INFLUÊNCIA DO ESTÁDIO FENOLÓGICO DA *Crotalaria juncea* L. E DA *Mucuna aterrima* (Piper e Tracy) Holland. SOBRE A DECOMPOSIÇÃO FITOMASSA E SEU EFEITO FERTILIZANTE

PAULO GUILHERME FERREIRA RIBEIRO
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Antonio Luiz Fancelli
Divisão de Biblioteca e Documentação

Ribeiro, Paulo Guilherme Ferreira
Influência do estágio fenológico

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: Fitotecnia

1. Adubação verde 2. *Crotalaria juncea* L. 3. Estádio da época de corte 4. *Mucuna aterrima* (Piper e Tracy) Holland 5. Avaliação da fitomassa
PIRACICABA - Colômbia - 1991
Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba
ESTADO DE SÃO PAULO - Brasil

Junho - 1991

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCAP/USP

Ribeiro, Paulo Guilherme Ferreira

R484i Influência do estágio fenológico da *Crotalaria*
juncosa L. e da *Mucuna aterrima* (Piper e Tracy) Holland.
sobre a decomposição da fitomassa e seu efeito
fertilizante. Piracicaba, 1991.

131p.

Diss. (Mestre) - ESALQ

Bibliografia.

1. Adubação verde 2. *Crotalaria* - Produção de matéria
seca - Efeito da época do corte 3. *Crotalaria* como adubo -
Composição - Avaliação 4. *Mucuna* Preta - Produção de
matéria Seca - Efeito da época de corte 5. *Mucuna* preta
como adubo - Composição - Avaliação I. Escola Superior de
Agricultura Luiz de Quei

CDD 631.874

INFLUÊNCIA DO ESTÁDIO FENOLÓGICO DA *Crotalaria juncea* L. E DA *Mucuna aterrima* (Piper e Tracy) Holland. SOBRE A DECOMPOSIÇÃO DA FITOMASSA E SEU EFEITO FERTILIZANTE

PAULO GUILHERME FERREIRA RIBEIRO

Aprovada em 05.08.1991

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Antonio Luiz Fancelli

ESALQ/USP

Prof. Dr. Godofredo Cesar Vitti

ESALQ/USP

Prof. Dr. Jairo Teixeira Mendes Abrahão

ESALQ/USP

Prof. Dr. Antonio Luiz Fancelli
Orientador

A minha esposa Angela

OFEREÇO.

1971
1972
1973
1974

Aos meus pais

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Antonio Luiz Fancelli, Departamento de Agricultura - ESALQ-USP, pela orientação segura, amizade e estímulo durante o curso.

Ao Professor Dr. Jairo Teixeira Mendes Abrahão, Departamento de Agricultura - ESALQ-USP, pelas sugestões, incentivo e amizade.

Ao Professor Dr. Quirino A. C. Carmello, Laboratório de Nutrição Mineral, Departamento de Química - ESALQ-USP, pelas análises efetuadas e sugestões apresentadas.

Ao Professor Dr. Carlos Clemente Cerri, seção de Química de Solo, Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA-USP), pelos materiais e facilidades concedidos.

A Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" e, em especial, aos professores e funcionários do Departamento de Agricultura desta Escola.

A Fundação Instituto Agronômico do Paraná pela oportunidade concedida para a realização do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudo concedida.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo auxílio financeiro para execução do trabalho.

Ao colega Eng^o Agr^o José A. Donizeti Carlos e à companhia Industrial de Papel Piray.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

RESUMO	viii
SUMMARY	x
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	04
2.1. Adubação Verde	04
2.1.1. Características das principais espécies	05
2.2. Manejo das Leguminosas	08
2.2.1. Época de corte e incorporação	08
2.2.2. Composição química e produção de matéria seca	11
2.3. Decomposição de Leguminosas e Resíduos Vegetais	16
2.3.1. Principais fatores de interferência ..	16
2.3.2. Idade, teor de nitrogênio, relação C:N ..	19
2.3.3. Mineralização x imobilização de N	25
2.3.4. Efeito sobre o solo e sobre a matéria orgânica	30
2.3.5. Efeito fertilizante	34
2.4. Métodos de Avaliação da Taxa de Decomposição ..	38
2.4.1. Evolução de CO ₂	38
2.4.2. Extração de nitratos	41
2.4.3. Ensaio biológico com plantas testes ..	42

3. MATERIAL E MÉTODO	46
3.1. Experimento de Campo (I)	46
3.1.1. Local	46
3.1.2. Solo	46
3.1.3. Leguminosas estudadas	47
3.1.4. Método operacional	47
3.1.5. Determinações efetuadas	48
3.2. Experimento de Laboratório (II)	49
3.2.1. Solo	50
3.2.2. Método operacional	50
3.3. Experimento de casa-de-vegetação (III)	54
3.3.1. Solo e local	54
3.3.2. Método operacional	54
3.4. Procedimento estatístico	56
4. RESULTADOS	59
4.1. Composição Química da <i>Crotalaria juncea</i> L. e da mucuna preta	60
4.2. Influência da época de Corte	66
4.2.1. Rendimento de matéria seca	66
4.2.2. Teor de C, N e relação C/N	67
4.2.3. Acúmulo de C e N	70
4.3. Decomposição da Fitomassa das Leguminosas	72
4.3.1. Produção/evolução de CO ₂	72

4.4. Efeito Fertilizante das Leguminosas	79
4.4.1. Produção de matéria seca pelo painço ...	79
4.4.2. Teor de nitrogênio nas plantas de painço	80
4.4.3. Nitrogênio extraído pelo painço	83
5. DISCUSSÃO	86
6. CONCLUSÕES	102
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104
8. APÊNDICE	122

INFLUÊNCIA DO ESTÁDIO FENOLÓGICO DA *Crotalaria juncea* L. E
DA *Mucuna aterrima* (Piper e Tracy) Holland. SOBRE A
DECOMPOSIÇÃO DA FITOMASSA E SEU EFEITO FERTILIZANTE.

Autor: Paulo Guilherme Ferreira Ribeiro

Orientador: Antonio Luiz Fancelli

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a composição percentual de C e N e a relação C/N da *Crotalaria juncea* L. e da mucuna preta em função do seu desenvolvimento. A influência da época de corte sobre a produção de matéria seca, composição química, acumulação de C e N, sobre a taxa de decomposição e no efeito fertilizante da fitomassa sobre o painço (*Panicum miliaceum* L.).

Em um experimento de campo amostraram-se a cada 28 dias as duas leguminosas onde determinaram-se suas composições químicas. A produção de fitomassa avaliou-se nas fases de pré-floração, floração, frutificação e maturação morfológica. Em laboratório incubaram-se no solo, as matérias secas dos 4 estádios fenológicos e mediu-se a liberação de CO₂.

Em casa-de-vegetação incorporaram-se as mesmas massas e avaliou-se seu efeito fertilizante sobre o painço semeado após 15, 30 e 45 dias de incubação.

O maior teor de N verificou-se na floração para a crotalaria e na frutificação para a mucuna preta, enquanto que a relação C/N, na primeira, atingiu seu valor mais baixo na floração e na segunda na frutificação.

O maior acúmulo de matéria seca, C e N ocorreu na frutificação, enquanto que o maior rendimento de matéria seca obteve-se na frutificação e maturação em ambas as espécies. O maior acúmulo de N ocorreu para a crotalaria, na floração e frutificação e, para a mucuna, nesta fase e na maturação.

Não se observaram diferenças significativas na evolução de CO_2 pela incubação das fitomassas da crotalaria e da mucuna. As diferenças na relação C/N não influenciaram na produção de CO_2 .

As fitomassas da crotalaria da pré-floração e floração incrementaram a produção de matéria seca do painço principalmente após 30 e 45 dias da incorporação, enquanto que frutificação e maturação causaram depressão de rendimento, notadamente esta última. As fitomassas da mucuna promoveram maior produção no painço, mas não diferiram entre si.

A crotalaria, na floração, provocou a maior absorção de N pelo painço, enquanto que entre as fitomassas de mucuna não houve diferenças.

INFLUENCE OF THE PHENOLOGIC STAGE OF THE *Crotalaria juncea*
L. AND *Mucuna aterrima* (Piper e Tracy) Holland. ON THE
DECOMPOSITION OF THE PHYTOMASS AND THEIR FERTILIZER EFFECT.

Author: PAULO GUILHERME F. RIBEIRO

Adviser: Prof. Dr. ANTONIO LUIZ FANCELLI

SUMMARY

The purpose this work was to evaluate the effect of development on the percentile composition of C, N and C/N relation of the sunnhemp (*Crotalaria juncea* L.) and velvet bean (*Mucuna aterrima*) (Piper e Tracy) Holland. and the influence of the cutting time on the dry matter yield, chemical composition, C and N accumulation, decomposition rate and on the fertilizer effect of dry matter on the millet (*Panicum miliaceum* L.).

In a field experiment with the two leguminous crops, samples were taken every 28 days to determine their chemical composition. Dry matter yield was evaluated at: preflowering, flowering, frutification and maturation. In the laboratory, the dry matter from four phenological phases was incubated to measure the evolved CO₂. While in glass house the same dry matter was incorporated matter and evaluated by their fertilizer effect on millet sown 15, 30 and 45 days after incorporation.

Sunnhemp had the greater N content at flowering and velvet bean at frutification, C/N relation varied inversely with N content. In the first the lowest value was attained at the flowering and in the second at the frutification.

The greatest accumulation of dry matter, C and N was attained at frutification, while the highest dry matter yield was at frutification and maturation for both species. For the sunnhemp the greatest N accumulation occurred at the flowering and frutification stages and for the velvet bean at last one and maturity.

No significant difference was observed on the CO_2 evolved by incubation of the sunnhemp and velvet bean's dry matter. The differences on C/N relation did not affect the CO_2 production.

Sunnhemp dry matter at preflowering and flowering stages increased the dry matter yield of millet, specially the treatments of 30 and 45 days after incorporation, while at frutification and maturation stages it decreased, mainly the last one. The velvet bean's dry matter promoted higher yields, but with no treatment differences.

Sunnhemp at flowering stage promoted a higher N assimilation, while similar effects were observed between velvet bean's dry matter.

1. INTRODUÇÃO

A adubação verde pode ser conceituada como prática da incorporação ao solo de uma fitomassa não decomposta, de plantas cultivadas no próprio local ou fora dele, com a finalidade de preservar e/ou restaurar o teor de matéria orgânica e a fertilidade das terras.

As leguminosas são as preferidas para essa finalidade pelas suas características de grandes produtoras de fitomassa verde, sistema radicular robusto e profundo, capazes de reciclarem nutrientes e de absorverem o nitrogênio atmosférico através da simbiose com bactérias fixadoras.

A adubação verde possivelmente seja tão antiga quanto a própria agricultura. Há indícios do seu uso por chineses, romanos e gregos. O próprio desenvolvimento agrícola alcançado pelo império egípcio nas margens do rio Nilo, pode representar a existência de certos conhecimentos sobre os benefícios da matéria orgânica.

A partir do momento que o homem iniciou a agricultura, derrubando florestas, expondo a superfície do solo a fatores abióticos tais como: luz, calor, chuva e vento, alterou-se o equilíbrio da matéria orgânica no solo,

sofrendo esta um processo contínuo de degradação, tão mais rápido quanto mais intensos fossem os agentes climáticos. Entretanto, o homem desde há muito, verificou que algumas plantas desenvolviam-se vegetativamente mais do que outras, mesmo em condições de solos menos férteis. Assim iniciou o cultivo de plantas que produziam grande quantidade de fitomassa; massa essa que após cortada e deixada sobre o solo beneficiava as culturas subsequentes. Desde então, visa-se com a adubação verde o incremento de nutrientes na camada mais superficial do solo, tanto pela reciclagem dos mesmos como pela fixação simbiótica do nitrogênio e, ainda, a recuperação ou manutenção do teor de matéria orgânica no solo.

Com essa finalidade, um aspecto importante do manejo da adubação verde é o momento de corte e incorporação das leguminosas, pois é desejável obter-se a máxima produção de matéria seca associada à maior riqueza de nutrientes minerais, para que, na decomposição da fitomassa, esses tornem-se disponíveis para as culturas semeadas em sucessão. Comumente sugere-se que o ponto ideal de corte seria durante a floração, embora poucos trabalhos façam menção às alterações na composição química das leguminosas, sua acumulação de matéria seca e a relação entre estes parâmetros e a degradabilidade da massa produzida e o efeito fertilizante sobre plantas econômicas.

O presente trabalho teve por objetivo realizar estudo básico da composição química de duas leguminosas para adubação verde em função da idade, verificar a influência da época de corte na produção de matéria-seca, na acumulação de nutrientes, na taxa de decomposição da fitomassa produzida e seu efeito fertilizante sobre o painço, de modo a fornecer subsídios para um manejo mais adequado e um aproveitamento mais efetivo dessa prática.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Adubação Verde

Adubo verde é definido como o material vegetal incorporado ao solo enquanto verde ou logo após a maturidade, exceto palhas ou resíduos culturais, visando-se a fertilização dos solos (ALLISON, 1973).

Em geral para que uma espécie vegetal seja usada preferencialmente como adubo verde ela deve preencher os seguintes requisitos básicos, segundo MUZILLI et alii (1980) e SINGH (1984):

- crescimento rápido e folhoso para que vença a competição com as plantas daninhas e logo possam ser incorporadas;
- sistema radicular bem desenvolvido;
- grande produção de massa verde, alto teor de nitrogênio e baixa relação C/N;
- a incorporação ao solo e a decomposição devem ser fáceis para assegurar rápida liberação de acumulados e a humificação.

Embora se considere, também, como adubação verde a incorporação ao solo de espécies vegetais como gramíneas e outras, naturais ou cultivadas, nas terras em alqueive, o cultivo de leguminosas constituiu-se na prática mais racionalmente difundida para essa finalidade. As razões da preferência pelas leguminosas são, principalmente, a capacidade destas fixarem o nitrogênio atmosférico através da simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium/Bradyrhizobium*, as quais formam nódulos nas raízes das leguminosas, responsáveis pela absorção daquele nutriente.

Outros motivos que podem ser citados são: a sua riqueza em compostos orgânicos nitrogenados e a presença de um sistema radicular geralmente bem ramificado e profundo que permite grande assimilação e reciclagem de nutrientes, que após a decomposição das leguminosas, tornam-se disponíveis para as culturas sucessórias (MIYASAKA, 1984).

2.1.1. Características das principais espécies

Entre as leguminosas existem diversos gêneros que possuem espécies amplamente utilizadas para adubação verde. As espécies tipicamente tropicais pertencem aos gêneros *Crotalaria*, *Mucuna* (*Stizolobium*), *Canavalia*, *Dolichos*, *Cajanus*, *Pueraria*, *Calopogonium* e *Leucaena*. As espécies destes gêneros caracterizam-se pelo grande desenvolvimento vegetativo durante a estação quente e chuvosa do

ano, apesar da grande tolerância à seca. São rústicas, toleram solos de baixa fertilidade, mas não suportam baixas temperaturas, principalmente geadas. Nos gêneros *Lupinus*, *Lathyrus*, *Glicine* e *Pisum*, encontram-se espécies subtropicais que, se por um lado, não apresentam exuberante desenvolvimento ou rusticidade, em condições de altas temperatura, por outro lado toleram baixas temperaturas e eventualmente geadas.

Nos gêneros *Crotalaria* e *Mucuna* estão agrupadas várias espécies adequadas para a adubação verde, exibindo em comum além das semelhanças morfológicas e fisiológicas, rusticidade, crescimento vigoroso, tolerância à baixa fertilidade, facilidade de manejo e capacidade de controle de nematóides fitoparasitas.

A *Crotalaria juncea* L. é a espécie mais difundida no seu grupo para a adubação verde. Originária do subcontinente indiano, a planta nunca foi encontrada no estado selvagem. Segundo PURSEGLOVE (1969) é a 2ª espécie em importância na produção de fibra na Índia, depois da juta. Sua fibra é usada para a confecção de cordas, cordas navais, redes de pesca, esteiras, sacos, cordas para solas e papéis de cigarro. Anual, porte alto, podendo alcançar mais de dois metros de altura, caule algo lenhoso, pequena ramificação lateral, floresce entre 100-120 dias de idade (MUZZILI et alii 1980 e MIYASAKA, 1984). Apresenta resposta ao fotoperíodo, comportando-se como planta de dias

longos para vegetar (PURSEGLOVE, 1969). Nas condições de Santa Catarina, MONDARDO et alii (1981) verificaram que a *C. juncea* L. semeada no começo da estação chuvosa iniciou a floração aos 120 dias e terminou aos 185 dias. A partir dos 150 dias observa-se, simultaneamente nas plantas, flores, vagens verdes e maduras (SALGADO et alii, 1984). Um maior sincronismo no florescimento pode ser obtido quando se atrasa a semeadura para fevereiro-março, quando o objetivo é a produção de sementes, neste caso há prejuízo na produção de fitomassa (BULISANI et alii 1987 e TRANI & BULISANI, 1989).

No gênero *Mucuna*, anteriormente chamado *Styrolobium*, diversas espécies são utilizadas para adubação verde, as mais comuns são; *M. deeringiana* Merr (mucuna anã e rajada) e *M. aterrima* (Piper e Tracy Holland. (mucuna preta). Esta é a mais conhecida e difundida no Brasil para adubação-verde.

