante sério para o desenvolvimento da agricultura dos cerrados.

Existe uma interdependência entre o sistema radicular e a parte aérea das plantas. As raízes suprem a parte aérea de água e nutrientes e dela recebem produtos fotossintetizados e reguladores de crescimento. Um sistema radicular profundo e bem desenvolvido é necessário em solos de cerrado, porque além de explorar um maior volume de um solo originalmente pobre em nutrientes, também teria condições de suportar melhor os problemas de estresse de água, que ocorrem com certa regularidade em meio à estação chuvosa. À esse fenômeno dá-se o nome de "veranico" (WOLF, 1977; ESPINOZA, 1979).

O desenvolvimento do sistema radicular pode ser controlado. Existem alternativas, como o aumento da profundidade de enraizamento, através do uso de espécies tolerantes a condições particulares do solo, ou ainda através da alteração de propriedades do solo (TAYLOR, 1981).

O potencial da água no solo é fator importante no desenvolvimento do sistema radicular. TAYLOR *et alii* (1964), trabalhando com algodão, mostrou que o crescimento radicular diminuía até a paralisação quando o potencial matricial diminuía de -1 até -5 bar. KLEPPER e TAYLOR (1973) estudaram a variação do sistema radicular em cultura de algodão. Dois sistemas, inicialmente com a mesma densidade de raízes (cm de raiz/cm³ de solo), em um deles foi permitida a secagem por 21 dias. A zona onde havia maior concentra

ção de raízes secou primeiro e nela as raízes morreram. Houve crescimento das raízes em direção às camadas mais úmidas. As alterações no sistema mantido em condições normais de umidade não foram significativas. Estas informações foram observadas em condições de campo por SIVAKUMAR *et alii* (1977).

Outro fator que limita o crescimento do sistema radicular é a alta saturação de alumínio, superior a 40% na camada arável, em 78,6% dos solos estudados de uma área de 600.000 Km² (LOPES, 1975). Isto acontece por serem os solos de cerrado altamente intemperizados e terem pouca reserva de cálcio e magnésio intemperizáveis. Dessa maneira, é o alumínio que se liga à maior parte das cargas negativas do solo (JACKSON, 1963).

O efeito do alumínio na imobilização de outros nutrientes é tão marcante, que frequentemente o sintoma de deficiência de um nutriente (fósforo e potássio), é na realidade a "síndrome de toxidez de alumínio" (GOODLAND, 1971). No caso do íon fosfato, o que existe é uma concorrência entre a raiz e o alumínio para ganhá-lo. Além deste fato, é importante ressaltar que são os mesmos os sintomas de toxidez de alumínio e deficiência de fósforo (FOY e BROWN, 1963 e 1964). Além disso, o fósforo pode ser fixado no solo por adsorção, substituição isomórfica e através da formação de compostos de baixa solubilidade (MALAVOLTA, 1976).

Para o cálcio, isto também acontece. A absorção de cálcio em alfafa cai em uma ordem de grandeza, quando o teor de alumínio sobe a 10 ppm (SCHMEL *et alii*, 1952). Em milho, a redução na absorção ocorreu com 2 ou 4 ppm de alumínio (PATERSON, 1965).

NYE *et alii* (1961), através da adição de cálcio no solo, di

minuíram os efeitos da toxidez de alumínio. Como no caso do fósforo, os sintomas de toxidez de alumínio se confundem com os sintomas de deficiência de cálcio (FOY e BROWN, 1964; JOHNSON e JACKSON, 1964).

Os efeitos do alumínio sobre o cálcio e o fósforo são mais conhecidos do que em outros elementos (PEARSON e ADAMS, 1967).

A atuação do alumínio sobre a absorção de potássio, diminuindo-a, foi reportada por PATERSON (1965) e RAMAKUSHNAN (1968), e sobre a relação K/Ca, alterando-a, por BOLLARD e BUTLER (1966).

Além destes elementos, existem evidências de que o alumínio afeta a absorção de outros íons, como o magnésio, ferro, nitrato, manganês e zinco (PATERSON, 1965).

Trabalhos de McCART e KAMPRATH (1965), EVANS e KAMPRATH (1965), EVANS e KAMPRATH (1970), McLEAN (1976) e SALINAS e SANCHES (1978), demonstraram que a solubilidade do alumínio e a intensidade de seus efeitos tóxicos são afetadas por características do solo, tais como acidez, concentração de outros cátions, tipo de argila mineral predominante e teor de matéria orgânica. Esses fatores, se não forem devidamente corrigidos e deixados como ocorrem naturalmente nos cerrados, limitam as produções. Se corrigidos, poderão permitir altos rendimentos de trigo, sorgo, soja e pastagens (MIRANDA e LOBATO, 1979). Estes autores destacam que a correção da acidez do solo afeta suas propriedades físicas, químicas e biológicas, e deverá ser acompanhada de uma adubação adequada.

A correção da acidez, através da calagem, vai neutralizar o alumínio trocável na camada arável e a lixiviação do cálcio e magnésio,

que ocorre com o tempo, diminuirão a saturação do alumínio nas camadas mais profundas. A quantidade deste corretivo a ser aplicada é influenciada pela argila do solo, pela matéria orgânica, evidentemente pelo teor de alumínio trocável e pela resistência da planta ao alumínio (MIRANDA e LOBATO, 1979). A presença do cálcio, através da calagem, no local de crescimento das raízes, é necessária para um adequado desenvolvimento radicular, uma vez que os solos são acidificados pela lixiviação das bases e, com isso, a concentração dos íons tóxicos aumenta (PEARSON, 1975).

A incorporação profunda do calcário (30 cm) permitiu um melhor desenvolvimento do sistema radicular de milho, quando comparado com incorporações mais rasas (12 e 15 cm). A melhor conformação do sistema radicular ficou evidenciada através da melhor utilização da água até 45 cm de profundidade, durante um período seco de dez dias. A probabilidade de ocorrência dos "veranicos" foi estudada por WOLF (1975) na região de Formosa (GO), baseando-se em 42 anos de observações. "Veranicos" de 8 a 10 dias podem ocorrer duas vezes por ano, de 13 dias, uma vez, e de 22 dias, a cada sete anos.

Uma opção para melhorar as condições de retenção e disponibilidade de água para promover o sistema radicular é o uso de condicionadores do solo. DE BOOT (1975) traça um perfil do uso de condicionadores do solo usados com o objetivo de minimizar a erosão, aumentar a taxa de infiltração de água e retenção de fertilizantes.

A aplicação do condicionador do solo vermiculita expandida promoveu maior retenção de água em Latossol Vermelho Escuro, principalmente na faixa de baixas tensões. O sistema radicular do milho foi signifi-

cativamente maior em tratamentos em que foram utilizados 1 e 5% em volume desse condicionador (REICHARDT, 1981). A literatura sobre a vermiculita expandida como condicionador do solo é restrita.

A vermiculita é um silicato hidratado de ferro, magnésio e alumínio. Quando sofre o processo de aquecimento a 1800°F ($\approx 980^{\circ}\text{C}$), a água presente em suas camadas se vaporiza, causando a separação das camadas e a expansão, tornando-se doze vezes menos densa. Sua superfície específica aumenta com a expansão para 4 a 10 m²/g. A vermiculita expandida é obtida a partir do mineral pouco intemperizado, daí a sua baixa superfície específica.

A sua produção mundial em 1980 foi da ordem de 583.000 toneladas. Os Estados Unidos (58%) e a África do Sul (35%) dominam a produção mundial. O Brasil produz aproximadamente 1,5% desse total (USDI, 1980a,b).

Na agricultura, a vermiculita é usada como carregador de fertilizantes, pesticidas e herbicidas, cama em avicultura e ainda como condicionador do solo.

Como carregador de amônia, contendo 1,3% de N-amoniaco, manteve-se inalterada após três anos de armazenamento. À medida que se diminuiu o tamanho dos flocos, foi aumentada a taxa de liberação (RUSSEL e FRAZER, 1977).

Como condicionador do solo, ela evitou a perda por lixiviação de N, P e K em substratos compostos de areia e turfa (BUNDT, 1974). Em um solo barrento, ao qual foi adicionado vermiculita, houve aumento no pH, no teor de cálcio, magnésio e potássio e diminuição no de fósforo. Sob

condições de muita umidade, houve retenção de amônia e potássio em iguais quantidades (PAGE *et alii*, 1967) em solos ricos com vermiculita.

O estudo mineralógico de alguns solos mostraram uma relação muito próxima entre o teor de vermiculita e a fixação de amônio (SOWDEN, 1978). A vermiculita mostra uma maior afinidade entre os íons divalentes do que para o sódio. Entre os divalentes, o magnésio foi mais absorvido que o cálcio, estrôncio e bário (WILD e KEAY, 1964).

Sob o ponto de vista de aumento da retenção de água, a vermiculita foi recentemente estudada por SALATI *et alii* (1980) e REICHARDT (1981). Nesses trabalhos, são apresentados dados onde se pode visualizar o aumento do armazenamento da água no solo, sem, contudo, afetar a taxa de evapotranspiração.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. O Solo

As amostras do solo utilizado neste experimento são de um Latosol Vermelho Escuro (HAPLUSTOX) e foram coletadas no Centro Nacional de Pesquisa do Arroz e Feijão (EMBRAPA), em Goiânia (GO). Estas amostras foram transportadas para a Seção de Física de Solos do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), onde foram deixadas secar ao ar e peneiradas em malha de 2 mm, obtendo-se a chamada Terra Fina Seca ao Ar (TFSA). As análises de granulometria e química têm seus resultados apresentados na Tabela 1.

A análise da composição granulométrica foi feita pelo método da pipeta, descrito por KILMER e ALEXANDER (1949), e a distribuição dos componentes do tamanho de partículas seguiu as normas do U.S.D.A. (BUCKMAN e BRADY, 1969). As análises químicas foram feitas obedecendo aos seguintes critérios: o pH foi determinado em suspensão de solo com água, na proporção de 1:1; o carbono orgânico, pelo método de WALKLEY e BLACK, que foi descrito por JACKSON (1976); o nitrogênio total, pelo método semi-mi-

TABELA 1 - Resultados da análise^(*) química e de granulometria do Latossol Vermelho Escuro em estudo, antes e depois da cultura.

A- Ar- reia gila	%		pH	mEq/100 g solos					V (%)	P (ppm)			
	C	MO ^(**)		N _t	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺			Al ⁺⁺⁺	H ⁺	CTC
46 32	1,44	2,48	0,097	5,7	2,89	1,02	0,14	0,02	0,06	4	8,13	50	2,1

(*) Estas análises foram feitas no laboratório de solos CES/ESALQ/USP.

(**) MO = 1,724 x C (BREMER, 1965)

cro-Kjeldahl, descrito por BREMNER (1965); o potássio e o sódio foram determinados por fotometria de chama de um extrato obtido com HCl 0,05N; o cálcio e o magnésio, por espectrometria de absorção atômica de um extrato obtido com KCl 1N; o alumínio trocável foi determinado por titulação com NaOH 0,02N de um extrato obtido com KCl 1N, e o hidrogênio trocável, também por titulação do extrato obtido com acetato de cálcio 1N, com o pH corrigido para 7. A capacidade de troca catiônica (CTC) resultou da soma dos cátions trocáveis analisados e a porcentagem de saturação de bases (U%) foi obtida dividindo-se a soma das bases (Ca, Mg, K e Na) pela CTC, expressando o resultado em porcentagem. O fósforo solúvel foi determinado pelo método fotocolorimétrico após extração com H_2SO_4 0,05N.

3.2. A Cultura

A cultura utilizada foi o feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris*, L.), cultivar carioca comum. Esta cultura está sendo bastante estudada pelo CNPAF-EMBRAPA, Goiânia (GO), de onde vieram as amostras de solo utilizadas neste experimento.

3.3. Tratamentos

Foram estabelecidos, para este trabalho, 9 tratamentos, inteiramente casualizados, com 5 repetições, perfazendo um total de 45 vasos (Tabelas 2 e 3). Os vasos continham 3 kg de TFSA, sendo o fundo fechado.

Nos tratamentos 1, 2 e 3, a tensão da água no solo foi mantida entre 0,1 e 0,3 atm. Os três receberam calagem, e o teor de vermicu-

TABELA 2 - Tratamentos utilizados com os níveis de vermiculita, de calagem⁽¹⁾ e limites de tensão de água no solo.

Tratamento nº	Vermiculita (% volume)	Tensão (atm)	Calagem (meq/100 g de solo)
1	0	0,1 - 0,3	2,0
2	2	0,1 - 0,3	2,0
3	10	0,1 - 0,3	2,0
4	0	0,1 - 0,7	2,0
5	2	0,1 - 0,7	2,0
6	10	0,1 - 0,7	2,0
7	0	0,1 - 0,7	0,0
8	10	0,1 - 0,7	0,0
9	10	0,1 - 0,7	2,0

(1) Utilizou-se o Ca(OH)₂ reagente como fonte de cálcio. O pH subiu para 6,98.

TABELA 3 - Nutrientes, corretivo e condicionador aplicados ao solo em cada tratamento.

	Nível	Fonte
<u>Nutrientes</u>		
nitrogênio	100 ppm	uréia 46,64% (10,24 % ^{15}N)
fósforo	100 ppm	KH_2PO_4
potássio (*)	200 ppm	$\text{KH}_2\text{PO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4$ (***)
zinco (**)	20 ppm	ZnCl_2
<u>Corretivo</u>		
cálcio	2 meq/100 g	Ca(OH)_2
<u>Condicionador</u>		
vermiculita	0,2 e 10% volume	Eucatex Superfina

(*) no tratamento 9 foram usados apenas 126 ppm

(**) fornecido através de aplicação foliar de uma solução contendo 20 ppm de ZnCl_2

(***) exceto no tratamento 9

lita utilizado foi, respectivamente, 0, 2 e 10% em volume. Os tratamentos 4, 5 e 6 são análogos aos 1, 2 e 3, estando a diferença na tensão de água, que foi mantida no intervalo de 0,1 e 0,7 atm. Os tratamentos 7 e 8 são análogos aos tratamentos 4 e 6, diferindo apenas por não terem recebido calagem. O tratamento 9 foi similar ao 6. A diferença consistiu na dose de potássio, que foi reduzida a 126 ppm (Tabela 3).

3.3.1. Água no Solo

O limite inferior de tensão da água no solo, escolhido para este desenvolvimento experimental, foi de 0,1 atm, baseado nos trabalhos de WOLF (1975) e de LOPES e COX (1978), que relacionaram o limite mais úmido da capacidade de campo com este valor. Estes trabalhos mostram também que 50% da água existente entre 0,1 e 15 atm estava retida entre 0,1 e 1 bar.

Os limites superiores de tensão escolhidos foram de 0,3 e 0,7 atm. Essas tensões eram lidas em micro-tensiômetros, fabricados pela Soil Moisture Equipment Co., California, USA. Todas as vezes que o solo atingia este limite, procedia-se a rega. O cálculo do volume de água a ser adicionado em cada rega foi feito através da relação

$$m_a = \frac{(u_i - u_s)}{100} \cdot m_s \dots\dots\dots (1)$$

onde: m_a = massa de água a ser adicionada a cada rega (g);

u_i = umidade gravimétrica do solo no limite inferior de tensão (0,1 atm) (g de água/100 g de solo);

u_s = umidade gravimétrica do solo no limite superior de tensão (0,3 atm ou 0,7 atm) (g de água/100 g de solo);

m_s = massa de solo utilizada em cada vaso (g).

Os valores de u_i e u_s foram calculados a partir das curvas características de retenção de água no solo (Figura 1).

Como em todos os tratamentos, os vasos continham 3000 g de solo, e como a densidade da água é igual a 1 g.cm^{-3} , a equação (1) pode ser simplificada para

$$V_a = 30 (u_i - u_s) \dots\dots\dots (2)$$

onde V_a = volume de água a ser adicionado (ml).

3.3.2. Adubação, Calagem e Condicionamento do Solo

A adubação nitrogenada foi feita utilizando-se uréia que continha 46,64% de N. Esse nitrogênio estava enriquecido com ^{15}N e possuía 10,24% desse isótopo estável. Foram adicionados 643,2 mg de uréia, o que equivale a uma concentração de 100 ppm de N.

A adubação nitrogenada foi devida ao médio teor (0,097%) de N apresentado pelo solo (GARGANTINI *et alii*, 1970).

A dose de nitrogênio aplicada foi bem mais elevada do que o usual em condições de campo, uma vez que a produção de matéria seca em vasos é maior que a obtida no campo. Essa alta dose teve também o objetivo de reduzir a nodulação que, como se sabe, se reduz significativamente em

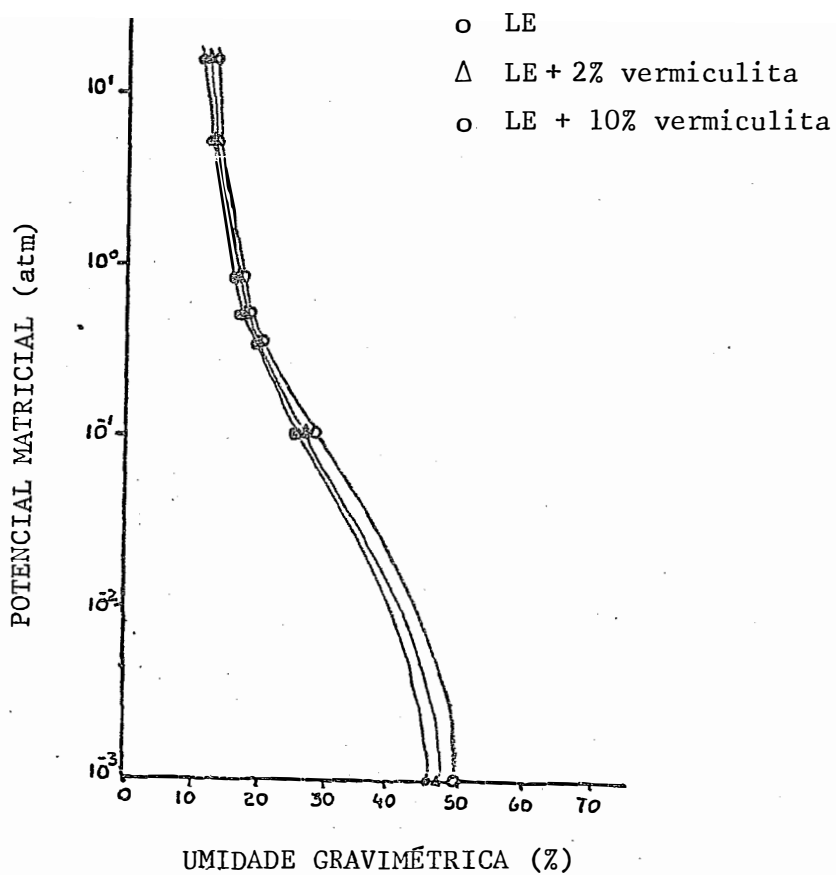


FIGURA 1 - Efeito da adição de 2 e 10% em volume de vermiculita EUCATEX SUPERFINA na curva de retenção de água do Latosol Vermelho Esuro em estudo (LE).

solos bem supridos deste elemento.

O solo também apresentou teor de fósforo (2,1 ppm) muito baixo (GARGANTINI, 1970). A dose aplicada de 100 ppm, quando a necessidade deste elemento é quase a décima parte da exigência em nitrogênio, é explicada pela fixação do fósforo pelo solo (MALAVOLTA, 1976). O adubo empregado foi o KH_2PO_4 . Foram adicionados 1332 mg por vaso e que também forneceram 126 ppm de potássio. A dose de 200 ppm de potássio aplicada teve o objetivo de prevenir a cultura da deficiência deste elemento diante da possibilidade da sua fixação pela vermiculita (EVERETT e ELLIS JR., 1962). Além disso, a vermiculita utilizada, a EUCATEX SUPERFINA, tem baixo teor desse elemento. A complementação dos 200 ppm de potássio foi feita adicionando-se 74 ppm de K, através de 495 mg de K_2SO_4 por vaso.

Houve também uma aplicação foliar de zinco, através da pulverização de uma solução contendo 20 ppm de Zn. A aplicação foi feita por causa da cultura apresentar sintomas de deficiência e o adubo utilizado foi o cloreto de zinco. Este elemento, como fator limitante da produção, foi reportado por NCSU (1973).

A calagem foi feita através da adição de $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Foram adicionados 2,22 mg/vaso, o que equivale a 2 meq/100 g de solo e o pH subiu de 5,70 para 6,98.

Os objetivos da calagem foram balancear a relação entre os nutrientes e diminuir a saturação em hidrogênio. Em condições de campo, outro objetivo seria reduzir a acidez sub-superficial. Uma forma de promover o movimento do cálcio para as camadas mais profundas seria aplicar,

juntamente com a calagem, grandes quantidades de sulfato de amônia (PEARSON *et alii*, 1962) ou de fertilizantes nitrogenados em geral (WEIR, 1974). A aplicação de gesso também pode promover o movimento de cálcio para o subsolo (Reeve e Summer, 1972, citado por LOBATO e RITCHEY, 1979 e GONZALEZ-ERICO *et alii*, 1979), através da adição do íon sulfato.

Os tratamentos utilizando-se o condicionador do solo "vermiculita expandida" foram feitos adicionando-se 0, 2 e 10% em volume. A vermiculita é do tipo Superfina, fabricada pela EUCATEX S.A., IND. & COM., e tinha densidade de $0,132 \text{ g.cm}^{-3}$.