Leguminosa anual ou bianual, porte baixo, trepadora, rústica, vigorosa, possui propriedades nematocidas nas suas raízes, ciclo médio para a produção de sementes (180 a 240 dias). O florescimento inicia-se aos 140/150 dias após o plantio e pode se estender até aos 200 dias. Sementes novas de *M. aterrima* (Piper e Tracy) Holland. (mucuna preta) apresentam tegumento impermeável (dureza) (BRANDÃO, 1940; NEME, 1954; MUZILLI et alii 1980; MONDARDO et alii, 1981; TRANI & BULISANI, 1989).

2.2. Manejo das Leguminosas

2.2.1. época de corte e incorporação

Na prática da adubação verde o primeiro fator a ser considerado é a idade da planta na ocasião da incorporação. Duas hipóteses são consideradas: a) quando se tem em vista maior riqueza em nitrogênio (sabe-se que 90% do nitrogênio são fixados na primeira metade do ciclo evolutivo da planta), devendo a incorporação ser feita nessa fase do ciclo da planta; b) em se tratando de maior interesse no aproveitamento da matéria orgânica, quando a finalidade principal for a melhoria das condições físicas do solo, a incorporação deverá ser feita poucas semanas antes da floração, quando há percentuais menos elevados de celulose e lignina, ou no mais tardar, com as vagens ainda verdes (TIBAU, 1978).

Segundo BRANDÃO (1940) a época de incorporação mais apropriada das leguminosas na adubação verde é quando começam aparecer as primeiras flores, ou no máximo quando 10% das flores estiverem abertas. Neste momento a planta alcança seu maior desenvolvimento e o máximo de riqueza, estando ao mesmo tempo num estado de fácil decomposição. Se for deixada no terreno, sem incorporar, além da floração, as leguminosas não se enriquecerão mais, não crescerão, com raras exceções, e os seus tecidos ficarão duros e a decomposição será mais difícil.

Visto que o papel dos adubos verdes não se resume em fornecer somente nutrientes, mas incorporar também matéria orgânica ao solo, diversos autores como; SILVA (1952); NEME (1954, 1961); LOVADINI et alii (1974); MUZILLI et alii (1980); IGUE et alii (1984); MIYASAKA (1984); DERPSCH & CALEGARI (1985), consideram que é preferível efetuar o corte tardio, na floração, quando o volume de fitomassa atinge o máximo.

ALLISSON (1973) afirma que os adubos verdes são incorporados quando as plantas estão na floração ou mesmo mais cedo, e não quando elas estão mais adequadas para a fenação. Para BUCKMAN & BRADY (1976) os adubos verdes devem ser enterrados ao atingirem o máximo de suculência, com copas bem crescidas. Na maioria das culturas esta fase ocorre na metade do período necessário à maturação. O teor de lignina e de outros compostos resistentes é reduzido e a relação C:N nesta época também é estreita. A incorporação de leguminosas no início da floração evita que se tornem fibrosas (PRIMAVESI, 1980).

Para a *Crotalaria juncea* L., quando a finalidade é adubação verde, sua incorporação se faz com aproximadamente 2 a 2,5 meses, ou no início da floração, para que haja uma decomposição mais rápida. Para produção de fibra o corte é aos 3, 3,5 meses de idade, aproximadamente na frutificação (PURSEGLOVE, 1969).

Segundo BRANDÃO (1940) a mucuna preta pode ser incorporada bem depois da floração, pois assim continuará a crescer, aumentando sua massa verde. O único cuidado é incorporá-la antes das sementes ficarem maduras para evitar infestação do terreno devido às sementes dormentes. Entretanto, para TRANI (1986), e TRANI & BULISANI (1989), o corte deve ser feito logo no início da floração para evitar esse problema.

As recomendações de corte e incorporação podem ser distintas em função da utilização posterior da área onde se fez o cultivo das leguminosas. Dessa forma BRANDÃO (1940) recomenda que os adubos-verdes devem ser cortados e incorporados em operações subsequentes, durante o tempo chuvoso, quando a temperatura é elevada e com umidade no solo; neste caso a decomposição da fitomassa se dará de 2 a 3 meses no máximo, o que permitirá o cultivo de plantas econômicas em sucessão.

Ao contrário, NEME (1961) recomenda o corte no florescimento, mas a massa cortada deve permanecer sobre o solo, transformando-se em pleno ar durante o inverno e princípios da primavera, ocasião em que a massa já decomposta é incorporada ao solo, com facilidade, pela aração de primavera. E cita as seguintes vantagens: evita o desenvolvimento do mato, preserva a umidade do solo, retendo alguma chuva e protege a superfície do solo da radiação solar direta. DERPSCH & CALEGARI (1985) reforçam este autor,

afirmando que é importante manter o solo coberto com plantas ou resíduos vegetais o maior tempo possível, pois toda tentativa de controlar a erosão via solo descoberto, enterando os restos culturais e mantendo a superfície do solo solta, redundará em fracasso.

Com o corte e a incorporação das leguminosas na floração elimina-se a possibilidade de produção de sementes. Segundo IGUE et alii (1984) para que a prática da adubação verde seja amplamente difundida a produção de sementes deve ser viável a nível de propriedade agrícola ou que haja boa oferta, a preços acessíveis, à maioria dos agricultores.

BULISANI et alii (1987) consideram que é possível colher sementes de mucuna preta, sendo a incorporação da fitomassa efetuada após essa operação. Se o interesse for apenas para adubação verde, a incorporação deve ser efetuada no florescimento ou um pouco mais tarde, no início do período de frutificação.

2.2.2. Composição Química e Produção de Matéria Seca

A adubação verde pressupõe, basicamente, o cultivo e a incorporação de plantas para a melhoria do solo. Os efeitos sobre este dependem circunstancialmente da quantidade e qualidade de fitomassa produzida pelas espécies utilizadas, de fatores climáticos e das caracte-

rísticas do solo. Assim é importante conhecer a composição química dos adubos verdes, para que se tenha uma idéia de sua riqueza como fonte de nutrientes.

Plantas de diferentes grupos são, às vezes, caracterizadas por seu alto conteúdo de certos elementos. As leguminosas têm geralmente maior teor de nitrogênio que as gramíneas, fumo, colza e nabo (PIETERS, 1927). A concentração de N também pode ser afetada pelas condições edafo-climáticas, estágio de crescimento, efetividade da inoculação nas leguminosas e proporção entre as diferentes partes das plantas (PIETERS, 1927, HENZEL & VALLIS, 1977; IGUE et alii, 1984; MUZILLI, 1986). Portanto é recomendável fazer uma análise do material durante o período de corte e incorporação (IGUE et alii, 1984).

MELLO & BRASIL (1960), estudaram a composição química de diversas leguminosas em três períodos de desenvolvimento: dois, três e quatro meses após o plantio, verificando que para todas as espécies o teor de nitrogênio diminuiu percentualmente e a relação C/N aumentou com o decorrer do tempo. Verificaram também que na terceira amostragem, aos quatro meses, a *Crotalaria juncea* L. estava em início de maturação e com uma relação C/N=23 enquanto que a mucuna preta apresentava uma relação C/N=15.

Segundo ALLISON (1973) durante o crescimento das leguminosas o total de nitrogênio constantemente aumenta até a planta atingir o estágio de produção de sementes e

então declina. A maior extração do N, se for do solo ou do ar, ocorre durante 50 a 75% do período de crescimento. Com a idade proteínas e substâncias hidrosolúveis diminuem, a concentração e a proporção de celulose, hemicelulose e lignina, aumentam (ALEXANDER, 1977).

FAVORETTO (1979) efetuou corte no guandurente ao solo aos 60, 75 e 90 dias após a emergência e constatou que com a idade caiu o teor de proteína bruta e aumentou o de fibra bruta.

GLORIA et alii (1980) efetuaram cortes em *Crotalaria juncea* L. e na mucuna preta aos 62, 81, 102 e 118 dias após o plantio. Na crotalaria a concentração de N elevou-se até os 102 dias, caindo acentuadamente após essa data. Na mucuna preta a concentração de N apresentou pequena variação durante o experimento. Nesta o maior teor ocorreu aos 62 dias (2,88% N), caindo ligeiramente após essa data. Na crotalaria a porcentagem de N, aos 102 dias, correspondeu ao dôbro das demais épocas; nesta data a planta provavelmente estivesse em floração, o que, em parte, confirma a recomendação de MUZILLI et alii (1980) de que o corte e enterrio das leguminosas são mais adequados neste estágio, pois a parte aérea das plantas apresenta seu máximo conteúdo de nitrogênio e demais nutrientes.

Segundo MUZZILI (1986) plantas de tremço branco (*Lupinus albus* L.) com 90 dias, produziram 27,5 t/ha de massa verde, com 12% de matéria seca e com 3,37% de

nitrogênio na matéria seca.

A produção de fitomassa é um dos parâmetros agronômicos mais utilizados para a avaliação dos adubos verdes e dos mais eficientes para indicar a capacidade de transformação de energia radiante em biomassa e do potencial de reciclagem de nutrientes do solo.

O rendimento de matéria seca é influenciado por diversos fatores como: condições edafo-climáticas, espécie utilizada, épocas de plantio e de corte.

Diversos trabalhos foram realizados, em diferentes partes do mundo, para avaliar a produção de fitomassa verde e seca das plantas para adubação verde. Os aspectos comuns nesses trabalhos são o grupo de espécies e a época de corte, geralmente próxima da floração.

Trabalhos de NEME (1940), citados em FUNDAÇÃO CARGILL (1983), conduzidos por 13 anos em 4 locais do estado de São Paulo, mostraram a grande variabilidade no rendimento de massa verde em função da leguminosa, do ano e do local de plantio.

LOVADINI et alii (1974) avaliaram a produção de fitomassa verde do guandu (*Cajanus cajan* L) cortado aos 75, 105, 135, 165 e 195 dias após o plantio. O rendimento de massa verde elevou-se até o corte aos 135 dias (pré-florescimento) e manteve-se constante nos cortes aos 165 dias (floração) e aos 195 dias (frutificação). Nessas três épocas os rendimentos não diferiram significativamente

entre si.

FAVORETTO (1979) verificou que a produção de fitomassa pelo guandu cortado aos 60, 75 e 95 dias após o plantio, aumentou do corte aos 60 dias para o dos 75 dias, mantendo-se constante até o corte aos 90 dias.

GLORIA et alii (1980) avaliaram o rendimento de massa verde, massa seca, teor de nitrogênio e nitrogênio extraído pela *Crotalaria juncea* L. e pela mucuna preta cortadas aos 62, 81, 102 e 118 dias após o plantio. A maior produção de matéria seca, tanto para a crotalaria como para a mucuna, foi obtida no corte aos 118 dias, (16 e 5,7 t/ha para cada espécie respectivamente). Observaram também que já no corte aos 62 dias a crotalaria forneceu fitomassa seca superior à mucuna em qualquer época de corte.

WUTKE (1987) estudou a produção de fitomassa em 18 genótipos de guandu em cortes no início da floração e na maturidade. De um modo geral até o início da floração atingiram-se 62% da fitomassa acumulada na maturidade. Em outro estudo, a autora comparou a produção de fitomassa de 5 genótipos de guandu cortados no florescimento e no início da maturação. A produção nesta época foi muito superior à obtida no corte no florescimento.

2.3. Decomposição de Leguminosas e Resíduos Vegetais

2.3.1. Principais Fatores de Interferência

A decomposição dos resíduos vegetais é um processo essencialmente biológico que envolve atividade e crescimento microbiano, tanto que associado ao desaparecimento de alguns componentes dos tecidos vegetais há o aparecimento de protoplasma microbiano. Assim está sujeita às peculiaridades do desenvolvimento e atuação dos microorganismos (RUSSEL, 1973; LATMAN & BORKET, 1984).

A transformação dos materiais vegetais pode ser subdividida em duas etapas: uma física (desintegração) e outra química (decomposição). A primeira diz respeito à quebra mecânica dos materiais, e na última, os materiais são primeiramente decompostos em suas unidades estruturais básicas por enzimas extracelulares e, posteriormente, absorvidos e oxidados pelos microorganismos, a fim de obterem energia e nutrientes orgânicos para o seu desenvolvimento, com consequente transformação da biomassa. (PEIXOTO, 1988).

A decomposição de qualquer substância orgânica adicionada ao solo é controlada por diversos fatores: umidade, temperatura, aeração, textura do solo, pH, disponibilidade de nutrientes para os organismos decompositores, idade e composição química do material, principalmente quanto a relação C:N, grau de desintegração

e quantidade de material incorporado (PIETERS, 1927; KAKDE, 1965; ALEXANDER 1977).

A presença de umidade é essencial para o processo de decomposição. Entretanto a taxa de produção de CO_2 é mais elevada em solos submetidos a ciclos de secamento e umedecimento do que em solos permanentemente úmidos, resultado da estimulação sobre a atividade microbiana e da maior difusão dos gases envolvidos no processo (oxigênio e dióxido de carbono) (ALEXANDER, 1977; CERRI et alii, 1982).

A temperatura exerce importante efeito sobre a taxa de decomposição. JENKINSON & AYANABA (1977) verificaram que o modelo de decomposição do Azevem (*Lolium sp.*), nas condições da Nigéria, foi idêntico ao observado com o mesmo material na Inglaterra, exceto que todo processo foi quatro vezes mais rápido na Nigéria.

Segundo KAKDE (1965) parece ser essencial a aplicação de fósforo, em doses suficientemente altas, nas culturas de adubos verdes para acelerar a taxa de decomposição desses e aumentar a disponibilidade de nitrogênio e fósforo para as culturas sucessórias.

SILVA et alii (1985) avaliaram o efeito da aplicação de fosfatos de baixa solubilidade (fosfato de Fatos-de-Minas e Termofosfato IPT) sobre o rendimento de fitomassa e a concentração de N em duas leguminosas e a influência da incorporação dessa fitomassa no solo sobre a

produção de matéria seca e extração de nitrogênio pela aveia preta. A forma menos solúvel (fosfato de Patos-de-Minas) limitou a produção de fitomassa seca nas leguminosas, enquanto que a massa oriunda desse tratamento provocou menor produção de matéria seca e extração de N pela aveia. A concentração de carbono e nitrogênio no material vegetal é importante na decomposição, mas o fósforo, e mesmo micronutrientes, podem ser limitantes em certas situações (LYNCH, 1986).

A composição química do material vegetal tem grande influência na velocidade de decomposição deste. O principal fator é a relação carbono/nitrogênio. Entretanto não é raro verificar que a taxa de decomposição de resíduos vegetais é proporcional ao seu conteúdo de lignina, e a quantidade de lignina no resíduo pode ser de maior importância em prever a velocidade de decomposição que a relação C/N (ALEXANDER, 1977). Segundo este autor a decomposição da celulose, o principal componente da parede celular de todos os vegetais, é governada por diversos fatores, inclusive pela presença de outros carboidratos e a proporção relativa de lignina no material vegetal.

Os solos variando nas suas características físico-químicas possuem grandes diferenças na capacidade celulolítica (ALEXANDER, 1977). Da mesma forma cada tipo de vegetação tem um tipo de microorganismo que a decompõem (PRIMAVESI, 1980).

Uma quantidade excessiva de fitomassa verde, incorporada em condições inadequadas numa cultura permanente, pode resultar numa utilização incompleta do valor fertilizante e assim alterar o balanço de nutrientes pelo efeito residual (KAKDE, 1965). Quanto maior a quantidade de resíduo vegetal aplicado ao solo, maior será o período de bloqueio da nitrificação (BUCKMAN & BRADY, 1976). A taxa de decomposição é diretamente proporcional à quantidade de resíduo incorporado ao solo (IGUE, 1984).

CHAGAS et alii (1987) verificaram que quanto maior a quantidade de matéria seca produzida pela *Crotalaria juncea* L. maior o tempo gasto na sua decomposição no solo, o que refletiu no rendimento do feijoeiro semeado em diversas épocas após a sua incorporação.

2.3.2. Idade, Teor de Nitrogênio e Relação C:N

O efeito das plantas destinadas à adubação verde depende de sua maturidade quando de sua incorporação (RUSSEL, 1973; TIBAU, 1978). Tecidos jovens, até próximo ao florescimento, suculentos, são metabolizados mais rapidamente que resíduos de plantas maduras. Com a idade a composição química muda; o conteúdo de nitrogênio, proteínas e substâncias hidrossolúveis cai, e a proporção de celulose, lignina e hemicelulose aumenta (ALEXANDER, 1977; PEIXOTO 1988). As plantas jovens tem um teor de

celulose em torno de 40% e são decompostas rapidamente (TIBAU, 1978). Com a decomposição mais rápida os nutrientes ficam prontamente disponíveis, embora a quantidade total seja pequena, pelo menor volume de fitomassa incorporada (IGUE et alii 1984). Com as plantas mais próximas à maturação, os resíduos orgânicos são abundantes e o tempo de decomposição e síntese mais longo, e a quantidade de nitrogênio consumida maior, porque o teor de hemicelulose sobe para 65%, aproximadamente (TIBAU, 1978).

A decomposição de qualquer resíduo vegetal se dá, basicamente, através da atividade dos microorganismos do solo que se utilizam deste como substrato energético e fonte de nutrientes para síntese de protoplasma microbiano. Neste caso, a energia é obtida pela oxidação de compostos carbônicos, comuns em qualquer resíduo orgânico, enquanto que os nutrientes estruturais são obtidos, principalmente, pelo desdobramento de proteínas, cujo elemento mais importante é o nitrogênio. Dessa forma é o teor de nitrogênio que regula a taxa de decomposição dos resíduos vegetais, pois limita a formação e o crescimento microbiano.