Características químicas de 3 tipos comerciais de vermiculita são encontradas na Tabela 4. Foi escolhido o tipo Superfina por apresentar maior teor de cálcio e maior capacidade de troca catiônica (Tabela 4).

3.4. Desenvolvimento Experimental

Os vasos foram cheios com 3 kg de TFSA e levados para a casa de vegetação do CENA/USP, em 03 de junho de 1981, quando foram feitas as operações de adubação, de calagem e da aplicação do condicionador. Em seguida, procedeu-se o plantio de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.), variedade "carioca comum". Foram utilizadas 4 sementes por vaso, e o início da germinação se deu com 9 dias.

As regas eram efetuadas todas as vezes que era atingida a tensão 0,3 atm para os tratamentos 1 a 3, ou 0,7 para os tratamentos 4 a 9.

TABELA 4 - Capacidade de troca catiônica e cátions trocáveis de três tipos de vermiculita.

Vermiculita (tipo)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺⁺⁺ +H ⁺	CTC	V (%)	Mn ppm
Eucatex Superfina (ES)	20,8	56,7	0,54	0,06	1,25	79,4	98,4	2,5
Eucatex Micron (EM)	13,8	33,1	0,29	0,03	0,85	48,1	98,1	1,9
Minebra Tipo 4	3,0	63,7	0,34	0,02	3,20	70,3	95,4	10,5

Os volumes de água (em ml), aplicados de acordo com a equação (2), eram os seguintes:

Tensão (atm)	Vermiculita (%)		
	0	2	10
0,1-0,3	200	225	250
0,1-0,7	250	275	300

O experimento encerrou-se no dia 23 de julho, quando a floração estava se iniciando. Foram coletados, separadamente, para análise, o sistema radicular, parte aérea e amostras de solo.

3.5. Parâmetros a Avaliar

Os parâmetros avaliados foram:

- produção de matéria seca do sistema radicular;
- produção de matéria seca da parte aérea;
- acumulação de macro e micro nutrientes na planta;
- eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado;
- retenção de água pelo solo, nos diferentes tratamentos.

3.6. Determinação do N Mineral do Solo

O N mineral do solo foi determinado em dois passos. O pri-

meiro corresponde à extração que foi feita com uma solução 2N de KCl, onde foram utilizados 10 ml por grama de solo. O segundo passo, que consiste na determinação do teor de N propriamente dito, foi feito pelo método semi micro-Kjeldahl.

3.7. Determinação da Relação Isotópica $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$

A análise isotópica do nitrogênio foi efetuada no laboratório de espectrometria de massa do CENA/USP, tendo sido utilizado o espectrômetro de massa modelo CH-4, da Atlas-Varian.

A determinação do ^{15}N é feita convertendo-se o nitrogênio enriquecido para amônia. Em seguida, o nitrogênio é oxidado para a fórmula molecular N_2 , e é nessa forma que é analisado no espectrômetro de massa. São analisados vários picos I (I=altura do pico em mm x sensibilidade em volts): I_{28} ($^{14}\text{N}^{14}\text{N}$), I_{29} ($^{15}\text{N}^{14}\text{N}$), I_{30} ($^{15}\text{N}^{15}\text{N}$) e I_{32} ($^{16}\text{O}^{16}\text{O}$) (Rittenberg, 1966, citado por TRIVELIN *et alii*, 1973). Através da equação (3) abaixo, são calculadas as concentrações em átomos % de ^{15}N :

$$\text{Átomos \% } ^{15}\text{N} = \frac{I_{29} + 2I_{30}}{I_{28} + I_{29} + I_{30}} \times 50 \quad \dots\dots\dots (3)$$

Quando foi calculada a porcentagem de átomos de ^{15}N em excesso, subtraiu-se do valor obtido a variação natural, que foi de 0,366%. Este valor confere com os da literatura para sistemas que nunca sofreram processos de enriquecimento (Hoering, 1955, citado por PROKSCH, 1972).

3.8. Cálculo da Eficiência de Utilização do Fertilizante Nitrogenado

Através do cálculo do nitrogênio na planta proveniente do fertilizante, podemos visualizar a fração do fertilizante nitrogenado presente no órgão analisado que derivou do fertilizante. Este cálculo é feito dividindo-se a porcentagem de átomos em excesso de ^{15}N presente no órgão analisado, pela porcentagem de átomos em excesso de ^{15}N no fertilizante, conforme indica a equação (4):

$$\text{NPPF (\%)} = \left(\frac{A^{15}\text{NO\%} - \text{VN\%}}{A^{15}\text{NF\%} - \text{VN\%}} \right) \times 100 \quad \dots\dots\dots (4)$$

onde: NPPF = porcentagem de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante;

$A^{15}\text{NO\%}$ = átomos por cento de ^{15}N presentes no órgão analisado;

$A^{15}\text{NF\%}$ = átomos por cento de ^{15}N presentes no fertilizante;

VN% = variação natural.

A eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado corresponde à porcentagem do nitrogênio aplicado que o órgão absorveu. Ela é obtida através da equação (5):

$$\text{EUFN \%} = \frac{\text{NPPF \%} \times \text{NTP}}{\text{NTAS}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

onde: NTP = nitrogênio total na planta (ou no órgão analisado), em mg;

NTAS = nitrogênio total aplicado no solo, em mg.

3.9. O Valor A do Solo

Assumindo que as plantas absorvem nutrientes de duas fontes diferentes, do fertilizante e do solo, o valor A permite estimar as reservas do nutriente em estudo no solo, em comparação com a fonte utilizada (FRIED e DEAN, 1952).

O seu cálculo pode ser efetuado através da equação (6):

$$A = \frac{B (1 - y)}{y} \dots\dots\dots (6)$$

onde: A = total do nutriente disponível no solo;

B = total do adubo (marcado) aplicado no solo;

y = fração do nutriente na planta derivada do fertilizante.

Este valor permite comparar o fornecimento do nitrogênio do solo pelos diversos tratamentos.

Para o cálculo dos valores A deste trabalho, foi considerada uma massa de 3 kg e uma adubação de 300 mg N/vaso, na forma de uréia.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. O Solo

O Latossol Vermelho Escuro utilizado, possui textura argilosa com baixo teor de matéria orgânica e, desta forma, com baixo teor de nitrogênio total. A soma de suas bases (Ca + Mg + K + Na) também é baixa, assim como sua capacidade de troca catiônica e o seu teor de fósforo. O pH de 5,7, quando a maioria dos solos de cerrado tem pH igual ou inferior a 5, mostra que este solo já foi cultivado anteriormente (Tabela 1).

A relação Ca^{++}/Mg^{++} de 2,8, quando a literatura mostra que o normal está entre 5 e 8, sugere deficiência de cálcio ou excesso de magnésio (BUCKMAN e BRADY, 1969). A relação Ca^{++}/K^{+} também está um pouco acima da normalidade e a Mg^{++}/K^{+} bastante acima, conforme pode ser visto na Tabela 5. Ao compararmos os níveis dos nutrientes do solo em estudo (Tabela 1), com os apresentados como normais por GALRÃO e LOPES (1979), para solos de cerrado, notamos que o potássio está no seu nível crítico, enquanto que o cálcio e o magnésio estão bem acima dele. Como os teores dos nutrientes não estão abaixo dos níveis críticos, a adubação fornecida teve

TABELA 5 - Relações catiônicas no solo em estudo.

Solo	$\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$	$\text{Ca}^{++}/\text{K}^{+}$	$\text{Mg}^{++}/\text{K}^{+}$	Observações
Referência (*)	5-8	14-16	1,8-2,5	normal
L.E.	2,8	20,6	7,3	deficiente em Ca e K

(*) Solo padrão (BUCKMAN e BRADY, 1969)

o objetivo de levar a relação dos nutrientes para níveis mais adequados. Interações entre nutrientes ocorrem no solo ou na planta, alterando a nutrição desta. O conhecimento deste problema é importante para fornecer adequadamente os nutrientes, para que haja um desenvolvimento adequado das culturas (OLIVEIRA, 1980). De acordo com GALRÃO e LOPES (1979), os níveis críticos para o cerrado, para o Ca, é 1,5 meq/100 cc; para o Mg é 0,5 meq/100 cc; para o K, 0,15 meq/100 cc.

4.2. Produção de Matéria Seca

A análise da produção de matéria seca, tanto para o sistema radicular como para a parte aérea, mostrou que não houve diferença significativa entre os tratamentos mais úmidos (0,1-0,3 atm) (Tabela 6). Isso, de uma certa forma, parece lógico, uma vez que o nível de água do solo foi mantido sempre próximo à capacidade de campo. A vermiculita, nessas condições, não afetou positivamente os rendimentos, o que era esperado. Embora não significativo, houve um aumento (14%) do sistema radicular, quando o nível de vermiculita era de 10%. Já, na parte aérea, esse incremento não foi notado. Quando foi usada a dose de 2%, houve uma ligeira diminuição da matéria seca, não significativa, tanto para o sistema radicular como para a parte aérea. Estes resultados sugerem uma fixação de nutrientes, a baixas concentrações, deste condicionador.

Isto poderia ser explicado da seguinte forma: com 10%, ter-se-ia um maior teor de água, e embora a solução do solo fosse mais

TABELA 6 - Efeito dos tratamentos na produção de matéria seca da parte aérea, do sistema radicular e no consumo de água em cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.), variedade "carioca comum", em Latossol Vermelho Escuro.

Tratamento nº	Vermiculita (% vol.)	Tensão (atm)	Calagem mEq Ca/100g solo	Prod. Mat. Seca		Consumo de Água		Razão de Transp. m ^l /g de MS
				Raízes	Parte Aérea	m ^l	Número de Aplicações	
1	0	0,1-0,3	2	1,88a	9,09a	4600	23	419,32
2	2	0,1-0,3	2	1,68ab	8,05a	4550	20	467,62
3	10	0,1-0,3	2	2,15a	9,07a	4500	18	401,07
4	0	0,1-0,7	2	1,38b	5,87bc	3000	12	413,79
5	2	0,1-0,7	2	1,47b	5,50c	3025	11	434,00
6	10	0,1-0,7	2	1,94a	6,85b	3600	12	408,62
7	0	0,1-0,7	0	1,34b	6,24b	2750	11	362,80
8	10	0,1-0,7	0	1,83a	8,41a	3300	11	322,26
9	10	0,1-0,7	2 ⁽¹⁾	1,14b	3,93d	2400	8	473,37

(1) teor da adubação potássica: 126 ppm.

diluída, a quantidade de íons presentes aumentaria com os íons liberados pela vermiculita. Já, com 2%, haveria um aumento na retenção de água e a liberação de íons seria muito pequena, o que, na realidade, equivaleria a uma diluição da solução do solo.

Nos tratamentos que foram submetidos a um regime hídrico mais severo (0,1 - 0,7 atm), o efeito da vermiculita foi significativo, tanto para a parte aérea como para o sistema radicular. Esse efeito foi bastante interessante, pois, quando se aplicaram 10%, o rendimento foi, respectivamente, 1,32 e 1,41 vezes maior do que quando se aplicou 0 e 2%. Isso mostra que a vermiculita, aplicada a 10%, garantiu um fornecimento de água adequado às plantas, ou seja, estatisticamente igual aos tratamentos onde foram respeitados os limites de 0,1 a 0,3 atm.

Dois dos tratamentos tinham 10% de vermiculita e água entre 0,1 e 0,7 atm, diferindo apenas no que diz respeito à calagem, que estava ausente em um deles.

Na ausência de calagem, a produção de raízes foi ligeiramente inferior, mas não significativamente. Isso, provavelmente ocorreu, devido à ausência do Ca que não diminuiu a alta saturação em hidrogênio, que é um fator limitante ao desenvolvimento radicular desta cultura (SCHMEL *et alii*, 1967; PEARSON e ADAMS, 1967; GOODLAND, 1971; LOPES, 1975).

Mostrando uma aparente contradição, o desenvolvimento da parte aérea foi menor na presença de calagem. A explicação pode

estar no fato da calagem ter elevado o pH do solo a 6,98, diminuindo a disponibilidade de micronutrientes, que frequentemente ocorre neste tipo de solo.

Ao comparar os tratamentos mais úmidos com os mais secos, vimos que os primeiros foram significativamente melhores, com exceção do tratamento mais seco, que tinha 10% de vermiculita.

É importante ressaltar que o uso de condicionador do solo não promoveu economia de água, porém, permitiu um espaçamento ligeiramente maior entre as regas nos tratamentos mais úmidos, onde houve uma diminuição de 23 para 18 regas, quando foram adicionados 10% de vermiculita. Aparentemente, isso não ocorreu nos tratamentos mais secos. Quando analisamos o volume de água gasto para produzir um grama de matéria seca, vimos que nos tratamentos com calagem, este volume praticamente não variou. Como a produção foi crescente em função dos níveis de vermiculita, e o número de regas foi o mesmo, podemos concluir que a vermiculita permitiu uma maior produção de matéria seca, armazenando um maior volume de água dentro do mesmo intervalo de tensão.

A partir destes dados, podemos concluir que, com este condicionador, seria permitida uma diminuição na frequência de irrigação, o que levaria, em condições de campo, a menores custos de instalação ou ao aumento da área irrigada

Nos dois tratamentos sem calagem, onde foram usados 0 e 10%

de vermiculita, o volume de água gasto para produzir um grama de matéria seca foi bem menor do que nos tratamentos com calagem. A ausência de cálcio, que influencia a transpiração através da sua atuação na permeabilidade das membranas celulares, favorecendo-a, deve ter influenciado nesse menor gasto de água (Tabela 6). A menor absorção do cálcio está evidenciada na Tabela 7, onde se vê que estes tratamentos absorveram doses significativas menores do que os outros tratamentos.

4.3. Adubação Nitrogenada

Nas Tabelas 8, 9 e 10, temos aspectos da eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (EUFN) e, neles não são encontradas diferenças marcantes na absorção e distribuição do nitrogênio em função dos níveis de água e da aplicação de vermiculita.

Como serão feitas considerações sobre a EUFN e a fração de nitrogênio cedida pelo solo, será introduzido o conceito de valor A do solo para o nitrogênio. Quando uma planta está em presença de duas fontes de um mesmo nutriente no solo, ela absorverá o nutriente de cada uma delas na proporção direta de suas quantidades disponíveis (FRIED e DEAN, 1952). Este conceito está sujeito a certas limitações, pois, de acordo com ele, não deveria haver troca isotópica no solo, o solo deveria apresentar baixa capacidade de fixação e o manejo da cultura ótimo (NEPTUNE e MURAOKA, 1978).

TABELA 7 - Quantidade de macronutrientes em mg/vaso, extraídos pela parte aérea + sistema radicular do feijoeiro, em todos os tratamentos.

Trat. nº	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Enxofre
1	383,986a	36,966a	338,552a	287,816a	45,560cd	35,186a
2	334,950ab	30,788abc	289,804ab	271,448a	53,572bc	30,626b
3	327,088abc	34,684ab	269,610ab	260,712ab	72,918a	35,646a
4	272,172cd	24,282cd	249,646ab	246,650abc	33,912de	21,726c
5	251,498de	22,286cd	219,358bc	200,318cd	34,504de	22,922c
6	299,934bcd	26,520bc	258,420ab	213,872bcd	60,386abc	28,174b
7	297,648bcd	24,400cd	213,972bc	142,982e	27,118e	20,360c
8	363,902a	35,046ab	319,186a	169,282de	62,368ab	29,644b
9	201,334e	16,522d	138,360c	132,786e	33,118de	13,682d
Teste F	19,73**	10,29**	8,30**	23,04**	21,15**	69,64**
D.M.S. (Tukey 5%)	59,774	9,980	97,802	55,288	16,226	4,087
CV (%)	9,423	17,094	18,350	12,366	16,497	7,398

Valores seguidos da mesma letra não diferem significativamente (5%).

TABELA 8 - Nitrogênio nas raízes e eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado pelo sistema radicular do feijoeiro.

Trata- mento nº	Matéria Seca g/vaso	Nitrogênio Total		¹⁵ N	N P P F (*)		EUFN(**)
		%	mg/vaso	átomos %	%	mg/vaso	%
1	1,88	2,96	55,44	6,432	61,43	34,10	11,37
2	2,60	2,60	42,99	5,829	55,33	23,91	7,97
3	2,15	2,75	59,14	5,760	54,63	32,24	10,75
4	1,38	2,57	35,65	5,819	55,23	19,70	6,57
5	1,47	2,59	37,21	5,769	54,72	20,42	6,80
6	1,94	2,28	43,37	5,761	54,64	23,72	7,91
7	1,35	3,08	41,54	6,812	65,29	27,07	9,02
8	1,83	2,60	47,40	6,701	64,15	30,41	10,41
9	1,14	2,89	32,72	6,580	62,93	20,61	6,87

(*) Nitrogênio na planta proveniente do fertilizante

(**) Eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado

TABELA 9 - Nitrogênio na parte aérea e eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado pela parte aérea do feijoeiro.

Tratamento nº	Matéria Seca g/vaso	Nitrogênio Total		¹⁵ N átomo %	N P P F (*)		EUFN(**) %
		%	mg / vaso		%	mg / vaso	
1	9,09	3,51	318,86	6,686	64,00	204,07	68,01
2	8,05	3,60	291,95	6,063	57,70	170,81	56,94
3	9,07	2,96	269,96	6,038	57,70	154,34	51,44
4	5,87	4,00	235,24	6,186	58,94	139,03	46,34
5	5,50	3,95	217,14	6,309	60,19	130,88	43,63
6	6,85	3,75	256,55	6,419	61,30	157,02	52,34
7	6,24	4,27	266,11	7,197	69,18	183,74	61,24
8	8,41	3,82	320,75	7,371	70,94	227,70	37,96
9	3,93	4,29	168,62	6,964	66,86	112,59	37,53

(*) Nitrogênio na planta proveniente do fertilizante

(**) Eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado

TABELA 10 - Eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado pelo sistema radicular, parte aérea, total do feijoeiro e valor A do solo, nos diversos tratamentos.

Trat. nº	Vermiculita % volume	Tensão atm	Calagem mEq/100g solo	Potássio ppm	EUFN Sist. Rad. %	EUFN P. Aérea %	EUFN Total %	Mat. Seca Total g	Valor A
1	0	0,1-0,3	2	200	11,37	68,01	79,38	10,97	171,47
2	2	0,1-0,3	2	200	7,97	56,94	64,91	9,73	216,03
3	10	0,1-0,3	2	200	10,75	51,44	62,19	11,22	229,16
4	0	0,1-0,7	2	200	6,57	46,44	53,01	7,25	180,34
5	2	0,1-0,7	2	200	6,80	43,63	50,43	6,97	204,21
6	10	0,1-0,7	2	200	7,91	52,34	60,25	8,79	197,82
7	0	0,1-0,7	0	200	9,02	61,24	70,26	7,59	137,82
8	10	0,1-0,7	0	200	10,41	37,96	48,37	10,24	127,90
9	10	0,1-0,7	2	126	6,87	37,53	44,40	5,07	153,47

Nos tratamentos mais úmidos houve uma tendência à diminuição da EUFN, em função das doses crescentes de vermiculita. Esse fato mostra um melhor aproveitamento do nitrogênio do solo, talvez devido ao sistema radicular mais desenvolvido do tratamento com 10% do condicionador. Além disso, existe a possibilidade do nitrogênio ser utilizado por culturas subsequentes como efeito residual. Os valores A do solo para cada tratamento (Tabela 10) permitem visualizar melhor esse comportamento. Como o nitrogênio é absorvido por fluxo de massa (MALAVOLTA, 1976), podemos verificar que no tratamento sem calcário e sem vermiculita tivemos o mais baixo valor A do solo, devido à baixa taxa de transpiração, provavelmente causada pela deficiência de cálcio no solo. A melhor EUFN no tratamento sem calagem, mas com 10% de vermiculita, pode ter sido causada pela ação do cálcio liberado pela vermiculita na atividade radicular.

No que se refere ao nitrogênio residual do fertilizante no solo após a cultura, vê-se que a maior parte encontra-se na forma orgânica (Tabela 11).

O nitrogênio mineral tende a diminuir com o aumento da dose de vermiculita, principalmente nos tratamentos mais secos, indicando uma provável retenção de amônia (RUSSELL e FRASER, 1977). Estudos nesse sentido tornam-se necessários para verificar se este processo é reversível. Se ele assim o fosse, seria muito interessante como fonte de N-amoniaco para a próxima cultura. A fixação também poderia indicar uma diminuição nas perdas por lixiviação. O balanço do fertilizante nitrogenado (Tabela 12) também indica uma fixação do nitrogênio mineral pela vermiculita. Esta quantidade está indicada na coluna "não determinado", que é a quantidade que falta para fechar o balanço. As possibilidades de perda são remotas porque, a-

TABELA 11- Nitrogênio mineral e nitrogênio total no solo proveniente do fertilizante.

Trat. nº	N M S P F(*)		N T S P F(**)	
	\bar{M}	Signif.	\bar{M}	Signif.
1	8,715	b	28,625	b
2	31,125	ab	43,300	b
3	5,740	b	34,295	b
4	42,855	a	63,495	b
5	13,240	b	45,865	b
6	3,800	b	55,550	b
7	19,345	ab	57,365	b
8	18,555	ab	55,720	b
9	4,945	b	147,230	a
Teste F	7,07**		21,57**	
D.M.S. (Tukey 5%)	27,875		42,154	
CV (%)	42,715		18,028	

Valores seguidos da mesma letra não diferem significativamente (5%).