Materiais com alto teor de nitrogênio incorporados ou não ao solo decompõe-se mais prontamente que aqueles com baixos teores (PIETERS, 1927; BARTHOLONEW 1965; FORBES, 1974 e LYNCH, 1986). Se o substrato é pobre em N, a decomposição é lenta, e a mineralização do C é estimulada pelo N suplementar. Em últimas circunstâncias a adição de N

causa um aumento na produção de CO_2 e uma maior perda de celulose, hemicelulose e outros polissacarídeos vegetais (ALEXANDER, 1977).

O nitrogênio nas leguminosas verdes e suculentas é prontamente disponível e tem sido adequadamente indicado pela proporção de N que aparece na forma de mineral, nas primeiras fases de decomposição (BARTHOLOMEW, 1965 e ALEXANDER, 1977).

ALEXANDER (1977) verificou que não ocorre nem perda líquida nem ganho de N inorgânico em solo incubado por 3 meses com matéria orgânica com aproximadamente 1,7% de N. Substratos orgânicos contendo mais que 1,8% de N, em decomposição, elevam quase imediatamente o nível de N inorgânico, enquanto que resíduos vegetais com menos que 1,2% de N diminuem a disponibilidade deste nutriente dentro de uma semana e a deficiência pode persistir por vários meses.

Se matéria orgânica com menos de 1,5% N é incorporada ao solo, toda amônia liberada durante o primeiro período de sua transformação é utilizada pelos microorganismos que efetuam a decomposição da fitomassa, não restando nitrogênio para ser absorvido pelas plantas cultivadas (FUNDAÇÃO CARGILL, 1983).

Devido ao fato que as plantas possuem geralmente a mesma quantidade de carbono, aproximadamente 40% na matéria seca, o nível crítico de N pode ser expresso

em termos de relação C/N. Em materiais naturais com baixo N (1,2 a 1,8%) e relação C/N ampla (acima de 30:1) a decomposição é mais lenta que materiais com maiores teores de nitrogênio (ALEXANDER, 1977).

Diversas evidências indiretas, baseadas em estudos de campo, mostram a correlação entre a taxa de decomposição e a liberação de nitratos e a relação C/N do material vegetal adicionado ao solo. Esta relação reflete a mineralização e a imobilização do N, que ocorrem simultaneamente à liberação de CO_2 pela oxidação de resíduos orgânicos carbonados (BARTHOLOMEW, 1965; FORBES, 1974 e ALEXANDER, 1977).

O conteúdo de N e a relação C/N são, frequentemente, um conveniente instrumento para prever a taxa de decomposição de um substrato orgânico, embora ele não seja o único (PRIMAVESI, 1980; SMITH, 1982; LATMAN & BORKET, 1984).

Segundo MASON (1980) apesar do consenso de que resíduos vegetais com relação C/N estreita se decompõe mais rápido, essa relação mais baixa pode ser devido à atividade microbiana, que aumenta o teor de N, ao invés do resultado de altos teores originais de N no material vegetal.

ALLISON (1973) verificou que resíduos com relação C/N entre 25 e 30 permitiam que a decomposição se processasse à máxima taxa. PERUZZO & TEDESCO (1983)

constatarem que a decomposição de folhas e colmos de resteva de milho foi inversamente proporcional à sua relação C/N.

O conhecimento da relação C/N ajuda também a conhecer o tipo de material quanto à degradação; relação C/N alta, maior que 24, terá decomposição lenta, menor que 24, decomposição rápida (IGUE et alii, 1984). Limites entre 26 e 35 para a relação C/N são os mais recomendados para uma rápida mineralização, enquanto que materiais com relação C/N entre 33 e 60 irão imobilizar N (KIEHL, 1985 e PEIXOTO, 1988).

Com a continuidade do processo de decomposição, diminui a relação C/N no solo, pois o C está sendo liberado como CO_2 e o N conservado pela formação de massa celular microbiana. Quando os resíduos vegetais atingem uma relação C/N de aproximadamente 20, diminui a atividade dos microorganismos decompositores pela deficiência de C facilmente oxidável, e o N passa a ser liberado (PICCOLO, 1989).

As culturas econômicas não permitem um longo período necessário para as lentas mudanças na relação C/N, assim é prática comum adubar com nitrogênio as palhadas para trazer a relação C/N dos resíduos vegetais para 30 a 35:1. Essa fertilização é para a microflora e não para a cultura (ALEXANDER, 1977).

A incorporação de restos vegetais pobres em N nem sempre proporciona os resultados esperados, porque a flora microbiana não tem à sua disposição quantidade suficiente de N para seu crescimento protoplasmático. A proporção de N não utilizada pelas bactérias é que é transformada em nitratos. Somente há sobra de nitratos para as culturas quando a relação C/N da matéria orgânica do solo é relativamente alta. A leguminosa em decomposição apresenta uma proporção mais favorável à biologia do solo e consequentemente efeito nas lavouras (FUNDACÃO CARGILL, 1983).

SAFFIGNA (1986) considera que 3 fatores nortearão as pesquisas prioritárias sobre a ciclagem de C e N nos trópicos semi-áridos e subtrópicos da Australia. Um deles é a adoção, em larga escala, de práticas de conservação do solo que exijam a manutenção de resíduos de culturas maduras tendo alta relação C/N.

A estrutura da palha tem sido pouco estudada em relação à sua degradação. Isto deve ser considerado se se deseja o aproveitamento de resíduos vegetais em processos biológicos úteis (LYNCH, 1986).

VICTORIA et alii (1988) afirmam que, de uma maneira geral, são aceitos os resultados obtidos em regiões temperadas como válidos para nosso clima e nossos solos. Aceita-se, por simples transferência, a relação C/N igual a 22 como sendo a região limite entre a mineralização e a imobilização, sem ter sido testado para nosso clima e nosso

solo, que tem condições físico-químicas diversas dos solos de regiões temperadas.

2.3.3. Mineralização e Imobilização

Mineralização ou liberação é a denominação dada para a transformação microbiana do nitrogênio orgânico na forma inorgânica (geralmente amônia e nitrato). Imobilização é empregada para classificar o processo de conversão do N inorgânico em orgânico resultado da assimilação microbiológica, durante a decomposição de materiais vegetais (BARTHOLOMEW, 1965; ALEXANDER, 1977; RAIJ, 1987).

Mineralização e imobilização são processos simultâneos no solo, esteja ele sob cultivo ou não. A medida que a matéria orgânica vai sendo oxidada, com liberação de dióxido de carbono e amônio, os microorganismos presentes usam uma parte do nitrogênio mineralizado e contido no solo, para formação de novas células. A adição de materiais orgânicos, dependendo da resistência à decomposição e da relação C/N, faz prevalecer um processo sobre o outro e vice-versa (RUSSEL, 1973; FORBES, 1974; SMITH, 1982).

A taxa de mineralização do nitrogênio nos resíduos vegetais é lenta nas primeiras semanas, independente da composição inicial do resíduo. A imobilização do nitrogênio persiste até que a humificação vai terminando, época em que as atividades dos microorganismos de

decomposição cessam gradualmente, pela falta de carbono facilmente oxidável, seu número decresce, cai a formação de CO_2 e o nitrogênio volta a ser nitrificado (BUCKMAN & BRADY, 1976; HENZELL & VALLIS, 1977).

A mobilização e ou mineralização do N depende de alguma forma do tipo de material a ser decomposto, nem a porcentagem de N nem a relação C/N são suficientes para dirigir o efeito do processo de decomposição a nível do N mineralizado no solo (RUSSEL, 1973).

Fatores como teor de matéria orgânica no solo, atividade microbiana, umidade, temperatura, aeração, relação C/N dos resíduos vegetais e adição de N inorgânico apresentam importante papel na retenção de N adicionado ao solo (fração orgânica), bem como na mineralização e ou imobilização do N (BONETTI, 1982 e RAIJ, 1987).

Resíduos vegetais com baixo teor de N (menos que 1,2 a 1,5% N) como palhadas, incorporados ao solo, causam uma imobilização momentânea das formas inorgânicas do nitrogênio NH_4^+ e NO_3^- (PIETERS, 1927; BARTHOLOMEW, 1965; RUSSEL, 1977 e MIYASAKA, 1984). Essa condição é temporária e se dirige para uma mineralização líquida após a queda do carbono disponível, em poucos dias ou semanas (GILMOUR et alii, 1977). Essa perda é refletida na produção de CO_2 e na elevação da relação C/N do material remanescente (WEBBER & BEAUCHAMP, 1977). Ao contrário, se materiais com mais de 1,8% de N são incorporados ao solo,

um pouco deste nitrogênio será convertido em ions NH_4^+ durante a decomposição (RUSSEL, 1973).

A imobilização e a mineralização são frequentemente expressas em termos da relação C/N do material adicionado ao solo (RUBINS & FIRMAN, 1942; ALLISON & KLEIN, 1962; FORBES, 1974; ALEXANDER, 1977 e LATMAN & BORKET, 1984).

Relações C/N altas (maiores que 30:1) favorecerão a imobilização temporária do nitrogênio inorgânico (ALEXANDER, 1977; SMITH, 1982; LATMAN & BORKET, 1984 e KIEHL, 1985). Suficiente nitrogênio têm que ser adicionado à palha para trazer a relação C/N para 25:1 para atender a demanda dos microorganismos (ALLISSON & KLEIN, 1962). A relação C/N em que a imobilização e a mineralização são aproximadamente equivalentes está entre 30:1 e 15:1 (FORBES, 1974). A relação C/N ideal nos restos culturais para que não haja imobilização do nitrogênio é de 8 a 20:1 (LATMAN & BORKET, 1984).

Relações C/N baixas (menores que 25-30:1), por exemplo leguminosas até o florescimento, permitem uma rápida liberação de amônia e nitratos, que podem ser ionizados, ou não, dependendo pH do solo (ALLISON, 1973), podendo ser absorvidos pelas plantas ou serem lixiviados (GALLARDO et alii, 1980; LATMAN & BORKET, 1984 e MIYASAKA, 1984). Relações C/N estreitas (entre 26 e 35:1) nos resíduos vegetais favorecem uma rápida mineralização

(KIEHL, 1985).

Segundo PICCOLO (1989), nos solos de clima temperado a relação C/N onde a mineralização predomina sobre a imobilização, é de 20:1 no material vegetal. Poucos estudos foram feitos em nossas condições.

BARTHOLOMEW (1965) verificou num ensaio utilizando palha de milho, feno de aveia, soja, alfafa e serragem, que até a 4ª semana de incubação a decomposição da folha de milho aumentou a imobilização de nitrogênio até estabilizar-se e manter-se constante até a 64ª semana. Enquanto que a soja e a alfafa até a 8ª semana imobilizaram mais N, quando então a liberação de N tornou-se estabilizada.

COCHRAN et alii (1980) verificaram que a imobilização do nitrogênio do solo devida a adição de aproximadamente 9.200 kg/ha de palha de trigo incorporada em 4 cm de solo, com e sem a adição de 110 kg de N/ha, foi constante durante 9 semanas e maior em 90% para a palha sem a adição de N. Onde foi aplicado o N inicialmente a imobilização chegou a 90% seguida de uma rápida liberação diminuindo completamente a imobilização até a 7ª semana e a partir da 9ª semana a mineralização líquida estava ocorrendo.

Materiais jovens, frescos, com baixa relação C/N não deveriam ser incorporados ao solo durante o verão, exceto se uma cultura fosse instalada em seguida, pelas

condições favoráveis que causarão rápida decomposição e mineralização com consequente perda de nitratos por lixiviação (PIETERS, 1927 e RUSSEL, 1973). O nitrogênio liberado durante a decomposição dos adubos verdes pode apenas beneficiar a cultura subsequente se esta está suficientemente desenvolvida para absorver o N, tão logo ele seja liberado, ou antes que o nitrato produzido seja lixiviado no solo (RUSSEL, 1973).

A imobilização de N que acompanha a adição ao solo de resíduos vegetais pobres em N é indesejável durante a estação de crescimento, desde que um nutriente crítico torna-se indisponível. A mesma reação pode ser benéfica no outono, em áreas temperadas, porque o nitrato e a amônia são retidos e não são perdidos por lixiviação durante o inverno. Na primavera seguinte, uma parte do N no protoplasma microbiano é mineralizada, pelo menos em parte, em amônia e nitratos que podem ser utilizados pelas plantas. A estação do ano determina se a imobilização é benéfica ou não (ALEXANDER, 1977).

Os resíduos vegetais podem ser incorporados como adubos orgânicos, porém cuidando-se não semear no período em que a decomposição é mais acentuada, a fim de evitar que se produza falta de nitrogênio na planta devido a competição entre esta e os microorganismos do solo (HERNANDEZ et alii, 1983).

A maior parte do nitrogênio do solo

encontra-se fazendo parte de compostos orgânicos e não é desejável que todo esse nitrogênio passe para as formas amoniacais e nítricas, para que seja mantida uma reserva de N do solo na forma orgânica, para que não ocorra lixiviação desses nutrientes quando o solo não estiver sob cultivo (LATMAN & BORKET, 1984). Entretanto durante o ciclo de uma cultura é importante o nitrogênio que é mineralizado da matéria orgânica, bem como o que é imobilizado (RAIJ, 1987).

Segundo KIEHL (1987) a avaliação da capacidade do solo em fornecer nitrogênio disponível é uma questão que até o presente não se acha totalmente resolvida, em grande parte devido à existência de muitas variáveis atuando no processo de utilização do elemento pelas plantas e que dificilmente podem ser reproduzidos em laboratórios.

2.3.4. Efeito Sobre o Solo e a Matéria Orgânica

Os benefícios creditados aos adubos verdes incluem aumento na disponibilidade de nutrientes para as plantas e no conteúdo de matéria orgânica, melhoria na atividade microbiana e nas propriedades físicas do solo. A magnitude dessas melhorias e sua persistência nas condições tropicais e subtropicais tem sido estudada em um número razoável de experimentos de curta e longa duração; entre-

tanto infelizmente eles não forneceram uma resposta sobre questões específicas quanto aos adubos verdes (SINGH, 1984).

VITTI et alii (1979) avaliaram o efeito da incorporação de cinco leguminosas cortadas na floração, sobre algumas características químicas de um LVA arenoso, durante 12 meses. Verificou-se que em todas as épocas de amostragem houve aumento de C, Al^{+3} , H^{+} e da CTC em relação a testemunha, e queda nos teores de Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+} , P e do pH. Até 12 meses após a incorporação das leguminosas ao solo, ainda não se tinha atingido um equilíbrio.

O efeito da incorporação dos adubos verdes sobre as propriedades físicas do solo, depende da quantidade e qualidade da massa produzida (MUZILLI et alii, 1980). A palha e qualquer matéria orgânica morta e intacta, não tem efeito sobre a estrutura do solo. Somente durante a sua decomposição é que se formam substâncias agregantes e estabilizantes dos grumos (PRIMAVESI, 1980). A adubação orgânica com a incorporação de espécies com alto teor de carboidratos, promoverá maior agregação do solo em relação a um material com alto teor de lignina, embora o efeito desta seja mais duradouro (IGUE, 1984).

RESK & PEREIRA (1981) avaliaram a influência da adição ao solo de milho, soja, sorgo, e mucuna mais sorgo em algumas características físicas de um L.V.A. fase cerrado. Em todos os tratamentos ocorreram maiores valores

de retenção de água antes da incorporação do que após; exceção ao tratamento mucuna e sorgo onde os valores foram idênticos. Os valores da densidade aparente e porosidade total tenderam a diminuir, em virtude da decomposição e reorganização da matéria orgânica do solo.

ANDRADE (1983) estudou o efeito da incorporação da fitomassa da *Crotalaria juncea* L. e do resíduo do desfibramento da mesma em determinadas propriedades físicas de uma TRE. Ocorreu redução significativa mas temporária da densidade aparente, entretanto não houve influência na porosidade total, teor de matéria orgânica, Al^{+3} , P e K^{+} . Em estudo semelhante, CHAGAS et alii (1987) incorporaram *C. juncea* L. em um LVE fase cerrado e não observaram variações sobre o pH e concentração de Al^{+3} , Ca^{+2} , Mg^{+2} e porcentagem de matéria orgânica durante os 120 dias de avaliação.

A adubação verde deve ser considerada sob dois pontos de vista: o suprimento de nitratos para as culturas em sucessão, e o aumento da matéria orgânica do solo para incrementar a terra arável e o suprimento de nitrogênio, para uso das futuras culturas. O aumento da matéria orgânica é provavelmente temporária e com certeza não detectável após a decomposição ter se processado por algumas semanas (PIETERS, 1927).

O primeiro benefício apontado para a adubação verde é quanto ao suprimento de matéria orgânica do solo

(BUCKMAN & BRADY, 1976; VITTI et alii, 1979; MUZILLI et alii, 1980 e MUZILLI, 1986).

O conteúdo de humus parece ser aumentado apreciavelmente se o material for razoavelmente resistente à decomposição. Resíduos vegetais com baixos teores de nitrogênio permanecem parcialmente decompostos por longos períodos favorecendo a formação de humus (RUSSEL, 1973 e ALEXANDER, 1977).

Ao contrário, materiais facilmente decomponíveis causam um efeito depressivo na matéria orgânica do solo (BINGEMAN et alii, 1953). A adubação verde tem sido imputada a aceleração da decomposição do humus (RUSSEL, 1973). A matéria orgânica adicionada pelos adubos verdes atua como alimento dos organismos do solo e ajuda a estimular as variações biológicas (BUCKMAN & BRADY, 1976). Substratos frescos às vezes aceleram as vezes reduzem a taxa de decomposição do humus. O aumento da taxa de decomposição é conhecido como efeito "priming" (ALEXANDER, 1977).