(*) Nitrogênio mineral no solo proveniente do fertilizante

(**) Nitrogênio total no solo proveniente do fertilizante

TABELA 12 - Balanço de nitrogênio no sistema solo-planta, no final da cultura, utilizando-se da variação isotópica ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$).

T	Verm.	$\psi_{\text{H}_2\text{O}}$ (-atm)	N. Fornec. (mg/vaso)	N Planta (mg/vaso)	N no Solo (mg/vaso)		
					Determinado		Não Det.
					N-MIN	N- \bar{N} MIN	
1	0	0,1-0,3	300	238,17	8,71	19,91	33,21
2	2	0,1-0,3	300	194,72	31,12	12,17	61,99
3	10	0,1-0,3	300	186,58	5,74	28,55	79,13
4	0	0,1-0,7	300	158,73	42,85	20,64	77,78
5	2	0,1-0,7	300	151,30	13,24	32,62	102,84
6	10	0,1-0,7	300	180,74	3,80	51,75	63,71
7 ⁽¹⁾	0	0,1-0,7	300	210,81	19,34	38,02	31,83
8 ⁽¹⁾	10	0,1-0,7	300	258,11	18,55	37,16	-13,82
9 ⁽²⁾	10	0,1-0,7	300	133,20	4,94	142,28	19,58

(1) Sem calagem

(2) 136 ppm de K

TABELA 13 - Quantidade dos micronutrientes, alumínio e sódio, extraída pela parte aérea + sistema radicular do feijoeiro, em todos os tratamentos (mg/vaso).

Trat. nº	Ferro	Cobre	Manganês	Alumínio	Boro	Sódio	Zinco
1	24,481b	0,0794abc	2,0368a	31,234c	0,2378a	14,110a	3,737a
2	45,565ab	0,0900abc	1,5596ab	42,815bc	0,2406a	10,079ab	2,996a
3	45,305ab	0,0954ab	1,1886bcd	52,505bc	0,2200a	11,456ab	3,237a
4	31,804b	0,0660bc	1,2108bcd	39,678bc	0,1720ab	9,262ab	3,312a
5	41,642ab	0,0720bc	0,7318cd	50,286bc	0,1700ab	8,834ab	1,939ab
6	79,808a	0,1096a	1,1468bcd	96,748a	0,1852ab	12,508a	2,376ab
7	40,227b	0,0714bc	1,8130ab	49,978bc	0,1710ab	10,406ab	1,952ab
8	57,143ab	0,0974ab	1,3800abc	69,333ab	0,2162a	11,814ab	2,207ab
9	37,166b	0,0578c	0,5512d	44,050bc	0,1040b	6,586b	0,792b
F	3,77**	5,85**	7,84**	5,85**	5,85**	3,33**	4,76**
DMS	38,511	0,0327	0,7927	33,598	0,083	5,680	1,945
CV %	41,148	19,1001	29,3914	33,979	20,9364	25,742	37,161

Valores seguidos da mesma letra não diferem significativamente (5%).

lêm do fundo fechado dos vasos, as perdas por denitrificação ou volatilização não deverão ter ocorrido pelas condições experimentais mantidas. Terman (1979) fez uma revisão sobre perdas por volatilização de fertilizantes nitrogenados. As perdas de $N-NH_3$ são praticamente eliminadas, em solos ácidos quando o adubo é colocado a mais de 5 cm de profundidade. No caso deste trabalho, a incorporação da solução contendo uréia se deu de forma uniforme por todo o volume, o que reforça a afirmação acima. O mesmo autor afirma que em solos alcalinos, mesmo colocando adubo abaixo da superfície, as perdas de N por volatilização são diminuídas, mas não eliminadas totalmente. Esta quantidade não determinada, provavelmente, não foi retirada pelo extrator durante a extração do N-mineral, e deve estar presente na vermiculita.

4.4. Absorção de Nutrientes

Nas Tabelas 7 e 13 são apresentados os resultados das análises de macro e micronutrientes absorvidos pela planta inteira (mg/vaso). Com relação aos macronutrientes, observou-se que nos tratamentos úmidos, a absorção destes foi maior do que nos tratamentos secos, com um visível efeito de que a alta dose de aplicação de vermiculita diminuiu a quantidade absorvida desses nutrientes nos tratamentos úmidos de modo não significativo. Porém, o inverso se observa nos tratamentos mais secos. Esse comportamento mencionado torna-se mais notório no caso do nitrogênio, o qual pode obedecer a possíveis problemas de imobilização ou fixação, que diminuiu a EUFN, conforme discussão anterior. A fixação de amônio, potássio e outros íons de raio iônico semelhante pela vermiculita e outras argilas 2:1, é reportada por Sippola *et alii* (1973), citados por MENGEL e KIRKBY (1978) e SOWDEN *et alii* (1978). No que diz respeito aos micronutrientes (Tabela 8), observa-se que a vermiculita favoreceu a absorção de cobre e ferro, e mostrou uma

tendência a diminuir a absorção de zinco e manganês. A absorção de boro parece estar mais relacionada com a disponibilidade de água. Este mesmo comportamento se verifica para o cobre, onde a vermiculita, no tratamento mais seco, pode ter retardado problemas de déficit de água, o que favoreceu o rendimento. O tratamento com 63% da dose de potássio foi o que menos absorveu manganês, boro e zinco, mas, no caso dos dois primeiros, obedeceu ao baixo rendimento, uma vez que a concentração destes nutrientes na parte aérea não diferiu dos outros tratamentos. O baixo rendimento deste tratamento foi acompanhado da baixa concentração de zinco.

4.5. O Solo Após a Cultura

Na Tabela 14 são apresentados os valores médios de cátions trocáveis, Ca, Mg, K e suas relações no solo após a cultura, para cada tratamento.

Os teores de cálcio e potássio estavam acima dos níveis críticos em todos os tratamentos, o que não aconteceu com o magnésio que, nos tratamentos sem vermiculita, estavam abaixo do nível crítico reportado por GALRÃO e LOPES (1979) para estes tipos de solos.

A calagem influenciou significativamente no teor de cálcio trocável, aumentando-o de tal forma, que nos tratamentos sem vermiculita provocou um desbalanço com o magnésio. Esse desbalanço pode ser visualizado na relação Ca/Mg que, nesses tratamentos, subiu para 14,40 nos tratamentos mais úmidos e 11,67 no tratamento mais seco.

Com relação ao magnésio, observou-se que houve um incremento notório nos teores de magnésio trocável com a aplicação da vermiculita. Estes teores foram praticamente o dobro e o quádruplo quando foram adicionados 2 e 10% de vermiculita, respectivamente.

O potássio esteve sempre acima dos níveis críticos, mesmo quando foi aplicada uma dose menor de potássio. De uma maneira geral, os tratamentos mais secos apresentaram maior teor de potássio trocável, o que pode estar relacionado com o menor rendimento obtido nestes tratamentos.

A vermiculita, ao alterar a concentração de magnésio, alterou o balanço das relações catiônicas que, como se sabe, influi de maneira decisiva na disponibilidade destes cátions. Interações entre eles, afetando sua disponibilidade, são amplamente conhecidas (OLIVEIRA, 1980).

O baixo rendimento de matéria seca, no tratamento com 63% da dose normal de potássio, não foi devido à deficiência deste nutriente, uma vez que as relações catiônicas estavam dentro dos limites da normalidade. Isto pode ser comprovado na Tabela 14, onde se nota que a concentração deste elemento não diferiu significativamente dos outros tratamentos. O baixo rendimento obtido pode estar relacionado à deficiência de outro nutriente, o qual, possivelmente, seja o zinco, cuja concentração (Tabela 9) é significativamente menor neste tratamento.

TABELA 14 - Cátions trocáveis e relações catiônicas no solo após a cultura.
(média de 5 repetições).

Tratamento nº	Verm. (% Vol.)	ψ_{H_2O} (-atm)	Ca ²⁺ -- meq/100 g solo --	Mg ²⁺	K ²⁺	Relações de Cátions		
						Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
1	0	0,1-0,3	4,62	0,32	0,21	14,40	22,00	1,50
2	2	0,1-0,3	5,40	0,75	0,47	7,20	11,49	1,60
3	10	0,1-0,3	5,40	1,40	0,22	3,86	24,54	6,36
4	0	0,1-0,7	5,95	0,51	0,36	11,67	16,53	1,42
5	2	0,1-0,7	5,75	0,83	0,36	6,93	15,97	2,31
6	10	0,1-0,7	6,45	1,61	0,33	4,01	19,55	4,88
7	0 ⁽¹⁾	0,1-0,7	3,39	0,45	0,38	7,53	8,92	1,18
8	10 ⁽¹⁾	0,1-0,7	4,00	1,41	0,33	2,84	12,12	4,27
9	10 ⁽²⁾	0,1-0,7	6,71	1,63	0,33	4,12	20,33	4,94

(1) Sem calagem

(2) 1/2 dose de K₂O

TABELA 15- Teor de potássio (em %) e de zinco (em ppm) encontrados no sistema radicular e parte aérea.

Tratamento nº	% potássio		ppm zinco	
	R	PA	R	PA
1	2,808ab	3,148ab	77,000a	393,400ab
2	2,564ab	3,040ab	51,600b	351,200ab
3	2,438ab	2,378b	67,200ab	391,000ab
4	1,658bc	3,752a	68,400ab	550,600a
5	2,866a	3,222ab	50,600b	340,000ab
6	1,952abc	3,260ab	55,800b	415,800ab
7	2,802ab	2,896ab	61,000ab	303,800ab
8	2,234abc	3,310ab	59,200ab	252,200b
9	1,122c	3,196ab	59,000ab	184,800b
Teste F	5,38**	1,69 N.S.	4,36**	2,80**
D.M.S. (Tukey 5%)	1,199	1,319	19,029	291,041
CV (%)	25,271	20,140	14,908	39,388

Valores seguidos da mesma letra não diferem significativamente (5%).

5. CONCLUSÕES

Com base nos dados obtidos e nas análises efetuadas, podemos tirar as seguintes conclusões:

1. sob regime hídrico mais severo (0,1-0,7 atm), a vermiculita aplicada na taxa de 10% em volume garantiu um fornecimento adequado de água e nutrientes. Neste tratamento, a produção de matéria seca foi estatisticamente igual aos tratamentos mais úmidos (0,1-0,3 atm);

2. a vermiculita não promoveu economia de água, porém, o seu uso diminuiu a frequência de irrigação, nos tratamentos mais úmidos;

3. a razão de transpiração (volume de água gasto/ massa de matéria seca) foi mais alta nos tratamentos que receberam calagem;

4. nos tratamentos mais úmidos, a maior dose de vermiculita diminuiu a EUFN, promovendo a absorção do nitrogênio do solo;

5. o nitrogênio mineral residual proveniente do fertilizante,

no solo, diminuiu com o aumento das doses de vermiculita;

6. a vermiculita favoreceu a absorção de cobre e ferro, e mostrou uma tendência a diminuir a absorção de manganês;

7. a calagem influenciou significativamente no teor de cálcio trocável, aumentando-o de tal forma que nos tratamentos sem vermiculita, provocou um desbalanço com o magnésio;

8. a vermiculita aumentou significativamente o teor de magnésio trocável;

9. a vermiculita, ao provocar o aumento na concentração de magnésio, fez com que esse elemento alterasse o balanço das relações cationicas.

6. LITERATURA CITADA

- BOLLARD, E.G. e E.W. BUTLER, 1966. Mineral nutrients of plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, Stanford, 17: 77-112.
- BUCKMAN, H.O. e N.C. BRADY, 1969. *The nature and properties of soils*. London, Mac Millan. 28 p.
- BUNT, A.C., 1974. Some physical and chemical of loamless pot-plant substrates and their relation to plant growth. *Mededelingen Landbouwwetenschappen*, Gent, 38(4): 1954-1965.
- CASTOLL, L.A., 1963. Vermiculite as a chemical carrier in agriculture. *Canadian Farm Implements*, June.
- De BOODT, M., 1975. Use of soil conditioner around the world. *In: STEWART, B.A., ed. Soil conditioners*. Madison, Soil Science Society of American. p. 1-12 (SSSA Special Publications Series, nº 7).
- ESPINOSA, W.G., 1979. Manejo da cultura visando a um melhor aproveitamento da água nos cerrados. *In: V SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO: USO E MANEJO*, 5º, Brasília, 12-16 fevereiro. *Anais*. Brasília, Editerra p. 675-729.

- EVANS, C.E. e E.J. KAMPRATH, 1970. Lime response as related to percent Al saturation, solution Al and organic matter content. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, Ann Arbor, 34: 893-896.
- EVERETT, J.D. e R. ELLIS JR., 1962. Potassium ion fixation, equilibria and lattice changes in vermiculite. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, Ann Arbor, 26: 230-233.
- FOY, C.D. e J.C. BROWN, 1963. Toxic factors in acid soils I. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, Ann Arbor, 27: 403-407.
- FOY, C.D. e J.C. BROWN, 1964. Toxic factors in acid soils II. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, Ann Arbor, 28: 27-32.
- FOY, C.D.; W.H. ARMIGER; A.L. FLEMING e W.J. ZAUMEYER, 1967. Differential tolerance of dry bean, snap bean and lima bean varieties to an acid soil high in exchangeable aluminium. *Agron. J.*, Madison, 59: 561-563.
- FRIED, M. e L.A. DEAN, 1952. A concept concerning the measurement of available soil nutrients. *Soil Sci.*, Baltimore, 73: 263-271.
- GALRÃO, E.Z. e A.S. LOPES, 1979. Deficiências nutricionais em solos de cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO: USO E MANEJO, 5º, Brasília, 12-16 fevereiro. *Anais*. Brasília, Editerra, p. 595-614.
- GARGANTINI, H.; F.A.S. COELHO; F. VERLENGIA e E. SOARES, 1970. Levantamento de fertilidade de solos de São Paulo. IAC, Campinas, SP.
- GOEDERT, W.J., 1979. Uso e manejo dos recursos naturais do cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO: USO E MANEJO, 5º, Brasília, 12-16 de fevereiro. *Anais*. Brasília, Editerra, p. 475-498.

- GONZALEZ-ERICO, E.; E.J. KAMPRATH; G.C. NADERMAN e W.V. SOARES, 1979.
Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn on an
oxisol of Central Brazil. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, Ann Arbor, 43:
1155-1158.
- GOODLAND, R., 1971. Oligotrofismo e alumínio no cerrado. In: SIMPÓSIO
SOBRE O CERRADO, 3ª, São Paulo, 15-16 de janeiro. *Anais*. São Paulo,
Edgar Blucher e EDUSP, p. 44-60.
- JACKSON, M.L., 1963. Aluminium bond in soil: a unifying principle in soil
science. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, Ann Arbor, 27: 1-10.
- JACKSON, M.L., 1976. Análisis químico de suelos. 3a. ed. Barcelona,
Omega. 662 p.
- JOHNSON, R.E. e W.A. JACKSON, 1964. Calcium uptake and transport by wheat
seedlings as affected by aluminium. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, Ann
Arbor, 28: 381-386.
- KILMER, V.J. e V.T. ALEXANDER, 1949. Methods of making mechanical analysis
of soils. *Soil Science*, Baltimore, 68: 15-26.
- KLEPPER, B. e H.M. TAYLOR, 1979. Limitations to current models describing
water uptake by plant root systems. In: HARLEY, J.L. e R.S. RUSSEL,
eds. *The soil root interface*, 51-65. Academic Press, London.
- LOBATO, E. e K.D. RITCHEY, 1979. Manejo do solo visando a melhorar o
aproveitamento da água. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO: USO E MANEJO,
5ª, Brasília, 12-16 fevereiro. *Anais*. Brasília, Editerra, p. 645.
- LOPES, A.S., 1975. A survey of the fertility status under "cerrado" vegetation
in Brazil. Raleigh, North Carolina State University. 138 p. (Thesis).

- LOPES, A.S. e F.R. COX, 1978. Outreach study of properties of "cerrado" soils. *In: NCSU. Annual Report for 1976-1977.* p. 149-180.
- MALAVOLTA, E., 1976. *Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo.* São Paulo, Ceres. 528 p.
- MALAVOLTA, E., 1981. *Manual de química agrícola: adubos e adubação.* 3a. ed. São Paulo, Ceres. 594 p. (Ceres, nº 1).
- MCCART, G.D. e E.J. KAMPRATH, 1965. Supplying Ca and Mg for cotton on sandy, low cation exchange capacity soils. *Agron. J.*, Madison, 57: 404-406.
- MCLEAN, E.O., 1976. Chemistry of soil aluminium. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, New York, 7: 619-636.
- MENGEL, K. e E.A. KIRKBY, 1978. *Principles of plant nutrition.* Bern, International Potash Institute. 593 p.
- MEUER, E.J.; A.E. LUDWICK e W.R. RUSSOW, 1971. Effects of liming and phosphorus on zinc uptake from four soils of Brazil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, New York, 2: 321-327.
- MIRANDA, L.N. e E. LOBATO, 1979. Tolerância de variedades de feijão e de trigo ao Al e à baixa disponibilidade de fosfato no solo. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 2: 44-50.
- NCSU, 1973. Research in the campo cerrado of Brazil. *Annual Report for 1973*, p. 31-35.
- NEPTUNE, A.M.L. e T. MURAOKA, 1978. Uso de isótopos em química, física e fertilidade do solo. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 2(3): 151-163.
- NYE, P.; D. CRAIG; N.T. COLEMAN e G.L. RAGLAND, 1961. Ion exchange equilibria involving aluminium. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, Ann Arbor, 25: 14-17.

- OLIVEIRA, I., 1980. Efeitos do alumínio e de micronutrientes no feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*). Piracicaba, ESALQ/USP, 196 p. (Tese de Doutorado).
- PAGE, A.L.; W.D. BURGE e T.J. GANJE, 1967. Potassium and ammonium fixation by vermiculite soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, Ann Arbor, 31: 337-341.
- PATERSON, J.W., 1965. The effect of aluminium on the adsorption and translocation of calcium and other elements in young corn stock. *In: Diss. Abstr.*, 25: 6142-6143.
- PEARSON, R.W. e F. ADAMS, 1967. *Soil acidity and liming*. Madison, American Society of Agronomy. 274 p.
- PEARSON, R.W., 1975. Soil acidity and liming in the humid tropics. *Cornell Int. Agr. Bull.*, 30 (citado por SANCHEZ, 1976).
- PROKSCH, G., 1972. Application of mass and emission spectrometry for $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ ratio determinations in biological material (Dumas method). *In: IAEA. Isotopes and radiation in soil-plant relationships including forestry*. Vienna, p. 217-225.
- RAMAKUSHNAN, P.S., 1968. Nutritional requirements of the edaphic ecotypes in *Melilotus alba* medic II: aluminium and manganese. *New Phytol.*, London, 67: 301-308.
- RANZANI, G., 1971. Solos do cerrado do Brasil. *In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO*, 3º, São Paulo, 15-16 janeiro. *Anais.* São Paulo, Edgar Blucher e EDUSP. p. 26-43.
- REEVE, N.G. e M.E. SUMMER, 1972. A melioration of subsoil acidity in Natal Oxisols by leaching of surface applied amendments. *Agrochemophysica*,

- Pretoria, 4: 1-4.
- REICHARDT, K., 1981. Soil physico-chemical conditions and the development of roots. In: RUSSEL, R.S.; K. IGUE e Y.R. MEHTA, eds. *The soil/root system in relation to Brazilian agriculture*. Londrina, IAPAR.
- RITCHEY, K.D.; O. CORREA; D. SOUZA e E. LOBATO, 1978. Movement of Ca and Mg. In: NCSU. *Annual Report for 1976-1977*. p. 98-100.
- RITTENBERG, D., 1946. The preparation of gas sample for mass spectrometric analysis. In: WILSON, D.W., ed. *Preparation and measure of isotopic tracers*. Ann Arbor. p. 31.
- RUSSEL, J.D. e A.R. FRASER, 1977. Ammonia-treated vermiculite - a possible controlled-release N-fertilizer. *J. Sci. Ed. Agric.*, London, 28: 852-854.
- SALATI, E.; K. REICHARDT e S. URQUIAGA C., 1980. Efeitos da adição de vermiculita na retenção e armazenamento de água por Latossolos. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 4: 125-131.
- SALINAS, J.G. e P.A. SANCHEZ, 1978. Tolerance to Al toxicity and low available P. In: NCSU. *Annual Report for 1976-1977*. p. 115-137.
- SCHMEHL, W.R.; M. PEECH e R. BRADFIELD, 1952. Influence of soil acidity on adsorption of calcium by alfafa as revealed by radio calcium. *Soil Sci.*, Baltimore, 73: 11-21.
- SIPPOLA, J.; R. ERVIU e R. ELLEVELD, 1973. The effects of simultaneous addition of ammonium and potassium on their fixation in some Finnish soils. *Annalis Agriculturae Fenniae*, Tikkurila, 12: 185-189.