Para PRIMAVESI (1980) somente materiais de difícil decomposição podem fornecer humus. Uma adubação verde de leguminosas possui pouca possibilidade de permancer no solo além de 6 (seis) semanas.

GALLARDO et alii (1980) incorporaram ao solo alfafa, fava e ervilhaca, com relações C/N de 12, 16, 21 respectivamente e avaliaram a influência sobre o teor de

matéria orgânica do solo e a disponibilidade de nitrogênio, durante 12 meses. Em todos os tratamentos houve decréscimo da matéria orgânica do solo.

Plantas jovens, suculentas, ricas em nitrogênio elevam imediata e acentuadamente a atividade dos micro-organismos do solo (MUZILLI et alii, 1980). A incorporação de fitomassa verde em quantidades equivalentes a uma adubação verde, multiplica por 2 a biomassa microbiana sem modificar o estoque de carbono do solo (CERRI et alii, 1982).

O uso de adubos verdes e outras adubações orgânicas proporcionam melhorias por curto período, a longo prazo o efeito dessa prática pode ser pequeno ou mesmo acelerar o declínio da matéria orgânica nativa do solo por causa da estimulação da atividade microbiana (SMITH, 1982; CERRI et alii, 1982).

CHRISTENSEN (1987) verificou que a incorporação da palha de cevada (*Hordeum vulgare* L.) na base de 5 t/ha elevou a taxa de decomposição da matéria orgânica do solo.

2.3.5. Efeito fertilizante

A adubação verde tem sido aplicada, na maior parte do mundo, com sucesso mais para aumentar o suprimento de nitrogênio disponível do que o conteúdo de humus do solo (RUSSEL, 1973). Do ponto de vista da fertilidade do

solo e nutrição de plantas, as leguminosas se destacam como plantas preferenciais para adubação verde. Essas espécies não são eficientes quando se deseja melhorar o teor de matéria orgânica e a estabilidade de agregados do solo (MUZILLI, 1984).

Diversos estudos tem confirmado a resposta de culturas econômicas à adubação verde. A intensidade da resposta está relacionada ao manejo das espécies utilizadas para esse fim, como, época de corte e incorporação, época de plantio da cultura após a incorporação, quantidade e composição do adubo verde, forma de manejo e fertilização do adubo verde (PIETERS, 1927; SILVA, 1952; RUIZ & LAIRD, 1961; MIYASAKA et alii, 1967; ALMEIDA et alii, 1975; CHAGAS et alii, 1982; BHARDWAJ & DEV, 1985 e CHAGAS et alii, 1987).

De acordo com PIETERS (1927), materiais muito suculentos incorporados ao solo tem uma liberação de nitratos nas primeiras 8 (oito) semanas, assim é importante que uma cultura em sucessão esteja apta a usar o nitrato dentro desse período.

SILVA (1952) verificou que houve maior resposta do milho semeado após a incorporação da mucuna preta seca, do que após a incorporação da massa verde logo após o corte.

RUIZ & LAIRD (1961) cortaram e incorporaram mucuna preta e *Crotalaria juncea* L. em 4 fases fenológicas (pré-floração, floração, frutificação e maturação) e

semearam milho em sucessão. A produção do milho foi pouco superior onde se incorporou mucuna na frutificação em relação às demais fases. Os rendimentos do milho foram similares para as 4 épocas de corte e incorporação da crotalária.

MIYASAKA et alii (1967) estudaram o efeito da incorporação em sulcos da cobertura morta de soja-perene (1,89% N) e capim-gordura (0,56% N), com e sem adição de P (120 Kg/ha P_2O_5) e N (60 Kg/ha), sobre uma cultura de feijão. A maior produção foi obtida pela incorporação de soja-perene, com adição de fósforo e sem nitrogênio, vindo a seguir o capim-gordura. Na presença de N e P o rendimento do feijoeiro obedeceu a ordem decrescente, capim-gordura, testemunha, soja perene.

Eventualmente efeitos prejudiciais são notados nas culturas semeadas logo após a incorporação e durante o primeiro fluxo de decomposição dos adubos verdes. Quebra de capilaridade, seguida de secamento da superfície, excesso de CO_2 , substâncias alelopáticas, excesso de amônia e nitratos e fungos de "damping-off" podem ser muito desfavoráveis para a germinação das sementes e desenvolvimento das plântulas (ALLISON, 1973; RUSSEL, 1973).

Não obstante, ALMEIDA et alii (1975) observaram efeito significativo da adição ao solo de 25 t/ha de matéria seca de soja-perene não decomposta, no rendimento do feijão-da-seca, semeado imediatamente após a

incorporação dessa fitomassa.

Ao contrário, CHAGAS et alii (1982) obtiveram um aumento de produção de 41% no rendimento do feijão semeado 30 dias após a incorporação da *Crotalaria juncea* L. cortada na floração, em relação à testemunha.

Segundo SINGH (1984), é difícil comparar a eficiência relativa dos adubos verdes com os fertilizantes químicos, mesmo em base de nutriente equivalente. A maneira mais racional de discutir a extensão que o adubo verde pode substituir o nutriente derivado do fertilizante é obter o rendimento equivalente das culturas.

BHARDWAJ & DEV (1985) compararam o efeito fertilizante da incorporação de 5 t/ha de matéria seca de *Sesbania cannabina* (Retz) Pers. cultivada por 45, 55 e 65 dias, à adubação nitrogenada, nas dosagens de 60 e 120 Kg/ha, sobre o rendimento do arroz irrigado. O rendimento do arroz não variou significativamente em função da idade de incorporação da *Sesbania*. A produção obtida equivaleu aproximadamente a adubação com 120 Kg de N/ha.

HIPP (1987) cortou e incorporou trevo (*Melilotus albus* Medik.) durante a floração e estudou o efeito residual deste no rendimento do trigo semeado 120 dias após a incorporação. Com a aplicação de 90 Kg/ha de nitrogênio não se obteve resposta na primeira safra após o trevo, mas na segunda, houve resposta à adubação nitrogenada na produção do trigo.

CHAGAS et alii (1987) verificaram que nas condições de um Latossolo Vermelho Amarelo fase cerrado a adubação fosfatada promoveu um aumento na produção de matéria seca de *Crotalaria juncea* L. de 3 para 10 t/ha, a qual causou um aumento significativo no número de vagens e produção de grãos no feijoeiro semeado em 4 épocas após a incorporação da fitomassa. Concluíram que nessas condições é necessário adubar a *Crotalaria* para obter-se uma produção de matéria seca suficiente para causar efeito na produção do feijão semeado em sucessão.

VASCONCELLOS & PACHECO (1987) compilando trabalhos de diversos autores, concluíram que os benefícios da adubação verde para aumentar a produtividade agrícola e promover melhorias nas condições físico-químicas do solo são por vezes contraditórios, necessitando-se de estudos básicos para se avaliar alterações físicas, químicas e biológicas desta prática.

2.4. Métodos de Avaliação da Taxa de Decomposição

2.4.1. Produção/evolução de CO₂

A produção de dióxido de carbono CO₂ tem sido usada, mais do que qualquer outro parâmetro, para medir a decomposição da matéria orgânica, e é sem dúvida o melhor método disponível, pois todo material vegetal contém

carbono e a perda de CO_2 mostra que a decomposição dos substratos orgânicos no solo, está ocorrendo. Não obstante, o método pode induzir a erros, pois algum CO_2 pode ser absorvido pelo solo e/ou por microrganismos (PETERS, 1927 e BUCKMAN & BRADY, 1976).

Para melhor aferição da decomposição de substâncias orgânicas, usa-se trabalhar com carbono radioativo (^{14}C) que permite acompanhar com maior precisão a produção e o caminamento do CO_2 , através da detecção do $^{14}\text{CO}_2$ evoluído da oxidação microbiana de compostos carbonados marcados com ^{14}C . Neste casos pode-se verificar a origem do CO_2 coletado, se resultado da incubação de materiais vegetais ou de oxidação da matéria orgânica nativa do solo.

Diversos estudos tem sido realizados onde incuba-se determinado material vegetal, marcado ou não com ^{14}C , no solo, e mede-se sua decomposição através da titulação do CO_2 evoluído em períodos regulares (BINGEMAN et alii, 1953; ALLISON & KLEIN, 1962; JENKINSON & AYANABA, 1977; GILMOUR et alii, 1977; CERRI et alii, 1982; HERNANDES et alii, 1983; PERUZZO & TEDESCO, 1983; PARRA, 1986 e CHRISTENSEN, 1987).

BINGEMAN et alii (1953) realizaram 3 experimentos de incubação de substâncias e materiais orgânicos no solo para medir a taxa de decomposição; um experimento com glicose, outro com a planta inteira de alfafa e outro com

azevém comparado com palha de trigo no qual se usou carbono radioativo. O CO_2 evoluído foi coletado em intervalos, pela absorção no (NaOH) e precipitado como $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3$.

GILMOUR et alii (1977) verificaram que a medição do CO_2 evoluído de um substrato incubado em condições de laboratório apresentou tendência similar ao observado em um respirômetro de campo, num período de 50 dias de incubação.

CERRI et alii (1982) avaliaram a decomposição de folhas de cana marcadas com ^{14}C , incubados em laboratório durante 67 dias. O CO_2 produzido era coletado pelo NaOH , e titulado a cada 10 dias com HCl .

HERNANDEZ et alii (1983) incubaram no solo, esterco de ovinos, palha de milho e de soja, com relações C/N 14,2; 46,6 e 47,2 respectivamente, e coletaram o CO_2 evoluído da decomposição desses substratos, durante um ano. A liberação de CO_2 foi proporcional às relações C/N dos materiais.

De acordo com PARRA (1986) a titulação do CO_2 com NaOH , apesar de não ser de alta precisão para medir a decomposição dos adubos verdes, pela sua simplicidade e resultados obtidos, pode ser utilizada com a finalidade de se estudar a suscetibilidade à decomposição apresentada por diferentes resíduos orgânicos.

2.4.2. Extração de nitratos

A produção de amônia e a acumulação de nitratos são outras formas de medir a decomposição de materiais orgânicos adicionados no solo. A acumulação de nitratos mede mais acuradamente o valor para as culturas da decomposição da matéria orgânica. Contudo, esta representa apenas o excedente entre a produção e o consumo microbiano e a perda por lixiviação (PIETERS, 1927).

ALLISON & KLEIN (1962) incorporaram ao solo palha de trigo com 0,44% de N, finamente moída, a qual adicionou-se NaNO_3 para elevar o conteúdo de nitrogênio, na palha, para 2%. A determinação do nitrato extraído foi feita pelo método do ácido fenoldisulfônico. A liberação de nitratos foi inversamente proporcional à decomposição da palha durante as 3 primeiras semanas. Em experimento semelhante COCHRAN et alii (1980) utilizaram a técnica de coleta de lixiviados para determinar a liberação de nitrato, amônia e nitrogênio total oriundos da incubação de palha de trigo com e sem a adição de N inorgânico por 9 semanas.

PERUZZO & TEDESCO (1983) avaliaram a liberação de N pela decomposição de folhas e caules de resteva de milho (*Zea mays* L.) e de tremoço (*Lupinus albus* L.) durante 120 dias, em solo LVE. Após esse período a concentração de nitratos foi superior à de amônia nos tratamentos que não receberam uréia, exceto para o trata-

mento em folha de tremoço. O teor de nitratos elevou-se com a adição de folhas e caules de tremoço.

HEINZMAN (1985), para determinar a mineralização do nitrogênio de diversas coberturas verdes de inverno, utilizou a técnica de extração de nitratos com uma solução de CaCl_2 e determinação por espectrofotometria de absorção ultravioleta.

Segundo KIEHL (1987) os métodos químicos de avaliação da capacidade do solo em fornecer nitrogênio tem dado os mais baixos coeficientes de correlação com os parâmetros biológicos de disponibilidade, como N mineralizado, N absorvido pela planta e produção. Os métodos de incubação (micro biológicos), apesar de lentos e de execução mais difícil, tem apresentado bons resultados porque apresentam uma base mais racional, já que os agentes responsáveis pela liberação de N mineral em condições de laboratório são os mesmos que realizam a mineralização em condições de campo.

2.4.3. Ensaio biológico com plantas testes

A adubação orgânica, na qual está incluída a adubação verde, objetiva precipuamente a restituição e manutenção da fertilidade do solo, a qual se reflete diretamente na produtividade das culturas. Dos nutrientes liberados no solo durante a decomposição dos materiais

orgânicos, o nitrogênio é o que maior efeito produz sobre as culturas e sua disponibilidade é fortemente influenciada pela composição química original do material incorporado ao solo.

Assim sendo, diversos trabalhos tem sido realizados para avaliar a taxa de mineralização de uma adubação orgânica e seu poder fertilizante em culturas que apresentam um nível elevado de resposta ao nitrogênio. Nestes casos geralmente, faz-se a confrontação com a adubação nitrogenada mineral (RUBINS & FIRMAN, 1942; MUNSON & PESEK, 1958; RUIZ & LAIRD, 1961; HENZELL & VALLIS, 1977; MUZILLI, 1978; TURNER et alii, 1983; HEINZMAN, 1985 e BHARDWAJ & DEV, 1985).

RUBINS & FIRMAN (1942) testaram 34 materiais orgânicos de várias origens quanto à sua decomposição e a liberação de N no solo, utilizando como planta teste o sorgo (*Sorghum bicolor* L.) o qual foi cultivado por 60 dias. Neste caso, avaliou-se o peso de material verde e seco da parte aérea e raízes e o conteúdo de N no sorgo.

MUNSON & PESEK (1958) avaliaram a decomposição e a mineralização de N da palhada de milho e a resposta da aveia semeada após 0, 15, 30 e 45 dias da incubação. Foram utilizadas 5 dosagens de nitrogênio adicionadas à palhada. O rendimento de N na aveia refletiu a influência da palha de milho e da aplicação de N inorgânico na liberação de N no solo. Esse rendimento proporcionou uma

medida mais direta da disponibilidade do N do que o rendimento de matéria seca da aveia. TURNER et alii (1983) também empregaram esta espécie como planta extratora de N liberado durante a decomposição de folhas de soja moidas e incorporadas no solo à base de 5%.

De acordo com BARTHOLOMEW (1965) a absorção de nitrogênio pelas plantas tem mostrado ser semelhante à extração química como indicativo do nitrogênio disponível no solo. Todavia, como o N inorgânico adicionado junto com os resíduos vegetais raramente tem sido quantitativamente recuperado por uma cultura em crescimento, algumas dúvidas podem ser levantadas quanto à acuidade desse método.

HENZELL & VALLIS (1977) na Austrália estudaram a absorção de N pelo Capim-de-Rodes (*Chloris gayana* Kunth.) após a incorporação de resíduos de leguminosas, em vasos, durante 24 semanas. Verificaram que a porcentagem de N absorvido pelo Capim-de-Rodes aumentou com o aumento do teor de N no resíduo vegetal e com o tempo de incubação.

BHARDWAJ & DEV (1985) utilizaram a produção de matéria seca, a concentração de N e o rendimento de grãos do arroz como parâmetros para avaliação da decomposição e do efeito fertilizante da *Sesbania cannabiana* L, cultivada por 45, 55 e 65 dias.

O painço (*Panicum miliaceum* L) é uma espécie versátil e adequada para utilização como planta teste em ensaios de decomposição de resíduos vegetais,

principalmente quanto a liberação de nitrogênio, devido ao seu ciclo curto. De acordo com PURSEGLOVE (1989) o painço apresenta um ciclo total de 60 a 90 dias. GARGANTINI & SOARES (1974) verificaram uma excelente resposta desta espécie à aplicação de nitrogênio, sendo que no estudo da ação do N, o corte pode ser feito aos 30, 60 ou 71 dias do desenvolvimento da planta.

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1. Experimento de Campo (I)

3.1.1. Local

O experimento foi conduzido em área experimental do Departamento de Agricultura da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - USP, na qual havia sido cultivado anteriormente trigo.

3.1.2. Solo

O solo onde foi instalado o experimento foi classificado como Terra Roxa Estruturada, eutrófica, Tb, A moderado, textura argilosa ¹, cujas características físicas e químicas, são apresentadas na tabela 1.

1. VIDAL TORRADO, P. - Comunicação Pessoal

Tabela 1. Composição granulométrica e química do solo do experimento de campo. Laboratório de Solos(IAPAR)

Perfil	0-20 cm	20-40 cm
Argila %	45	43
Silte %	6	8
Areia %	49	49
$\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$	4,6	4,7
Al^{+3}	0,15	0,13
$\text{H}^+ + \text{Al}^{+3}$	4,42	4,42
Ca^{+2}	4,72	5,10
Mg^{+2}	0,90	1,07
K^+	0,68	0,47
%C	1,10	0,96
* P (ppm)	8,8	5,7

dap = 1,6 (método da areia)

* método "MEHLICH"

3.1.3. Leguminosas estudadas

As espécies utilizadas neste experimento foram a *Crotalaria juncea* L. e a mucuna preta (*Mucuna aterrima*), (Piper e Tracy) Holland. Ressalta-se que as sementes da primeira foram inoculadas com a estirpe CPAC B-10, enquanto a outra foi inoculada com a estirpe CPAC f-2.

3.1.4. Método Operacional

A área experimental recebeu uma aração e três gradeações. Não foi empregado calcário ou adubação química. A semeadura realizou-se em 02/12/88, manualmente, sendo que para a *Crotalaria juncea* L. foi empregado o arranjo espacial correspondente a 0,5 m X 10 pl/metro linear, e para a mucuna preta 0,5 m X 5 pl/metro linear, em parcelas de 300 m². O experimento recebeu uma capina, após a qual ocorreu completa cobertura do solo.

0,5 X 10 plantas

3.1.5. Determinações efetuadas

Durante o transcorrer do experimento, a cada 28 dias, a partir da emergência e até a maturação morfológica (pós secagem total) das 2 espécies, foram coletadas 4 plantas por parcela em cada amostragem para a determinação de seus teores de carbono, nitrogênio e relação C/N, bem como suas respectivas curvas de comportamento.

Essas análises foram realizadas no Laboratório de Nutrição Mineral do Departamento de Química da ESALQ-USP.

A porcentagem de C nas amostras foi obtida pela queima do material a 550 °C por 2,5 h, segundo procedimento proposto por NELSON & SOMMERS (1982).

A porcentagem de N nas amostras foi obtida pelo método KJELDAHL, de acordo com SARRUGE & HAAG (1974).

A relação C/N em cada amostragem foi obtida pela divisão direta dos teores de C e N determinados.

Ainda, nas parcelas utilizadas para as determinações dos teores de C e N, efetuaram-se cortes nos seguintes estádios fenológicos: PRÉ-FLORAÇÃO, FLORAÇÃO, FRUTIFICAÇÃO e MATURAÇÃO MORFOLÓGICA, definidos como tratamentos, para ambas as espécies, em área de 1 m², efetuando-se 4 repetições por amostragem.

Para a determinação de matéria seca produzida, nos diferentes tratamentos, as fitomassas obtidas nesses cortes foram secas em estufa a 60-65 °C por 5 dias. Ressalta-se que essas determinações restringiram-se à parte aérea das duas leguminosas, devido a limitações operacionais para quantificação precisa do sistema radicular das mesmas.

Após a retirada de amostras para as análises químicas, as fitomassas obtidas em cada época de corte, foram armazenadas em local seco e ventilado, para serem utilizadas nos experimentos II e III, os quais serão relatados a seguir.

3.2. Experimento de Laboratório (II) (Respirometria)

Esse experimento foi conduzido no laboratório de Química de Solo do CENA-USP, valendo-se das fitomassas obtidas no experimento I, utilizando-se o método proposto CERRI et alii (s/d).

3.2.1. Solo

O solo utilizado nesse experimento foi retirado do local onde se conduziu o experimento I.

Este foi seco à sombra, por 48 horas, e passado em peneira de malha 2 mm, obtendo-se assim a Terra Fina Seca ao Ar (TFSA). Em seguida determinou-se o teor de água nesta TFSA, submetendo a amostra, à temperatura de 105°C por 24 horas em estufa. A partir desta Terra Fina Seca em Estufa (TFSE) estabeleceu-se a relação entre a TFSA e TFSE. Essa relação forneceu o coeficiente de correção para a utilização de TFSA, equivalente em peso a TFSE.

3.2.2. Método Operacional

Foram empregadas as fitomassas provenientes do corte das duas leguminosas nas fases fenológicas estipuladas: PRÉ-FLORAÇÃO, FLORAÇÃO, FRUTIFICAÇÃO e MATURAÇÃO MORFOLÓGICA. As fitomassas da *Crotalaria juncea* L. foram moidas em moinho de facas em malha 1 mm, enquanto que as da mucuna preta em malha 0,5 mm.

Foram pesados 40 g de TFSA, e colocados em frascos de vidro de 100 ml de capacidade.

Para realizar uma simulação analógica às condições de decomposição das leguminosas no campo, a

quantidade de material vegetal incubado nos frascos foi calculada tomando-se por base os rendimentos de matéria-seca obtidos no experimento I, restringindo-se o peso àquele proporcional ao tratamento com menor produção e, ainda, considerou-se que essa quantidade corresponderia a incorporação a uma profundidade de 15 cm.

A partir dos critérios estabelecidos anteriormente e guardando-se relação entre peso de fitomassa incorporada e peso de solo onde se faria a distribuição, estabeleceu-se que seriam incubados 80 mg de fitomassa para todos os tratamentos. Cumpre ressaltar que para determinar o volume de água a ser adicionado nos tratamentos, para o período de incubação, utilizou-se o método que simula o princípio da capacidade de campo, segundo MARCOS¹, descrito por COSTA (1981) e denominado TSFM (torrão separado pela frente de molhamento). Esse método preconiza colocação de, aproximadamente, 150 g da amostra de terra (TSFA) numa cápsula de alumínio e a adição de 2cc de água destilada; em seguida, após 10 segundos, retira-se o torrão úmido separado pela frente de molhamento, o qual é imediatamente pesado, obtendo-se assim o peso úmido (Fu), sendo o teor de água do torrão determinado pelo método gravimétrico.

Após o molhamento, cada frasco foi colocado em um recipiente de vidro de aproximadamente 4 litros de

1. MARCOS, Z.Z. (1981) Comunicação particular segundo COSTA 1981.

capacidade. A seguir, em cada recipiente foi colocado outro frasco contendo 10 ml da solução de NaOH 1 N, cuja função foi reter o C mineralizado da fitomassa incubada no solo, que evoluiu na forma de CO_2 , fixando-se na forma de NaCO_3 , através da seguinte reação:

Foram incubados também outros 3 frascos somente com NaOH para estabelecer-se uma prova em branco, cuja finalidade foi de determinar o CO_2 presente no interior do recipiente de vidro.

Após esses procedimentos os jarros de vidro foram fechados hermeticamente e mantidos à temperatura ambiente de 20-25 °C. Neste ensaio, adotou-se um arranjo experimental inteiramente casualizado, com 4 repetições, exceto para a prova em branco, conforme apresentado a seguir.

- (1) . Solo sem incorporação de fitomassa (testemunha)
- (2) . *Crotalaria*/pré-floração
- (3) . *Crotalaria*/floração
- (4) . *Crotalaria*/frutificação
- (5) . *Crotalaria*/maturação morfológica
- (6) . *Mucuna*/pré-floração
- (7) . *Mucuna*/floração
- (8) . *Mucuna*/frutificação
- (9) . *Mucuna*/maturação morfológica

A quantidade de CO_2 evoluído, isto é, liberado pela ação de decomposição da fitomassa por microorganismos em função do tempo, em cada amostra foi determinada aos 7, 14, 21, 28, 42, 56 e 70 dias, procedendo-se a substituição do frasco com soda, em cada recipiente, após cada amostragem.

A titulação da quantidade de NaOH remanescente permitiu calcular, por diferença, a quantidade de CO_2 fixado, através da fórmula:

$$\frac{(B-T) \times \text{Nac.} \times 6 \times V_1}{\text{peso solo} \times V_2} \times 1000 = \mu\text{g C/g solo}$$

onde:

B = branco, média dos valores em ml de HCl obtidos na titulação dos três frascos com soda incubados somente para quantificar o CO_2 da atmosfera no interior do jarro de vidro.

T = ml de HCl gasto na titulação de cada amostra

Nac = normalidade do ácido usado na titulação

6 = peso de C que corresponde a $\frac{1}{2}$ eq.g de CO_2

(1 eq g soda $\frac{1}{2}$ eq.g CO_2)

V_1 = volume de soda usado na absorção de CO_2

V_2 = volume de soda titulado

Essa titulação foi repetida, semanalmente, até a 4ª semana, permitindo a construção de várias curvas de produção de CO_2 evoluído durante o período de incubação.

3.3. Experimento em casa-de-vegetação (III) (teste biológico)

Este experimento foi conduzido paralelamente ao experimento II, tendo sido iniciado 15 dias após a instalação daquele e constou de 3 épocas de semeadura de uma planta teste, após a incubação das fitomassas no solo, cujo detalhamento metodológico será efetuado a seguir.

3.3.1. Solo e local

Este experimento foi realizado em casa-de-vegetação do Depto de Agricultura da ESALQ-USP, sendo utilizado o mesmo solo usado no experimento anterior.

3.3.2. Método Operacional

Este experimento foi conduzido concomitante-mente ao experimento II, tendo sido iniciado após a 2ª amostragem de CO_2 (14 dias após a incubação).

Os tratamentos de incorporação ao solo das fitomassas obtidas nos diferentes cortes foram similares ao experimento anterior, quais sejam:

- (1) . Testemunha
- (2) . Crotalaria/pré-floração

- (3) . Crotalaria/floração
- (4) . Crotalaria/frutificação
- (5) . Crotalaria/maturação morfológica
- (6) . Mucuna/pré-floração
- (7) . Mucuna/floração
- (8) . Mucuna/frutificação
- (9) . Mucuna/maturação morfológica

Utilizou-se como planta teste o painço (*Panicum miliaceum* L.), cuja semeadura ocorreu 15, 30 e 45 dias após incubação das fitomassas, respectivamente correspondentes a 13, 28/09 e 13/10/89.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados com 4 repetições.

Foram usados recipientes de 1 l, revestidos com sacos de polietileno, os quais, a seguir, foram enchidos com 1,03 Kg de TFSA. O solo recebeu uma adubação de 650 mg de superfosfato simples, correspondente a 126 ppm de P_2O_5 . Em seguida foram misturados ao solo 2,0 g das fitomassas, por recipiente, efetuando-se, em seguida, a homogenização desses materiais, por 30 segundos.

O teor de água a ser mantido em cada tratamento durante o período de incubação e o desenvolvimento do painço, foi calculado pelo método que simula o princípio da capacidade de campo, segundo MARCOS¹, citado por COSTA (1981) e denominado TSFM (torrão separado pela frente de molhamento).

As reposições de água nas latas foram feitas a intervalos de 3 a 4 dias, de acordo com as perdas verificadas gravimetricamente. A reposição do volume perdido foi fundamentada na manutenção de teor de água correspondente a 70 % da quantidade necessária para a capacidade de campo.

Decorridos os períodos de tempo pré-estabelecidos a partir da data de incorporação das fitomassas, semeou-se o painço, na base de 50 sementes por recipiente, realizando-se o desbaste 3 dias após a emergência das plântulas, mantendo por vaso, 20 plantas.

O corte das plantas-teste foi efetuado na fase de emorrachamento, que ocorreu, aproximadamente, 30 dias após a emergência.

Após o corte, as plantas de Painço foram secas em estufa, a 65 °C por 5 dias; em seguida foram pesadas, sendo posteriormente determinados os teores de N pelo método KJELDAHL, segundo SARRUGE & HAAG (1974). Finalmente, com os valores de peso seco e porcentagem de N calculou-se o N extraído em mg/vaso.

3.4. Procedimento Estatístico

Os dados obtidos no experimento I (de Campo) foram analisados em delineamento inteiramente casualizado com 4 repetições. Os esquemas utilizados para análise de variância são apresentados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2. Esquema da análise de variância para cada espécie com os dados obtidos no ensaio de campo

Causas de Variação	Graus de Liberdade	
	Crotalaria	Mucuna
Tratamentos (épocas)	10	8
Resíduo (A)	33	27
Total	43	35

Para melhor visualização dos resultados da composição química, os dados foram ajustados com regressões polinomiais.

Tabela 3. Esquema da análise de variância para os dados de produção de matéria seca, %C, %N e relação C/N e C e N adicionados em ambas as leguminosas

Causas de Variação	GL
Tratamentos (épocas de corte)	3
Resíduo (A)	12
Total	15

Os resultados do experimento II (respirometria) foram analisados segundo o esquema detalhado na tabela 4.

Tabela 4. Esquema da análise de variância para *Crotalaria juncea* L. e mucuna preta incubadas no solo

Causas de Variação	GL
Épocas	6
Resíduo (A)	21
Tratamento	8
Época x Tratamento	48
Resíduo (B)	168
Total	251

Os dados do experimento III (casa-de-vegetação) foram analisados segundo o modelo descrito na tabela 5.

Tabela 5. Esquema da análise de variância para peso-seco, % de N e N extraído pelo painço

Causas de Variação	GL
Épocas	2
Resíduo (A)	6
Tratamento	8
Época x Tratamento	16
Resíduo (B)	72
Total	104

A comparação entre as médias foi efetuada através do teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

4. RESULTADO

As condições climáticas durante a condução do experimento I foram consideradas satisfatórias ao pleno desenvolvimento das plantas de *Crotalaria juncea* L. e mucuna preta.

A emergência das plântulas no experimento de campo, deu-se em 6 dias para a *Crotalaria* e 12 dias para a mucuna.

As plantas desenvolveram-se vigorosamente, sendo que a *crotalaria* na floração, atingiu 2,5 m de altura em média, sendo que baixas temperaturas ocorridas durante a frutificação e maturação dessa espécie, alongaram o seu ciclo.

Os cortes nas 4 (quatro) fases fenológicas pré-estabelecidas para a produção de fitomassa seca, em alguns casos, coincidiram com as datas de amostragem para a determinação da composição química das leguminosas ao longo do tempo. Na maturação morfológica a matéria seca foi obtida após a colheita das vagens, as quais foram colhidas manualmente, quando na parcela havia mais de 90% de vagens maduras.

4.1. Composição Química da *Crotalaria juncea* L. e da mucuna preta

A composição percentual de carbono, nitrogênio e a relação C/N da *Crotalaria juncea* L. e da mucuna preta, desde 28 dias após a emergência até a maturação completa são relatadas a seguir.

Para melhor visualização dos dados obtidos procurou-se ajustar os valores de cada variável através de regressões polinomiais sendo que, em algumas variáveis o coeficiente de determinação da equação de regressão não foi satisfatório, devido à grande dispersão dos dados.

Os resultados da porcentagem de carbono dessas espécies são apresentados no apêndice, figuras 1, 2. Este elemento apresentou uma pequena variação ao longo do tempo e reduzida influência sobre a relação C/N das leguminosas. Nas duas primeiras amostragens, até 56 dias após a emergência, a porcentagem de C situou-se entre 46 e 48% na *crotalaria* e 47 e 49% na mucuna-preta, após essa data oscilou entre 54-57% e 52-55%, respectivamente, para a *crotalaria* e a mucuna preta, até a última amostragem.

A concentração percentual de N e a relação C/N da *crotalaria*, podem ser observadas nas figuras 1 e 2. Nestas, nota-se que as duas variáveis comportaram-se como uma função de 3^o grau, mas com tendências opostas. Entretanto o coeficiente de determinação (R^2) de 0,63 para o

nitrogênio e 0,70 para a relação C/N indica que a regressão cúbica permite um ajuste limitado dos dados.

Na Figura 1 verifica-se que inicialmente a concentração de N estava no seu valor máximo; com o desenvolvimento da planta esta decresceu acentuadamente até a fase de pré-floração (71 dias), após a qual elevou-se, coincidindo com a floração (96 dias) e início de frutificação; em seguida iniciou-se uma redução gradativa no teor de N, o qual atingiu seu valor mínimo na maturação morfológica.

Na Figura 2 pode-se observar que a relação C/N na crotalaria estava reduzida nas fases iniciais, elevou-se rapidamente até a pré-floração, declinando depois dessa fase até a floração. Após esta evidenciou-se uma pequena elevação, a qual tornou-se mais acentuada do final da frutificação até a maturação.

Nas Figuras 3 e 4 são apresentados os valores da concentração de nitrogênio e relação C/N da mucuna preta durante seu ciclo completo. A exemplo do efetuado para a crotalaria, ajustaram os dados através de uma regressão polinomial, sendo modelo quadrático significativo para as duas variáveis. O coeficiente de determinação (R^2) de 0,67 e 0,82 para a porcentagem de N e relação C/N, respectivamente, indica que essas funções podem explicar parcialmente o comportamento dessas variáveis.

Na Figura 3 verifica-se que a concentração de N na mucuna decresceu das fases iniciais até atingir seu valor mínimo na pré-floração (126 dias). após essa fase elevou-se progressivamente até os 168 dias mantendo-se constante até o final do ciclo. Ao contrário do verificado para a crotalaria, na floração (140 dias) não ocorreu o 2º pico na concentração de nitrogênio, para a mucuna. Nesta espécie a amplitude das variações na porcentagem de N, foram menores que as observadas na crotalaria.

Na Figura 4 pode-se observar que a relação C/N até os 56 dias após a emergência, esteve abaixo de 20. Com o desenvolvimento os valores elevaram-se atingindo seu valor máximo na pré-floração, declinando a seguir até a maturação morfológica.

4.2. Influência da época de Corte

4.2.1. Rendimento de Matéria Seca

Na Tabela 6 são apresentados os rendimentos de matéria seca em kg/ha do corte da crotalaria e da mucuna nos estádios de pré-floração, floração, frutificação e maturação morfológica. Nesta Tabela pode-se observar que a produção de matéria seca da crotalaria cortada na maturação morfológica e frutificação não diferiram entre si, mas foram significativamente superiores aos cortes na floração e pré-floração. Entre estes, o corte na floração

Figura 1. Teor percentual de nitrogênio na *Crotalaria juncea* L.) durante seu ciclo. Os pontos representam médias de quatro repartições.

Figura 2. Relação C/N da *Crotalaria juncea* L. durante seu ciclo completo. Os pontos representam médias de quatro repetições.

Figura 3. Teor percentual de nitrogênio da mucuna preta durante seu ciclo completo. Os pontos representam médias de quatro repetições.

Figura 4. Relação C/N da mucuna preta durante seu ciclo completo. Os pontos representam médias de quatro repetições.

superou o corte na pré-floração.

Na mucuna preta os cortes da frutificação e maturação proporcionaram maiores rendimentos que os cortes na floração e pré-floração.