- SIVAKUMAR, M.V.K.; H.M. TAYLOR e R.H. SHAW, 1977. Top and root relations of field-grown soybeans. *Agron. J.*, Madison, 69: 470-473.
- SOWDEN, F.J.; A.A. MacLEAN e G.J. ROSS, 1978. Native clay fixed ammonium content, and the fixation of added ammonium of soils of Eastern Canada. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, 58: 27-38.
- TAYLOR, H.M., 1981. Managing root system to reduce plant water deficits. In: RUSSEL, R.S.; K. IGUE e Y.R. MEHTA, eds. *The soil/root system in relation to Brazilian Agriculture*. Londrina, IAPAR. p. 45-60.
- TAYLOR, H.M.; A.C. MATHERS e F.B. LOTSPEICH, 1964. Pans in southern great plains soils. I. Why root restricting pan occur. *Agron. J.*, Madison, 56: 328-332.
- TERMAN, G.L., 1979. Volatilization losses of nitrogen as ammonia from surface-applied fertilizers, organic amendments and crop residues. *Advances in Agronomy*, New York, 31: 189-223.
- TOLBA, M.K., 1974. *Address to the world food conference*. Rome, 1974. Report, UNEP.
- TRIVELIN, P.C.O.; E. SALATI e E. MATSUI, 1973. Preparo de amostras para análise de ^{15}N por espectrometria de massa. Piracicaba, CENA. 41 p. (BT, nº 002).
- UNEP, 1977. The state of environment: "selected topics-1977". United Nations Environment Programme. Pergamon Press, p. 1-14.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR, 1980a. Bureau of mines minerals

yearbook vermiculite. Washington, p. 1-4.

UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR, 1980b. A chapter from mineral facts and problems. Bureaux of mines. Washington.

WEIR, C.C., 1974. Effect of lime and nitrogen application on citrus fields and on donurard movement of calcium and magnesium in a soil. *Tropical Agriculture*, London, 51: 230-234.

WILD, A. e J. KEAY, 1964. Cation exchange equilibria with vermiculite. *Journal of Soil Science*, London, 15: 135-144.

WOLF, J.M., 1975. Soil-water relations in oxisols from Puerto Rico and Brazil. In: BORNEMISZA, E. e A. AIVARADO, eds. *Soil management in Tropical America*. Raleigh, NCSU, 7: 145-154.

WOLF, J.M., 1977. Probabilidades de ocorrência de períodos secos na estação chuvosa para Brasília. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, 12: 141-150.

Á P Ê N D I C E

TABELA 16 - Resultados nas análises estatísticas da concentração de nitrogênio na parte aérea, em porcentagem, e da quantidade absorvida pela planta inteira (mg/vaso).

Parte Aérea

Causa da Variação	G.L	S.Q	Q.M	F	Nível %
Tratamentos	8	6,387112140	0,798389018	15,84**	0,00
Resíduo	36	1,814318900	0,050397747		
Total	44	8,201431040			

** - Ao nível de 1%, ao menos um contraste de médias difere de zero.
Coeficiente de variação = 5,90222549%

Teste Tukey para Tratamentos
DMS * 0,469054594

Tratamento 09 = 4,29000a
Tratamento 07 = 4,26800ab
Tratamento 04 = 3,99800abc
Tratamento 05 = 3,91000abc
Tratamento 08 = 3,81400bc
Tratamento 06 = 3,74800c
Tratamento 01 = 3,63600c
Tratamento 02 = 3,60400c
Tratamento 03 = 2,96400d

Total

Causa da Variação	G.L	S.Q	Q.M	F	Nível %
Tratamentos	8	129211,42	16151,42	19,73**	0,00
Resíduo	36	29464,15	818,44		
Total	44	158675,58			

** - Ao nível de 1%, ao menos um contraste de médias difere de zero.
Coeficiente de variação = 9,42271814%.

Teste Tukey 5% para Tratamentos
DMS = 59,7741764

Tratamento 01 = 383,98600a
Tratamento 08 = 363,90200a
Tratamento 02 = 334,95000ab
Tratamento 03 = 327,08800abc
Tratamento 06 = 299,93400bcd
Tratamento 07 = 297,64800bcd
Tratamento 04 = 272,17200cd
Tratamento 05 = 251,49800de
Tratamento 09 = 201,33400e

TABELA 17 - Resultados das análises estatísticas da concentração de fósforo na parte aérea, em porcentagem, e da quantidade absorvida pela planta inteira (mg/vaso).

Parte Aérea

Causa da Variação	G.L	S.Q	Q.M	F	Nível %
Tratamentos	8	0,008444441	0,001055555	0,27NS	97,15
Resíduo	36	0,140479999	0,003902222		
Total	44				

Coeficiente de variação = 17,9964764%

Teste Tukey 5% para Tratamentos

DMS = 0,130519027

Tratamento 09 = 0,36400a

Tratamento 08 = 0,36400a

Tratamento 04 = 0,35800a

Tratamento 01 = 0,35400a

Tratamento 05 = 0,35000a

Tratamento 07 = 0,34400a

Tratamento 02 = 0,33600a

Tratamento 06 = 0,32800a

Tratamento 03 = 0,32600a

Total

Causa da Variação	G.L	S.Q	Q.M	F	Nível %
Tratamento	8	1879,11913	234,88989	10,29**	0,00
Resíduo	36	821,40371	22,81676		
Total	44	2700,52284			

** - Ao nível de 1%, ao menos um contraste de médias difere de zero.

Coeficiente de variação = 17,0939316%

Teste Tukey 5% para Tratamentos

DMS = 9,98033028

Tratamento 01 = 36,96600a

Tratamento 08 = 35,04600ab

Tratamento 03 = 34,68400ab

Tratamento 02 = 30,78800abc

Tratamento 06 = 26,52000bc

Tratamento 07 = 24,40000cd

Tratamento 04 = 24,28200cd

Tratamento 05 = 22,28600cd

Tratamento 09 = 16,52200d

TABELA 18 - Resultados das análises estatísticas da concentração de potássio na parte aérea, em porcentagem, e da quantidade absorvida pela planta inteira (mg/vaso).

Parte Aérea

Causa da Variação	G.L	S.Q	Q.M	F	Nível %
Tratamentos	8	5,3878707	0,6734838	1,69NS	13,44
Resíduo	36	14,3385597	0,3982933		
Total	44	19,7264305			

Coefficiente de variação = 20,1402156%

Teste Tukey 5% para Tratamentos

DMS = 1,31861905

Tratamento 04 = 3,75200a

Tratamento 08 = 3,31000ab

Tratamento 06 = 3,26000ab

Tratamento 05 = 3,22200ab

Tratamento 09 = 3,19600ab

Tratamento 01 = 3,14800ab

Tratamento 02 = 3,04000ab

Tratamento 07 = 2,89600ab

Tratamento 03 = 2,37800b

Total

Causa da Variação	G.L	S.Q	Q.M	F	Nível %
Tratamentos	8	145680,33	18210,04	8,30**	0,00
Resíduo	36	78889,29	2191,36		
Total	44	224569,62			

** - Ao nível de 1%, ao menos um contraste de médias difere de zero.

Coefficiente de variação = 18,3504115%.

Teste Tukey 5% para Tratamentos

DMS = 97,8082776

Tratamento 01 = 338,55200a

Tratamento 08 = 319,18600a

Tratamento 02 = 289,80400ab

Tratamento 03 = 269,61000ab

Tratamento 06 = 258,42000ab

Tratamento 04 = 248,64600ab

Tratamento 05 = 219,35800bc

Tratamento 07 = 213,97200bc

Tratamento 09 = 138,36000c

TABELA 19 - Resultados das análises estatísticas da concentração de cálcio na parte aérea, em porcentagem, e da quantidade absorvida pela planta inteira (mg/vaso).

Parte Aérea

Causa da Variação	G.L	S.Q	Q.M	F	Nível %
Tratamentos	8	13,2727774	1,6590971	9,73**	0,00
Resíduo	36	6,1378798	0,1704966		
Total	44	19,4106573			

** - Ao nível de 1%, ao menos um contraste de médias difere de zero.
Coeficiente de variação = 14,507385%

Teste Tukey 5% para Tratamentos
DMS = 0,862731734

Tratamento 04 = 3,83200a
Tratamento 05 = 3,29000ab
Tratamento 02 = 3,11000ab
Tratamento 09 = 2,97000abc
Tratamento 06 = 2,89400bc
Tratamento 01 = 2,84800bc
Tratamento 03 = 2,59800bcd
Tratamento 07 = 2,15400cd
Tratamento 08 = 1,92000d

Total

Causa da Variação	G.L	S.Q	Q.M	F	Nível %
Tratamentos	8	129116,45	16139,55	23,04**	0,00
Resíduo	36	25207,24	700,20		
Total	44	154323,69			

** - Ao nível de 1%, ao menos um contraste de médias difere de zero.
Coeficiente de variação = 12,3659614%.

Teste Tukey 5% para Tratamentos
DMS = 55,2877956

Tratamento 01 = 287,81600a
Tratamento 02 = 271,44800a
Tratamento 03 = 260,71200ab
Tratamento 04 = 246,65000abc
Tratamento 06 = 213,87200bcd
Tratamento 05 = 200,31800cd
Tratamento 08 = 169,28200de
Tratamento 07 = 142,98200e
Tratamento 09 = 132,78600e

TABELA 20 - Resultados das análises estatísticas da concentração de magnésio na parte aérea, em porcentagem, e da quantidade absorvida pela planta inteira (mg/vaso).

Parte Aérea

Causa da Variação	G.L	S.Q	Q.M	F	Nível %
Tratamentos	8	0,488440011	0,061055001	7,02**	0,00
Resíduo	36	0,313039988	0,008695555		
Total	44	0,801479999			

** - Ao nível de 1%, ao menos um contraste de médias difere de zero.
Coeficiente de variação = 17,6833049%.

Teste Tukey 5% para Tratamentos
DMS = 0,194834782

Tratamento 09 = 0,68800a
Tratamento 03 = 0,64200ab
Tratamento 06 = 0,61200abc
Tratamento 08 = 0,57600abc
Tratamento 02 = 0,53400abcd
Tratamento 04 = 0,45600bcd
Tratamento 05 = 0,45400bcd
Tratamento 01 = 0,42400cd
Tratamento 07 = 0,36000d

Total

Causa da Variação	G.L	S.Q	Q.M	F	Nível %
Tratamentos	8	10206,33870	1275,79234	21,15**	0,00
Resíduo	36	2171,24033	60,31223		
Total	44	12377,57900			

** - Ao nível de 1%, ao menos um contraste de médias difere de zero.
Coeficiente de variação = 16,496619%.

Teste Tukey 5% para Tratamentos
DMS = 16,2263384

Tratamento 03 = 72,91800a
Tratamento 08 = 62,36800ab
Tratamento 06 = 60,38600abc
Tratamento 02 = 53,57200bc
Tratamento 01 = 45,56000cd
Tratamento 05 = 34,50400de
Tratamento 04 = 33,91200de
Tratamento 09 = 33,35400de
Tratamento 07 = 27,11800e

TABELA 21 - Resultados das análises estatísticas da concentração de enxofre na parte aérea, em porcentagem, e da quantidade absorvida pela planta inteira (mg/vaso).