Tabela 6. Produção de matéria-seca em kg/ha em função do corte em diferentes estádios fenológicos da *Crotalaria juncea* L. e mucuna preta, média de quatro repetições

época de Corte	Crotalaria		Mucuna	
Pré-floração	8180	c*	3850	b
Floração	12330	b	3870	b
Frutificação	15190	a	5370	a
Maturação morfológica	15750	a	6080	a

* Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

4.2.2. Teor de Carbono, Nitrogênio e Relação C/N

As tabelas 7 e 8 mostram os resultados da concentração de carbono, nitrogênio e relação C/N da crotalaria e da mucuna preta cortada nos 4 estádios fenológicos referidos anteriormente.

Na Tabela 7 pode-se observar que para composição percentual de carbono da crotalaria, os cortes na pré-floração, floração e frutificação foram

estatisticamente iguais entre si. Os cortes na floração, frutificação e maturação morfológica também não diferiram entre si quanto a concentração desse elemento. Houve apenas diferença entre pré-floração e maturação, este com maior teor de C.

Para a concentração de N os cortes na pré-floração, floração e frutificação foram estatisticamente iguais entre si. Entre pré-floração e maturação não se observou diferença. Enquanto que floração e frutificação apresentaram um teor significativamente maior que a maturação morfológica.

Para a relação C/N os cortes na pré-floração, floração, frutificação foram iguais entre si e diferiram da maturação morfológica.

Tabela 7. Composição percentual de carbono, nitrogênio e relação C/N da *Crotalaria juncea* L. cortada em 4 estádios fenológicos. Médias de 4 repetições

Tratamentos	%C	%N	Relação C/N
Pré-floração	54,31 b*	1,38 ab	39,81 b
Floração	55,30 ab	2,08 a	27,27 b
Frutificação	55,10 ab	1,94 a	31,02 b
Maturação morfológica	56,22 a	0,74 b	77,72 a

* Em cada coluna médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

Na Tabela 8 podem ser analisada as porcentagens de carbono, nitrogênio e a relação C/N para as épocas de corte da mucuna preta.

Para a porcentagem de carbono os cortes na pré-floração, floração e frutificação foram estatisticamente iguais entre si. Os cortes de pré-floração, floração e maturação morfológica foram iguais entre si. Apenas os cortes na frutificação e maturação diferiram entre si.

Para a porcentagem de N e relação C/N as 4 épocas de corte foram estatisticamente iguais entre si. Houve entretanto uma pequena tendência para os cortes na frutificação e maturação apresentarem maiores valores para a concentração de N e menores para a relação C/N.

Tabela 8. Composição percentual de carbono, nitrogênio e a relação C/N da mucuna preta cortada em 4 estádios fenológicos. Média de 4 repetições

Tratamentos	%C	%N	Relação C/N
Pré-floração	54,01 ab*	1,99 a	27,58 a
Floração	54,08 ab	2,16 a	25,77 a
Frutificação	54,38 a	2,35 a	23,32 a
Maturação morfológica	53,21 b	2,32 a	23,06 a

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

4.2.3. Acúmulo de Carbono e Nitrogênio

Para as mesmas épocas de corte calculou-se a quantidade de carbono e nitrogênio acumulados em cada espécie. Tal cálculo baseou-se no peso da matéria seca produzida e na concentração daqueles nutrientes em cada época.

Na Tabela 9 são apresentados os resultados para a crotalaria na qual verifica-se que nos cortes na frutificação e maturação acumulou-se, significativamente, mais carbono que na pré-floração e floração. Entre estas o acúmulo de carbono foi significativamente superior na floração. Quanto ao nitrogênio, o acúmulo foi equivalente na floração e frutificação, e foi significativamente superior aos observados nos cortes na pré-floração e maturação. Nestas o acúmulo de nitrogênio não diferiu estatisticamente.

Tabela 9. Carbono e nitrogênio acumulados nos diferentes estádios fenológicos da *Crotalaria juncea* L. em kg/ha. Média de 4 repetições

Tratamentos	C Acumulado		N Acumulado	
Pré-floração	4445,0	c*	112,4	b
Floração	6812,8	b	254,7	a
Frutificação	8867,5	a	289,9	a
Maturação morfológica	8860,5	a	113,3	b

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

A Tabela 10 mostra o incremento de carbono e nitrogênio nas 4 épocas de corte da mucuna preta. O acúmulo de carbono foi superior na frutificação e maturação morfológica. Entretanto nesta fase o acúmulo não foi significativamente superior aos cortes na floração e pré-floração.

Não ocorreram diferenças estatisticamente significativas no acúmulo de nitrogênio entre os cortes na frutificação e maturação ou entre os cortes na floração e pré-floração. Entretanto, o acúmulo foi maior no primeiro grupo.

Tabela 10. Carbono e nitrogênio acumulados nos diferentes estádios fenológicos da mucuna preta em kg/ha. Média de 4 repetições

Tratamentos	C Adicionado		N Adicionado	
Pré-floração	2077,0	b*	75,0	b
Floração	2093,3	b	83,9	b
Frutificação	3306,0	a	143,0	a
Maturação morfológica	2860,3	ab	124,8	a

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

4.3. Decomposição da Fitomassa das Leguminosas

4.3.1. Produção/evolução de CO_2

Para efeito de apresentação dos resultados agruparam-se a evolução de CO_2 em cada amostragem e a produção acumulada para cada espécie em função dos tratamentos.

A Figura 5 mostra a produção/evolução de C-CO_2 em cada época de amostragem para a crotalaria, enquanto que na Figura 6 é apresentada a produção acumulada de C-CO_2 para a espécie mencionada.

Na primeira observa-se que a produção de CO_2 foi elevada aos 7 dias, declinando a seguir, mantendo-se estabilizada até a amostragem aos 28 dias. Na amostragem aos 42 dias houve um pequeno incremento na liberação de CO_2 . Por outro lado, na última amostragem, aos 70 dias, a evolução retornou aos patamares observados aos 28 dias.

Entre os tratamentos, relativos à crotalaria a fitomassa obtida na floração produziu, inicialmente, maior quantidade de CO_2 , indicando que o ataque dos micro-organismos foi mais intenso sobre esse substrato, porém, com o decorrer da incubação a evolução de CO_2 foi menor. A partir de 42 dias os tratamentos de pré-floração e maturação morfológica superaram os demais na produção de CO_2 , principalmente este último. A decomposição da frutificação em princípio, assemelhou-se à maturação, com

a continuidade de incubação a liberação de CO_2 situou-se em patamar semelhante à floração.

Na produção acumulada de CO_2 (Figura 6) não se observaram diferenças significativas entre os tratamentos durante a incubação. Entretanto pode-se verificar que nas últimas amostragens, os tratamentos da pré-floração e maturação morfológica tenderam a produzir mais CO_2 que os dois outros tratamentos.

EVOLUÇÃO DE CO₂ / ÉPOCA CROTALARIA

Figura 5. Produção/evolução de CO₂ em µg C-CO₂ /g de solo pela incubação da fitomassa da Crotalaria cortada em 4 estádios fenológicos. Média de 4 repetições.

ACUMULAÇÃO DE CO₂ CROTALARIA

Figura 6. Produção acumulada de CO₂ em µg C-CO₂/g de solo pela incubação da crotalaria cortada em 4 estádios fenológicos. Média de 4 repetições.

Nas Figuras 7 e 8 são apresentados os resultados da produção de CO_2 em cada amostragem e a acumulação deste elemento ao longo do período de incubação das fitomassas da mucuna preta.

A Figura 7 mostra que na primeira amostragem a evolução de CO_2 foi grande, decaindo a seguir e tendo um 2º pico aos 42 dias. Este comportamento foi similar ao da crotalaria exceto pela queda na evolução de CO_2 após esse 2º pico.

Ao contrário da crotalaria, o tratamento da pré-floração teve maior produção de CO_2 que os demais tratamentos, principalmente na primeira amostragem, embora nessa data não tenha diferido significativamente da floração. Nas amostragens subsequentes até o final da incubação não ocorreram diferenças na evolução de CO_2 entre os tratamentos.

A produção acumulada de CO_2 pelos 4 tratamentos pode ser vista na Figura 8. Nesta pode-se observar que a pré-floração foi o tratamento que teve a maior produção de CO_2 . Não houve entretanto diferença estatística entre aquele tratamento e a floração. A maturação morfológica teve a menor produção acumulada de CO_2 dos 4 tratamentos, sendo que nas duas primeiras amostragens equiparou-se à testemunha.

EVOLUÇÃO DE CO₂ / ÉPOCA MUCUNA PRETA

Figura 7. Produção de CO₂ em $\mu\text{g C-CO}_2 / \text{g}$ de solo pela incubação da fitomassa da mucuna preta cortada em 4 estádios fenológicos. Média de 4 repetições.

ACUMULAÇÃO DE CO₂ MUCUNA PRETA

Figura 8. Produção acumulada de CO₂ em µg C-CO₂ /g de solo pela incubação da fitomassa de mucuna preta cortada em 4 estádios fenológicos. Média de 4 repetições.

4.4. Efeito Fertilizante das Leguminosas

4.4.1. Produção de matéria seca pelo painço

Os rendimentos de matéria seca do painço (*Panicum miliaceum* L.), semeado após 3 períodos de incubação das fitomassas da *Crotalaria juncea* L. e mucuna preta, são apresentados na Tabela 11.

A produção do painço semeado 15 dias depois da incorporação das leguminosas, foi equivalente para todos os tratamentos, inclusive para a testemunha, exceção à adição de crotalaria na maturação morfológica que causou uma depressão significativa no rendimento de matéria seca, comparado ao solo sem a adição de fitomassa.

Com maior período de incubação, os tratamentos se diferenciaram quanto ao efeito sobre o painço. Após 30 dias de incorporação, os tratamentos; crotalaria pré-floração e mucuna pré-floração, floração e maturação morfológica promoveram os maiores aumentos na produção de matéria seca. Entretanto a fitomassa da crotalaria na pré-floração, floração e mucuna na frutificação e maturação não diferiram significativamente da testemunha. A crotalaria na frutificação também não diferiu da testemunha, apenas a crotalaria na maturação manteve seu efeito depressivo sobre a produção do painço, provavelmente devido a imobilização de nitrogênio do solo.

Comparando-se os 4 estádios fenológicos na

mesma espécie, verifica-se que na crotalaria a fitomassa proveniente de pré-floração e floração foram mais efetivas que aquela relativa à frutificação e esta mais que a maturação. Na mucuna, a fitomassa proveniente da pré-floração e floração incrementaram o rendimento do painço. A maturação também favoreceu a maior produção de matéria seca, embora sem diferir significativamente da frutificação e da testemunha.

Apesar do período mais longo de incorporação, 45 dias, não ocorreram mudanças significativas às verificadas aos 30 dias. Na crotalaria os melhores tratamentos foram a pré-floração e a floração; sendo a frutificação e a maturação inferiores à testemunha. Na mucuna o comportamento foi idêntico ao observado com a semeadura do painço após 30 dias da adição das fitomassas.

4.4.2. Teor de nitrogênio nas plantas de painço

O efeito da incorporação das fitomassas das leguminosas sobre a concentração de nitrogênio na parte aérea do painço é mostrado na tabela 12.

Após 15 dias, não ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos, embora a fitomassa da floração tenha causado maior concentração de N que a frutificação nas duas espécies. Depois de 30 dias não se alterou a relação entre os tratamentos, à exceção da crotalaria-maturação que pelo menor desenvolvimento do

Tabela 11. Produção de matéria seca (g/vaso) pelo painço (*Panicum miliaceum* L.) semeado em 3 épocas a incorporação da fitomassa da *Crotalaria juncea* L. e mucuna preta cortadas em diferentes estádios fenológicos. Média de 4 repetições

Tratamentos	épocas de semeadura (dias)			Média das Épocas
	15	30	45	
Testemunha	2,53 a*	2,94 bc	3,87 b	3,11 c
C				
R Pré-floração	2,51 a	3,49 ab	4,26 ab	3,42 bc
O				
T Floração	2,56 a	2,99 b	4,11 ab	3,22 c
A				
L Frutificação	2,29 a	2,37 c	3,25 c	2,64 d
A				
R Maturação				
I morfológica	1,50 b	1,60 d	2,56 d	1,89 e
A				
M				
U Pré-floração	2,85 a	3,65 a	4,71 a	3,74 ab
C				
U				
N Floração	2,81 a	3,84 a	4,67 a	3,78 a
A				
P Frutificação	2,67 a	2,94 bc	3,85 bc	3,22 c
R				
E				
T Maturação				
A morfológica	2,64 a	3,29 ab	4,16 ab	3,36 c

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste Tukey a 5%.

Tabela 12. Concentração de nitrogênio na parte aérea do painço (*Panicum miliaceum* L.) semeado após 3 períodos de incorporação da fitomassa da *Crotalaria juncea* L. e mucuna preta obtidas em distintos estados fenológicos. Média de 4 repetições.

Tratamentos	épocas de semeadura (dias)			Média das épocas	
	15	30	45		
Testemunha	1,08 ab*	0,76 b	0,76 a	0,87 a	
C R D T A L A R I A	Pré-floração	1,03 ab	0,87 ab	0,66 a	0,85 a
	Floração	1,13 ab	0,98 ab	0,82 a	0,98 a
	Frutificação	0,99 b	0,90 ab	0,74 a	0,88 a
	Maturação morfológica	1,07 ab	1,03 a	0,79 a	0,96 a
M U C U N A	Pré-floração	0,96 b	0,87 ab	0,78 a	0,87 a
	Floração	1,24 a	0,84 ab	0,80 a	0,96 a
P R E T A	Frutificação	0,94 b	0,92 ab	0,86 a	0,91 a
	Maturação morfológica	1,02 ab	0,82 ab	0,81 a	0,88 a

* Em cada época, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

painço, concentrou mais nitrogênio na planta. Com 45 dias de incubação todos os tratamentos se igualaram quanto a porcentagem de N no painço.

4.4.3. Nitrogênio extraído pelo painço

Na tabela 13 são apresentados os valores do N extraído pelo painço, em função da incorporação ao solo das fitomassas provenientes dos cortes da *Crotalaria juncea* L., mucuna preta e da época relativa de semeadura daquele. Os dados relativos a tal extração foi produto do rendimento de matéria seca e da concentração de N na mesma.

Com 15 dias após a incorporação os tratamentos que promoveram as maiores extracções foram os da floração das duas leguminosas. Os demais tiveram extração semelhante, exceto a crotalaria na maturação que foi inferior à testemunha, resultado da menor produção de matéria seca.

Aos 30 dias, dispondo-se de maior tempo para a decomposição, evidenciaram-se as diferenças entre os tratamentos. Na crotalaria os tratamentos relativos à pré-floração e floração promoveram maior extração de N, que frutificação e maturação, que não diferiram da testemunha. Na mucuna preta, os 4 tratamentos foram estatisticamente iguais entre si no efeito sobre a extração. Entretanto, os tratamentos pré-floração e floração foram ligeiramente

Tabela 13. Nitrogênio extraído (mg/vaso) pelo painço (*Panicum miliaceum* L.) semeado após 3 períodos de incubação da fitomassa da *Crotalaria juncea* L. e mucuna preta obtidas em distintos estádios fenológicos. Média de 4 repetições.

Tratamentos	épocas de semeadura (dias)			Média das épocas
	15	30	45	
Testemunhas	27,31 b*	22,27 bcd	29,45 bc	26,35 cd
C R D T A L A R I A				
Pré-floração	25,94 b	29,96 a	28,04 bc	27,98 bc
Floração	28,69 ab	29,29 ab	33,55 ab	30,51 b
Frutificação	22,77 bc	20,74 cd	24,13 cd	22,55 d
Maturação morfológica	15,95 c	16,06 d	19,94 d	17,32 e
M U C U N A				
Pré-floração	27,19 b	31,46 a	36,79 a	31,81 ab
Floração	34,76 a	32,26 a	37,58 a	34,87 a
P R E T A				
Frutificação	24,96 b	26,65 abc	33,20 ab	28,27 bc
Maturação morfológica	27,01 b	29,44 ab	33,95 ab	30,14 bc

* Em cada época médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 %.

melhores que a maturação e frutificação. Após 45 dias de incubação, o resultado sobre o painço foi similar ao verificado aos 30 dias. *Crotalaria* na pré-floração e floração resultaram em maiores extrações, mas sem diferir significativamente da testemunha. A fitomassa da maturação da *crotalaria* afetou negativamente a absorção de N, provavelmente por causar imobilização. Os 4 tratamentos da mucuna não diferiram significativamente entre si quanto ao efeito sobre extração de N, e apenas a incorporação de mucuna na pré-floração e floração foram superiores à testemunha.

5. DISCUSSÃO

Os resultados das determinações da composição percentual de carbono na crotalaria e na mucuna preta mostraram que a concentração desse elemento pôde variou em função da idade nessas espécies, embora nas fases iniciais, até 56 dias, seu teor tenha sido menor que nas fases seguintes; esses dados concordam parcialmente com MELLO & BRASIL (1960).

A concentração de N na crotalaria variou fortemente com a idade da planta, e pode ser ajustada com restrições, através de uma regressão cúbica. Da emergência à pré-floração o teor de N decresceu porque a planta aumentou sua matéria seca e não teve uma grande absorção desse elemento; na floração o teor se elevou rapidamente, pela acentuada absorção de N e pela redução no crescimento; essa fase constitui-se no 2º pico na concentração do nutriente. Com o início da frutificação seu conteúdo decresceu novamente de forma mais suave, provavelmente devido à translocação desse nutriente para as vagens em formação e a queda das folhas senescentes; MELLO & BRASIL (1960) e GLÓRIA *et alii* (1980) confirmaram essa tendência até o início da frutificação. Com o enchimento de vagens e com a

maturação, a porcentagem decresceu ainda mais e atingiu seu valor mais baixo nos caules remanescentes após a colheita das vagens.

Os resultados da relação C/N da crotalaria evidenciaram sua variabilidade em função da idade e sua relação inversamente proporcional à concentração de N. Exceto até os 56 dias, apenas durante a floração a relação C/N esteve abaixo de 30, valor considerado limite para que não ocorra imobilização de N durante a decomposição; esses dados concordam, com os obtidos por MELLO & BRASIL (1960). Esta relação atingiu seu valor máximo no material restante após a colheita das vagens. Apesar das amplitudes observadas considera-se que esta variável comporta-se como uma função do terceiro grau.

Na mucuna preta o conteúdo de N também foi influenciado pela idade, mas sua variação seguiu um modelo quadrático. Ao contrário da crotalaria as amplitudes entre os valores foram bem menores na mucuna. Outra diferença foi a não ocorrência de um segundo pico na concentração de N por ocasião da floração e a estabilização dos teores até a maturação completa da planta. Esse fato pode ser devido ao crescimento indeterminado, floração prolongada e à característica trepadora onde as folhas senescentes não se separam do ambiente comum da planta; esses resultados corroboram os obtidos por MELLO & BRASIL (1960) e GLÓRIA et alii (1980). A porcentagem de N, ainda elevada,

na resteva após a colheita das vagens pode ser atribuída à presença de microrganismos saprofíticos, que segundo MASON (1980) podem ser a causa e não a consequência do elevado teor de N no resíduo vegetal em decomposição.

A relação C/N na mucuna preta teve um comportamento simétrico ao teor de N nesta espécie. Aparentemente seu comportamento foi discrepante com a tendência generalizada de ocorrer aumento da relação C/N com o desenvolvimento e maturação. Entretanto, como resultado da razão entre porcentagem de carbono, que pouco variou, e de nitrogênio, que elevou-se no final do ciclo, seria esperado observar-se uma redução nos valores desta relação, o que foi constatado. Não obstante, as diferenças verificadas a partir da pré-floração não foram significativas.

Os resultados apresentados na tabela 6 mostram que o acúmulo de fitomassa seca não atingiu seu valor máximo durante a floração, tanto na crotalaria quanto na mucuna, divergindo do consenso prático da adubação verde, que recomenda corte e incorporação da massa obtida nesse estágio. Na crotalaria o incremento de matéria seca ocorreu até a maturação, sem entretanto diferir da frutificação, o que também foi constatado por KIEHL (1960), RUIZ & LAIRD (1961) e por WUTKE (1987) que trabalhou com guandu. Já o aumento da produção de fitomassa da pré-floração para a floração também foi verificado por GLÓRIA et alii (1980) e VEIGA et alii (1982). Resultados de MEDINA

et alii (1961) com *Crotalaria juncea* L. e de LOVADINI et alii (1974) com guandu, discordam, parcialmente, daqueles. MEDINA et alii (1961) verificaram que a produção de matéria verde não diferiu da floração ao final da frutificação, mas houve queda durante a maturação; LOVADINI et alii (1974) observaram que a massa verde do guandu foi semelhante da pré-floração à frutificação.

Na mucuna preta, cortes na frutificação e maturação produziram mais que na floração e pré-floração, o que concorda com KIEHL (1960) e RUIZ & LAIRD (1961). GLÓRIA et alii (1980) também constataram aumento da produção de fitomassa com a idade, embora tenham estudado a mucuna até o início da floração. Isso pode ser atribuído ao aumento do número de ramos por planta e da área foliar, o que está de acordo com KIEHL (1960). Nesta espécie, quando se objetiva a produção de fitomassa a melhor época de corte é a frutificação, pois além do maior rendimento de matéria seca, evita-se a incorporação de sementes fisiologicamente maduras que podem infestar a área devido a dormência, de acordo com BRANDÃO (1940) e BULISANI et alii (1987). VIEIRA et alii (1988) observaram que na mucuna preta a maturidade das sementes ocorre a partir de 78 dias após a floração e que até 57 dias da floração as sementes formadas não germinam.

Os resultados também confirmaram a superioridade da *crotalaria* sobre a mucuna na produção de fitomassa,

concordando com KIEHL (1960), RUIZ & LAIRD (1961), GLÓRIA et alii (1980) e MONDARDO et alii (1981).

O teor de carbono e nitrogênio e a relação C/N, em função da época de corte, variaram apenas para a crotalaria. Nesta a diferença verificada entre a pré-floração e a maturação, para a porcentagem de carbono, pode ser devida ao aumento do teor de fibras com o desenvolvimento, segundo MEDINA et alii (1961). O teor de nitrogênio foi influenciado pela fase fenológica havendo maior concentração deste elemento na floração, frutificação e pré-floração, e menor na maturação. RUIZ & LAIRD (1961) verificaram um decréscimo progressivo no teor de N na sequência pré-floração, floração, frutificação e maturação. GLÓRIA et alii (1980) observaram maior porcentagem de N na floração que na pré-floração e início de frutificação. Na relação C/N apenas a maturação diferiu das demais fases, resultado da combinação da alta concentração de carbono e baixa de nitrogênio. Apesar da não diferença entre as fases de pré-floração, frutificação e floração, apenas nesta os valores da relação C/N ficaram abaixo de 30, limite superior para a rápida mineralização do N, segundo ALEXANDER (1977), KIEHL (1985) e PEIXOTO (1988).

Na mucuna preta os resultados mostraram que não houveram diferenças entre as fases de corte para porcentagem de C, N e relação C/N. A concentração de carbono seguiu o comportamento verificado durante todo o ciclo da

espécie, de pouco variar ao longo do tempo, e apresentando uma leve tendência de declinar na maturação, provavelmente devido a colonização dos microrganismos saprofíticos que consomem os compostos carbônicos para obtenção de energia. A concentração de N não diferiu entre as 4 fases fenológicas, provavelmente pela floração contínua e prolongada nesta espécie. Resultados semelhantes foram obtidos por RUIZ & LAIRD (1961) e GLÓRIA et alii (1980). Enquanto que a concentração elevada de N na maturação pode ser devida à presença dos fungos saprofíticos que se por um lado consomem os carboidratos e liberam CO_2 , podem com seu desenvolvimento micelial sobre a folha mascarar a concentração real de nitrogênio, como assinalado por MASON (1980) que mesmo diferenças no teor de N das folhas na abscisão podem ser reflexo da colonização que já ocorre nestas. A relação C/N a exemplo das variáveis que lhe dão origem, não variou em função do estágio fenológico de corte.

Os resultados do acúmulo de carbono e nitrogênio pelas duas espécies (tabelas 9 e 10) indicaram que, para a crotalaria houve vantagens nos cortes na frutificação e maturação comparados às duas outras épocas, considerando-se uma maior adição de carbono ao solo, concordando com KIEHL (1960), MEDINA et alii (1961) WUTKE (1987). Enquanto que o maior acúmulo de nitrogênio se verificou na frutificação e floração, resultado da combinação maior concentração de N e maior produção de

matéria seca. Isso foi parcialmente confirmado por RUIZ & LAIRD (1961), os quais observaram que a maturação superou a floração e a frutificação, pois naquela fase o menor teor de N foi compensado pelo maior rendimento de massa seca. GLÓRIA et alii (1980) obtiveram resultados semelhantes, embora restringindo o corte da crotalaria até a frutificação.

Na mucuna preta o maior acúmulo de carbono na frutificação e maturação deveu-se mais à quantidade de matéria seca produzida do que à concentração deste elemento nesta fitomassa. Trabalhos de KIEHL (1960), RUIZ & LAIRD (1961) e de GLÓRIA et alii (1980) confirmaram essa tendência. Também o maior acúmulo de nitrogênio naquelas fases resultou da associação de maiores produções de fitomassa seca e maiores concentrações do elemento nesta, também constatado por RUIZ & LAIRD (1961) e GLÓRIA et alii (1980).

Os resultados mostraram ainda que o acúmulo de nitrogênio foi maior na crotalaria que na mucuna em todas as fases exceto na maturação, onde apesar da significativa superioridade na produção de fitomassa pela primeira, a segunda apresentou maiores teores de N. Estudo de RUIZ & LAIRD (1961) discorda parcialmente desses resultados, pois aqueles verificaram que o acúmulo de N foi maior na mucuna na frutificação e pré-floração enquanto que na maturação e floração foi maior na crotalaria. GLÓRIA et alii (1980), ao contrário, constataram a maior extração de

N pela crotalaria comparada à mucuna.

Os resultados da incubação das fitomassas da crotalaria e da mucuna mostraram que a maior evolução de CO_2 deu-se na primeira semana, quando a disponibilidade de substrato energético era grande permitindo intenso crescimento microbiano, o que é corroborado por CERRI et alii (1982), AMATO et alii (1984), BHARDWAJ & DEV (1985) e POLWSON et alii (1987). Após um período estabilizado a produção de CO_2 teve uma elevação súbita aos 42 dias, resultado do maior intervalo de amostragem. As diferenças na relação C/N entre as quatro fitomassas da crotalaria não permitiram explicar satisfatoriamente a evolução de CO_2 . A matéria seca da floração com a relação mais estreita (27:1) liberou maior quantidade de CO_2 que os demais tratamentos na 1ª amostragem, o que concorda com KANAMORI & YASUDA (1979), MARUMOTO (1980) e JANZEN & KUCEY (1988), mas pouco diferiu dos outros tratamentos, como o da pré-floração cuja relação (39,8:1) supera a faixa de 30:1 que é, segundo ALEXANDER (1977), IGUE et alii (1984) e KIEHL (1985) o limite máximo para uma rápida decomposição. O tratamento da maturação que inicialmente produziu menos CO_2 , aos 42 e principalmente aos 56 dias, superou os demais indicando ou esgotamento dos substratos lábeis ou um maior ataque pelos microrganismos sobre os resistentes; resultados semelhantes foram obtidos por KIEHL (1960), SAMPAIO & SALCEDO (1982) e BHARDWAJ & DEV (1985).

Na produção acumulada de CO_2 (figura 6) verificou-se que as diferenças na relação C/N não influenciaram na taxa de decomposição das fitomassas. Houve uma pequena compensação; tratamentos que inicialmente produziram mais, com o decorrer da incubação reduziram sua liberação de CO_2 , enquanto que os com menor produção inicial, aumentaram posteriormente sua evolução, levando a um equilíbrio no final do processo, o que concorda com HERNANDEZ et alii (1982) e (1983). Uma possível explicação para esse fato é dada por SMITH (1982) de que mesmo se a relação C/N do substrato é alta e a porcentagem de N menor que o ótimo, os microorganismos crescem rapidamente, aceitando menores concentrações de N na célula. Primeiramente é o carbono que controla o crescimento microbiano, enquanto que a relação C/N controla o balanço mineralização/imobilização.

Os resultados do CO_2 evoluído e acumulado pela incubação das fitomassas da mucuna, não puderam ser adequadamente explicados pelas suas relações C/N. Aparentemente a produção de CO_2 apresentou uma ligeira correlação positiva com aquela relação (tabela 8, figuras 7 e 8), o que discorda de KANAMORI & YASUDA (1979), MARUMOTO (1980) e JANZEN & KECEY (1988) que encontraram uma correlação negativa entre relação C/N e liberação de CO_2 . Por outro lado, SAMPAIO & SALCEDO (1982) e HERNANDEZ et alii (1982) e (1983) observaram uma correlação positiva, onde o aumento daquela relação no substrato incubado promoveu maior

liberação de CO_2 . AMATO et alii (1984) concluíram que parece improvável que a decomposição de compostos carbônicos seja limitada pela disponibilidade de N ou sua relação C/N. O que corrobora RUBINS & FIRMAN (1942) e ALEXANDER (1977), segundo os quais a relação C/N pode não ser o fator decisivo na taxa de decomposição de resíduos vegetais, mas sim a proporção relativa entre celulose, hemicelulose e lignina que varia em função do desenvolvimento dos vegetais.

No experimento de fertilização, verificou-se que não houve influência da incorporação das fitomassas da crotalaria e da mucuna sobre o rendimento do painço semeado 15 dias após a incubação daquelas (tabela 11), à exceção da fitomassa da crotalaria na maturação que causou efeito depressivo sobre aquele, provavelmente devido à sua ampla relação C/N, a qual possivelmente provocou imobilização de N. MIYASAKA et alii (1966) não verificaram correlação negativa entre relação C/N alta do material incorporado e o rendimento do feijão, mas foi observada por KANAMORI & YASUDA (1979) e RESK & PEREIRA (1981). Após 30 dias de incorporação as diferenças no efeito fertilizante das fitomassas começaram a se evidenciar. Entre as fitomassas da crotalaria, nenhuma superou a testemunha, sendo que frutificação e maturação provocaram redução no rendimento do painço. Fato que pode ser atribuído a ampla relação C/N daquela, concordando com resultados de KANAMORI & YASUDA

(1979), RESK & PEREIRA (1981) e DERPSCH et alii (1985). Para a frutificação, seu efeito depressivo sobre o painço não pode ser imputado exclusivamente à sua relação C/N, que não diferiu da pré-floração e floração. Segundo RUBINS & FIRMAN (1942), RUSSEL (1973) e ALEXANDER (1977) para certos materiais a aplicação da correlação entre disponibilidade de N e relação C/N não se confirma na sua decomposição e liberação do seu N, podendo ser devido às mudanças nas proporções relativas de celulose, hemicelulose e lignina. Resultados de SALGADO et alii (1984) mostraram que na frutificação as fibras da crotalaria estão fisiologicamente maduras e mais resistentes. A mesma análise pode ser feita para os tratamentos floração e pré-floração, onde este apesar da sua maior relação C/N, foi mais efetivo no rendimento do painço.

O efeito fertilizante das fitomassas da mucuna aparentemente não está consistente com suas relações C/N e a produção de CO_2 no experimento de laboratório (figuras 7 e 8). Pré-floração e floração foram os melhores tratamentos apesar das relações C/N serem maiores. Resultados de CALEGARI (1990) também não correlacionaram elevados teores de N (relação C/N estreita) em alguns adubos verdes com o rendimento do milho semeado em sucessão.

Após 45 dias da adição das fitomassas as diferenças observadas anteriormente mantiveram-se quase inalteradas. A persistência da imobilização para alguns

tratamentos pode ser devida à maior disponibilidade de substratos energéticos, que se constata pela grande evolução de CO_2 (figuras 5 e 7) no experimento de incubação, confirmando estudos de ALLISON & KLEIN (1962), FORBES (1974), JENKINSON (1981) e FREITAS et alii (1988). Neste caso é a relação C/N que regula o processo de mineralização/imobilização do N (SMITH, 1982). Entretanto com o decorrer do processo de decomposição a diminuição das fontes de energia, faz com que passe a prevalecer a mineralização sobre a imobilização, de acordo com ALLISON & KLEIN (1962), BARTHOLOMEW (1965) e GILMOUR et alii (1977), promovendo assim, benefícios para culturas semeadas após esse período inicial, segundo VEIGA et alii (1982), SEVENORIO & ESCALADA (1985) e CHAGAS et alii (1987). Tal fato, entretanto, não foi observado após o maior período de incubação. Entre as fitomassas da crotalaria, a frutificação e a maturação continuaram afetando o painço, discordando de RUIZ e LAIRD (1961) que obtiveram efeito semelhante entre as mesmas 4 épocas de corte da crotalaria. VITTI et alii (1985a e 1985b) também não verificaram diferenças entre 3 épocas de corte do lab-lab sobre o rendimento do amendoim e do girassol.

Entre as fitomassas da mucuna, a superioridade da pré-floração e floração sobre a frutificação discorda de RUIZ & LAIRD (1961) e não pode ser satisfatoriamente explicada por suas relações C/N. Segundo ALEXANDER (1977)

não é raro encontrar que a taxa de decomposição de resíduos vegetais é proporcional ao seu conteúdo de lignina, e a quantidade desta pode ser de maior importância em prever a velocidade de decomposição que a relação C/N.

A concentração de nitrogênio na parte aérea do painço em função da fitomassa incorporada ao solo apresentou pequena variabilidade (tabela 12). As diferenças observadas na semeadura aos 15 dias, mantiveram-se aos 30 dias e desapareceram aos 45 dias. Não se constatou uma correlação inversa entre teor de N na parte aérea do painço e relação C/N dos materiais incorporados, concordando com resultados de RUIZ & LAIRD (1961) e BHARDWAJ & DEV (1985). Apenas na semeadura aos 30 dias verificou-se uma correlação inversa para a incorporação da crotalaria na maturação, concordando com estudos de HEINZMAN (1985). Nota-se que houve uma diminuição na porcentagem de N no painço, após maior período de incubação, que pode ser associada à maior produção de matéria seca, levando a uma diluição dos teores de N, e sugerindo que não houve aumento no teor de nitratos no solo durante o período total de incubação, mesmo para aqueles tratamentos com a adição de materiais com menores relações C/N, o que é confirmado parcialmente por ALLISON & KLEIN (1962), KANAMORI & YASUDA (1979), FREITAS et alii (1988) e JANZEN & KUCEY (1988).

Os resultados da extração de nitrogênio pelo painço (tabela 13) parecem confirmar as assertivas anterior-

res, conquanto a absorção na semeadura aos 45 dias pós incorporação pouco diferiu da realizada aos 15 dias.