Parte Aérea					
Causa da Variação	G.L	S.Q	Q.M	F	Nível %
Tratamentos	8	0,008560001	0,001070000	1,78NS	11,14
Resíduo	36	0,021519995	0,000597777		
Total	44	0,030079997			

Coefficiente de variação = 8,60897597%

Teste Tukey 5% para Tratamentos
DMS = 0,051084326

Tratamento 01 = 0,30800a
Tratamento 05 = 0,29400a
Tratamento 06 = 0,29200a
Tratamento 04 = 0,28800a
Tratamento 02 = 0,28600a
Tratamento 03 = 0,28200a
Tratamento 09 = 0,28000a
Tratamento 08 = 0,26800a
Tratamento 07 = 0,25800a

Total					
Causa da Variação	G.L	S.Q	Q.M	F	Nível %
Tratamentos	8	2131,84500	266,48062	69,64**	0,00
Resíduo	36	137,75312	3,82647		
Total	44	2269,59813			

** - Ao nível de 1%, ao menos um contraste de médias difere de zero.
Coefficiente de variação = 7,39821731%

Teste Tukey 5% para Tratamentos
DMS = 4,08711932

Tratamento 03 = 35,64600a
Tratamento 01 = 35,18600a
Tratamento 02 = 30,62600b
Tratamento 08 = 29,64400b
Tratamento 06 = 28,17400b
Tratamento 05 = 22,92200c
Tratamento 04 = 21,72600c
Tratamento 07 = 20,36000c
Tratamento 09 = 13,68200d

TABELA 22 - Resultados das análises estatísticas da concentração de alumínio, em ppm na parte aérea e da quantidade absorvida pela planta inteira (mg/vaso).

Parte Aérea

Causa da Variação	G.L	S.Q	Q.M	F	Nível %
Tratamentos	8	14824,57810	1853,07227	0,84NS	56,90
Resíduo	36	78829,19920	2189,69998		
Total	44	93653,77730			

Coeficiente de variação = 21,9920664%

Teste Tukey 5% para Tratamentos

DMS = 0

Tratamento 01 = 239,80000a

Tratamento 05 = 234,60000b

Tratamento 04 = 230,80000c

Tratamento 06 = 223,40000d

Tratamento 02 = 201,40000e

Tratamento 07 = 201,00000f

Tratamento 03 = 199,00000g

Tratamento 09 = 197,00000h

Tratamento 08 = 188,00000i

Total

Causa da Variação	G.L	S.Q	Q.M	F	Nível %
Tratamentos	8	15162,51110	1895,31389	5,85**	0,00
Resíduo	36	11657,03660	323,80657		
Total	44	26819,54770			

** - Ao nível de 1%, ao menos um contraste de médias difere de zero.
Coeficiente de variação = 33,9786953%.

Teste Tukey 5% para Tratamentos

DMS = 37,5976467

Tratamento 06 = 96,74840a

Tratamento 08 = 69,33260ab

Tratamento 03 = 52,50460bc

Tratamento 04 = 39,67840bc

Tratamento 01 = 31,23280c

TABELA 23 - Resultados das análises estatísticas da concentração de boro, em ppm na parte aérea e da quantidade absorvida pela planta inteira (mg/vaso).

.Parte Aérea

Causa da Variação	G.L	S.Q	Q.M	F	Nível %
Tratamentos	8	158,79998	19,84999	0,63NS	74,29
Resíduo	36	1125,20000	31,25555		
Total	44	1283,99999			

Coefficiente de variação = 27,0516138%.

Teste Tukey 5% para Tratamentos

DMS = 11,6810382

Tratamento 02 = 23,60000a

Tratamento 05 = 23,00000a

Tratamento 07 = 22,20000a

Tratamento 04 = 21,00000a

Tratamento 01 = 20,60000a

Tratamento 08 = 20,20000a

Tratamento 09 = 19,00000a

Tratamento 06 = 18,40000a

Tratamento 03 = 18,00000a

Total

Causa da Variação	G.L	S.Q	Q.M	F	Nível %
Tratamentos	8	0,074652712	0,009331589	5,85**	0,00
Resíduo	36	0,057419601	0,001594988		
Total	44	0,132072314			

** - Ao nível de 1%, ao menos um contraste de médias difere de zero.

Coefficiente de variação = 20,9363824%.

Teste Tukey 5% para Tratamentos

DMS = 0,0834442985

Tratamento 02 = 0,24060a

Tratamento 01 = 0,23780a

Tratamento 03 = 0,22000a

Tratamento 08 = 0,21620a

Tratamento 06 = 0,18520ab

Tratamento 04 = 0,17200ab

Tratamento 07 = 0,17100ab

Tratamento 05 = 0,17000ab

Tratamento 09 = 0,10400b

TABELA 24 - Resultados das análises estatísticas da concentração de ferro, em ppm na parte aérea e da quantidade absorvida pela planta inteira (mg/vaso).

Causa da Variação	Parte Aérea				
	G.L	S.Q	Q.M	F	Nível %
Tratamentos	8	257028,97	32128,62	4,56**	0,06
Resíduo	36	253093,99	7030,38		
Total	44	510122,97			

** - Ao nível de 1%, ao menos um contraste de médias difere de zero.
Coeficiente de variação = 21,0683658%.

Teste Tukey 5% para Tratamentos

DMS = 175,189271

Tratamento 01 = 584,80000a
 Tratamento 06 = 428,80000ab
 Tratamento 04 = 420,20000ab
 Tratamento 07 = 411,80000ab
 Tratamento 08 = 374,60000b
 Tratamento 02 = 355,40000b
 Tratamento 09 = 355,20000b
 Tratamento 05 = 334,80000b
 Tratamento 03 = 316,20000b

Causa da Variação	Total				
	G.L	S.Q	Q.M	F	Nível %
Tratamentos	8	10248,31390	1281,03924	3,77**	0,26
Resíduo	36	12230,17650	339,72712		
Total	44	22478,49050			

** Ao nível de 1%, ao menos um contraste de médias difere de zero.
Coeficiente de variação = 41,1482229%.

Teste Tukey 5% para Tratamentos

DMS = 38,5108358

Tratamento 06 = 79,80760a
 Tratamento 08 = 57,14340ab
 Tratamento 02 = 45,56460ab
 Tratamento 03 = 45,30540ab
 Tratamento 05 = 41,64160ab
 Tratamento 07 = 40,22700b
 Tratamento 09 = 37,16620b
 Tratamento 04 = 31,80420b
 Tratamento 01 = 24,48060b

TABELA 25 - Resultados das análises estatísticas da concentração de manganês, em ppm na parte aérea e da quantidade absorvida pela planta inteira (mg/vaso).

Parte Aérea

Causa da Variação	G.L	S.Q	Q.M	F	Nível %
Tratamentos	8	72086,00	9010,75	5,01**	0,03
Resíduo	36	64740,79	1798,35		
Total	44	136826,80			

** - Ao nível de 1%, ao menos um contraste de médias difere de zero.
Coeficiente de variação = 29,9484621.

Teste Tukey 5% para Tratamentos
DMS = 88,6044658

Tratamento 07 = 221,80000a
Tratamento 01 = 189,60000ab
Tratamento 02 = 163,60000ab
Tratamento 04 = 140,60000ab
Tratamento 08 = 130,00000b
Tratamento 06 = 122,20000b
Tratamento 03 = 103,60000b
Tratamento 09 = 101,80000b
Tratamento 05 = 101,00000b

Total

Causa da Variação	G.L	S.Q	Q.M	F	Nível %
Tratamentos	8	9,0324435	1,1290554	7,84**	0,00
Resíduo	36	5,1828224	0,1439672		
Total	44	14,2152659			

** - Ao nível de 1%, ao menos um contraste de médias difere de zero.
Coeficiente de variação = 29,3914236 %.

Teste Tukey 5% para Tratamentos
DMS = 0,792774633

Tratamento 01 = 2,03680a
Tratamento 07 = 1,81300ab
Tratamento 02 = 1,55960ab
Tratamento 08 = 1,38000abc
Tratamento 04 = 1,21080bcd
Tratamento 03 = 1,18860bcd
Tratamento 06 = 1,14680bcd
Tratamento 05 = 0,73180cd
Tratamento 09 = 0,55120d

TABELA 26 - Resultados das análises estatísticas da concentração de zinco, em ppm na parte aérea e da quantidade absorvida pela planta inteira (mg/vaso).

Parte Aérea

Causa da Variação	G.L	S.Q	Q.M	F	Nível %
Tratamentos	8	435533,91	54441,73	2,80*	1,59
Resíduo	36	698514,39	19403,17		

Total 44 1134048,31

* - Ao nível de 5%, ao menos um contraste de médias difere de zero.
Coeficiente de variação = 39,3885135%.

Teste Tukey 5% para Tratamentos
DMS = 291,04106

Tratamento 04 = 550,60000a
Tratamento 06 = 415,80000ab
Tratamento 01 = 393,40000ab
Tratamento 03 = 391,00000ab
Tratamento 02 = 351,20000ab
Tratamento 05 = 340,00000ab
Tratamento 07 = 303,80000ab
Tratamento 08 = 252,20000b
Tratamento 09 = 184,80000b

Total

Causa da Variação	G.L	S.Q	Q.M	F	Nível %
Tratamentos	8	33,0492382	4,1311547	4,76**	0,04
Resíduo	36	31,2067335	0,8668537		

Total 44 64,2559717

** - Ao nível de 1%, ao menos um contraste de médias difere de zero.
Coeficiente de variação = 37,1613926%.

Teste Tukey 5% para Tratamentos
DMS = 1,94531859

Tratamento 01 = 3,73720a
Tratamento 04 = 3,31200a
Tratamento 03 = 3,23680a
Tratamento 02 = 2,99580a
Tratamento 06 = 2,37580ab
Tratamento 08 = 2,20720ab
Tratamento 07 = 1,95220ab
Tratamento 05 = 1,93940ab
Tratamento 09 = 0,79240b

TABELA 27 - Análise de variância do rendimento de matéria seca do sistema radicular e da parte aérea.

Fontes de Variação	Sistema Radicular					Parte Aérea				
	GL	SQ	QM	F _c	Signif.	SQ	QM	F _c	Signif.	
Blocos	4	0,24782	0,06195			0,73165	0,18291	0,539	NS	
Vermiculita	2	1,30281	0,65140	9,490		6,66969	3,33484	9,832	**	
Tensões	1	0,72075	0,72075	10,501		52,48341	52,48341	154,73	**	
Vermiculita x Tensões	2	0,16550	0,08275	1,206		1,32641	0,66320	1,955	NS	
Adicionais	2	1,23905	0,61952	9,026		50,19141	25,09570	99,565	**	
Adicionais x Fatorial	1	0,77667	0,77667	11,316		15,94690	15,94690	63,268	**	
Resíduo	32	2,19636	0,06864	-		8,06566	0,25205	-		
Total	44	6,64896	-	-		135,41519	-	-		

CV = 15,900%

CV = 7,1716%