Segundo MUSON & PESEK (1958) a extração de nitrogênio permite medir com mais precisão a disponibilidade de N do que o rendimento de matéria seca, porque as plantas podem acumular N sem uma comparável acumulação de matéria seca. Isso é confirmado observando-se que já aos 15 dias os tratamentos causaram diferenças na acumulação de N pelo painço. O maior efeito fertilizante das fitomassas da mucuna em relação à da crotalaria também já se verificou com 15 dias de incubação, o que concorda com SILVA et alii (1985) que não constatarem superioridade da mucuna na pré-floração sobre a crotalaria na plena-floração sobre o rendimento da aveia semeada em sucessão, mas verificaram diferenças no N total na parte aérea desta. O efeito depressivo da crotalaria na maturação sobre o acúmulo de N do painço manteve-se até a última data de plantio, concordando com MUSON & PESEK (1958) KANAMORI & YASUDA (1979) e HEINZMAN (1985).

A maior extração de N pela incorporação das fitomassas obtidas na pré-floração e floração sobre as demais não pode ser respaldada exclusivamente nas relações C/N daquelas, mas devem ser consideradas, conforme assinalam RUBINS & FIRMAN (1942), ALEXANDER (1977), as possíveis modificações nas proporções relativas de celulose, hemicelulose e lignina, que ocorrem com o desenvolvimento das

espécies. Não obstante, esses resultados e os obtidos no rendimento de matéria seca do painço concordam com BARTHOLOMEW (1965), RUSSEL (1973) e TIBAU (1978), que tecidos jovens são metabolizados mais rapidamente que resíduos de plantas maduras, liberando mais prontamente os nutrientes para as culturas cultivadas em sucessão.

Os resultados do experimento de campo, com a *Crotalaria juncea* L. e a mucuna preta, mostraram que nestas espécies, a maior riqueza de fitomassa e nutrientes ocorreu na frutificação, indicando ser este o estágio mais favorável para corte visando-se a adubação verde.

Os dois experimentos, de respirometria e teste biológico, que forneceriam subsídios para prever possíveis implicações da incorporação ao solo das fitomassas obtidas no experimento anterior, apresentaram resultados distintos e não complementares. No ensaio de respirometria a produção de CO_2 não foi um parâmetro satisfatório para diferenciar a suscetibilidade à decomposição entre as fitomassas de cada espécie, e correlacionar a degradabilidade destas com suas relações C/N.

No teste biológico, a fertilização do painço foi afetada pela fase fenológica de obtenção das fitomassas e pelo tempo decorrido entre a incorporação e a semeadura da cultura.

Os resultados deste ensaio mostraram maior rendimento de matéria seca e extração de N pelo painço, quando fertilizado com as fitomassas obtidas nas fases de pré-floração e floração e após um período de 45 dias de incubação das fitomassas.

Uma análise conjunta dos resultados mostrou que, dependendo da finalidade, pode haver mais de um estágio fenológico adequado para corte das espécies utilizadas neste estudo. Quando se objetiva a máxima produção e incorporação de fitomassa, o corte desses adubos verdes deve ser feito na frutificação, e quando se deseja um efeito fertilizante imediato sobre uma cultura exigente em N, semeada em sucessão, o corte e a incorporação devem ser efetuados entre as fases de pré-floração e floração.

6. CONCLUSÕES

O acúmulo de matéria seca na *Crotalaria juncea* L. e mucuna preta ocorre até a frutificação, verificando-se nesta fase melhor associação entre produção de fitomassa e concentração de N. A maior concentração de nitrogênio ocorre entre os estádios de floração e frutificação.

Nas duas espécies a relação C/N correlaciona-se indiretamente com o teor de N e varia com o estágio de desenvolvimento das culturas, sendo esse efeito mais pronunciado na crotalaria.

A produção de CO_2 não é um parâmetro satisfatório para diferenciar a degradabilidade entre as fitomassas da crotalária e da mucuna. O CO_2 produzido não se correlaciona com as relações C/N das fitomassas.

O efeito fertilizante das fitomassas da crotalária e mucuna sobre a produção de matéria seca e a extração de N pelo painço é influenciado pelos estádios fenológicos daquelas e pelo período de incubação. Fitomassas da pré-floração e floração, incubadas por maior período promovem os maiores rendimentos de matéria-seca e extração de N.

O teor de N e a relação C/N não são parâmetros consistentes e conclusivos para avaliar a degradabilidade e o efeito fertilizante das espécies utilizadas neste trabalho.

7. BIBLIOGRAFIA

ALEXANDER, M. Introduction to soil microbiology. 2. ed.
New York, John Wiley, 1977. 467 p.

ALLISON, F. E. Green manuring and related practices. In:
----- Soil Organic Matter and Its role in crop
production. Nova York, Elsevier, 1973. p. 445-60.

ALLISON, F.E. & KLEIN, C. J. Rates of immobilization and
release of nitrogen following addition of carbonaceous
materials and nitrogen to soils. Soil Science, Baltimo-
re, 23: 383-8, 1962.

ALMEIDA, L. D'A de, BULISANI, E.A.; MIYASAKA, S.; SORDI, G.
de; ALOISI, V.S.; ALVES, S. Efeito da incorporação de
massa vegetal da adubação e do espaçamento na produção
do feijoeiro. Bragantia, Campinas, 34 : 43-7, 1975.

AMATO, M.; JACKSON, R. B. BUTLER, J. H. A.; LADD, J. N.
Decomposition of plant material in australian soils. II
residual organic ^{14}C and ^{15}N from legume plants parts
decomposing under field and laboratory conditions.
Australian Journal Soil Research, East Melbourne, 22 :
331-41, 1984.

ANDRADE, L.A. B. Efeitos da incorporação de *Crotalaria juncea* L. sobre algumas características do solo e do desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar (*Sacharum* spp). Piracicaba, 1983. 129p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

BARTHOLOMEW, M. V. Mineralization and immobilization of nitrogen in the decomposition of planta and animal residues. In: BARTHOLOMEW, M. V. & CLARK, F. E., ed. Soil nitrogen. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p. 285-306.

BHARDWAJ, K. K. R. & DEV, S. P. Production and decomposition of *Sesbania cannabina* (Retz) Pers. in relation to its effect on the yield of wetland rice. *Tropical Agriculture, Survey*, 62 (3) : 233-6, 1985.

BINGEMAN, C. W.; WARNER, J. E.; MARTIN, W. P. The effect on the addition of organic materials on the decomposition of an organic soil. *Soil Science Society of American Proceeding*, Madison, 17 : 34, 1953.

BONETTI, R. Efeito do N do solo na fixação simbiótica do N_2 e na utilização de fertilizante nitrogenado em soja (*Glycine max* (L.) Merrill). Piracicaba, 1982. 138p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

BRANDÃO, S.S. Adubação verde. *Ceres*, Viçosa, 1 : 483-95, 1939/40

BUCKMAN, H.O & BRADY, N.C. Estrume rural e adubo verde. In: _____, Natureza e propriedade dos solos. 4 ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1976, 594 p.

BULISANI, E.A.; BRAGA, N.A.; ROSTON, A.V. Utilização de leguminosas, como cobertura de solo em sistemas de adubação verde ou rotação de culturas. In: ENCONTRO PAULISTA DE PLANTIO DIRETO, 1. Piracicaba, 1987. Piracicaba, FEALQ, 1987. p. 63-70.

CALEGARI, A. Efeito dos adubos verdes de verão no rendimento de milho e na proteção do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO E ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 8., Londrina, 1990. Resumos Campinas, Soc. Bras. Ciência do Solo, 1990. p. 96.

CERRI, C.C.; VOLKOFF, B.; EDUARDO, B. P. Decomposição de matéria orgânica marcada com ^{14}C e formação de biomassa microbiana em solo ácido do município de Piracicaba, SP Brasil. In: COLOQUIO REGIONAL SOBRE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO, Piracicaba, 1982. Anais. São Paulo, PROMOCET, 1982. p. 137-40.

CERRI, C.C.; EDUARDO, B.P.; CHONE, T.; ANDREUX, F. Manual de aulas práticas; matéria orgânica do solo. Piracicaba, CENA, s.d. 64 p.

CHAGAS, J.M.; VIEIJA, R.F.; ARAÚJO, G.A.A.; ARAÚJO, J.P.P.
Efeitos da incorporação da *Crotalaria juncea* sobre a
cultura do feijão no cerrado. *Revista Ceres*, Viçosa, 34
(192): 152-61, 1987.

CHRISTENSEN, B.T. Decomposability of organic matter in
particle size fractions from field soils with straw
incorporation. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford,
19(4): 429-35, 1987.

COCHRAN, V.L.; ELLIOT, L.F.; PAPENDICK, R.I. Carbon and
nitrogen movement from surface - applied wheat straw.
Soil Science Society American Journal, Madison, 44(5):
978-82, 1980.

COSTA, M.P da. Efeito da matéria orgânica em alguns atri-
butos do solo. Piracicaba, 1983. 137 p. (Mestrado -
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" / USP).

DEMATTÊ, J.B.I.; DEMATTÊ, J.D.I.; MIYASAKA, S.; ALMEIDA,
L.D'A. de; BULISANI, E.A.; IGUE, T.; ALVES, S.
Irrigação X adubação mineral X matéria orgânica em
cultura de feijão. Campinas, IAC, 1982. 26 p. (IAC.
Boletim Técnico. 15).

DERPSCH, R. & CALEGARI, A. Guia de plantas para adubação
verde de inverno. Londrina, IAPAR, 1985. 96 p.
(IAPAR. Documento, 9).

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; HEINZMAN, F.X. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília. 20(7): 761-73, 1985.

FAVORETTO, V. Efeito da época de corte sobre a produção e composição bromatológica do guandu. *Científica*, Jaboticabal, 7(3): 505, 1979.

FORBES, R.S. Decomposition of agricultural crop debris. In: DICKINSON, C.H. & PUGH, G.J.F. *Biology of plant litter decomposition*. New York, Academic Press, 1974. v. 2 p. 723-42.

FREITAS, S.S.; CARDOSO, C.O.N.; CAMARGO, O.A.; LOPES, E.S. Mineralização e imobilização de nitrogênio em solo tratado com torta de filtro e carbonato de cálcio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 12(3): 243-8, 1988.

FUNDAÇÃO CARGILL. Adubação verde. In:_____. Adubação orgânica, adubação verde e rotação de culturas no estado de São Paulo. Campinas, 1983. p. 22-32.

GALLARDO-LARA, F.; VITORINO, B.; AZCON, M.; OCAMPO, J.D. Utilizacion de diferentes residuos de leguminosas como abono verde. I. Efecto sobre los nutrientes N, P, s: *Anales de Edafologia y Agrobiologia*, Madrid, 39 (5/6): 923-34, Mayo/Jun. 1980.

GALLO, P.B.; LAVORENTI, A.; SAWAZAKI, E.; HIRDOCE, R.; MASCARENHAS, H.A.A. Efeito de cultivos anteriores de soja na produção e no teor de N nas folhas e grãos de milho. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, Campinas, 5: 64-7, 1981.

GARGANTINI, H. & SOARES, E. época de colheita de painço, para estudo dos efeitos do nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre em vasos. *Bragantia*. Campinas, 33: 53-5, 1974.

GILMOUR, C.M.; BROADBENT, F.E.; BECK, S.M. Recycling of carbon and nitrogen through land disposal of various waste. In: SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. *Soils for management of organic wastes and waste waters*. Madison, 1977. p. 172-94.

GLORIA, N.A. da; MATTIAZO, M.E.; PEREIRA, V.; PARO, J.M. Avaliação da produção de adubos verdes. *Sacharum*, São Paulo, 3(8): 31-5, mar. 1980.

HEIZMANN, F.X. Resíduos culturais de inverno e assimilação de nitrogênio por culturas de verão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 20(9): 1021-30, set. 1985.

HENZELL, E.F.; VALLIS, I. Transfer of nitrogen between legumes and other crops. In: AYANABA, A. & DART, P.V. ed. *Biological nitrogen fixation in farming systems of the tropics*. Chichester, John Wiley, 1977. p. 73-88.

HERNANDEZ, M.T.; CEGARRA, J.; COSTA, F. Adicion de residuos vegetales a suelos calizos III. Estudio de su mineralization. *Anales de Edafologia y Agrobiologia*, Madrid, 42: 245-56, 1983.

HERNANDEZ, M.T.; CEGARRA, J.L.; LAX A.; COSTA, F. Adicion de residuos vegetales a suelos calizos I evolucion del carbono y nitrogenio. *Anales de Edafologia y Agrobiologia*, Madri, 41, 2253-66, 1982.

HIPP, B.W. Residual effects of clover on nitrogen nutrition of crops grown on blackland soils. *Journal of Plant Nutrition*, New York, 10 (9/16) 1811-7, 1987.

IGUE, K. Dinâmica da matéria orgânica e seus efeitos nas propriedades do solo. In: FUNDAÇÃO CARGILL. *Adubação verde no Brasil*. Campinas, 1984. p. 232-67.

IGUE, K.; ALCOVER, M.; DERPSCH, R.; PAVAN, M.A.; MELLA, S.C; MEDEIROS, G.B. *Adubação orgânica. Informe da Pesquisa*, Londrina, 8 (59): 1-33, out. 1984.

JANZEN, H.H. & KUCEY R.M.N. C, N, and S mineralization of crop residues as influence by crop apecies and nutrient regime. *Plant and Soil*, Dordrecht, 106 (1): 35-41, 1988.

JENKINSON, D.S. The fate of plant and animal residues in soil. In: GREENLAND, D.J. & HAYES, M.H.B. ed. *The*

chemistry of soil processes. New York, John Wiley, 1981. p. 505-61.

JENKINSON, D.S. & AYANABA, A. Decomposition of carbon-14 labeled plant material under tropical conditions. *Soil Science American Journal*, Madison, 41: 912-5, 1977.

KAKDE, J.R. Hartening decomposition of incorporated green manure. *Indian Journal Agronomy*, New Delhi, 10: 443-6, 1965.

KANAMORI, T. & YASUDA, T. Immobilization, mineralization and the availability of the fertilizer nitrogen during the decomposition of the organic matters applied to the soil. *Plant and Soil*, Dordrech, 52: 219-27, 1979.

KIEHL, E.J. Contribuição para o estudo da poda e da decomposição de adubos verdes. Piracicaba, 1960. 113 p. (Livre Docência - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" / USP).

KIEHL, E.J. Compostagem. In: _____ . Fertilizantes orgânicos. São Paulo, Ceres, 1985. p. 256-63.

KIEHL, J.C. Dinâmica e disponibilidade de nitrogênio no solo. In: FUNDAÇÃO CARGILL. Curso de atualização em fertilidade de solo. Campinas, 1987. p. 139-54.

LANTMANN, A.F. & BORKET, C.M. Fertilidade de solo em plantio direto: aspectos gerais e nitrogênio. *Plantio*

Direto, Ponta Grossa, 2(7):2-3, jul/ago. 1984.

LOVADINI, L.A.C.; MASCARENHAS, H.A.A.; NAGAI, V.; VEIGA, A.A. Estudo sobre guandu, visando a produção de forragem. I - épocas de corte, massa verde por corte e números de cortes. *Bragantia*, Campinas, 33: 71-5, 1974.

LYNCH, J.M. *Biotecnologia do solo; fatores microbiológicos na produtividade agrícola*. Trad. de P.N. de Camargo. São Paulo, Manole, 1986. 209 p.

MARUMOTO, T.; SHINDO, H.L.; HIGASHI. Effects of carbonaceous material on the accumulation of readily mineralizable organic nitrogen in soil. *Soil Science and Plant Nutrition*, Tokyo, 26(2): 185-90, 1980.

MASON, C.F. *Decomposição*. Trad. O.A. de Camargo. São Paulo, EDUSP, 1980. 63 p.

MEDINA, J.C.; CIARAMELLO, D.; PETINELLI, A. Resultados experimentais com a cultura de *Crotalaria juncea* L.L., como planta produtora de celulosa para papel. *Bragantia*, Campinas, 20(26); 659-67, 1961.

MELLO, F. A. F. & BRASIL SOBRINHO, M. D. C. Composição química de alguns adubos verdes. *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*, Piracicaba, 18: 347-56, 1960.

MIYASAKA, S. Histórico de estudos de adubação verde, leguminosas viáveis e suas características. In: Fundação CARGILL. Adubação verde no Brasil. Campinas, 1984. p. 64-123.

MIYASAKA, S.; CAMARGO, A. P.; INFORZATO, R.; IGUE, K. Efeito da cobertura e da incorporação ao solo, imediatamente antes do plantio de diferentes formas de matéria orgânica não decomposta na cultura do feijoeiro. Bragantia, Campinas, 25: 348-63, 1966.

MIYASAKA, S.; LOVADINI, L. A. C.; FREIRE, E. S.; RAIJ, B. VAN. Efeitos sobre a produção do feijoeiro da aplicação de diversos tipos de matéria orgânica não decomposta na presença da adubação mineral com P, NP ou PK. Bragantia, Campinas, 26 (14): 187-96, 1967.

MONDARDO, E.; MORAES, O. de.; MOREL, D. A.; MIURA, L.; SCHMITT, A. T. Leguminosas para adubação verde em solos arenosos do sul de Santa Catarina. Florianópolis, EMPASC, 1981. 13 p. (EMPASC. Comunicado Técnico, 43).

MUNSON, R. D. & PESEK, J. T. The effect of corn residue, nitrogen and incubation on nitrogen release and subsequent nitrogen uptake by oats: a quantitative evaluation. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 22 (6) : 543-7, Nov./Dec., 1958.

MUZILLI, O. O manejo da fertilidade do solo: a prática da adubação verde. In: INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. Manual agropecuário do Paraná. Londrina, 1978. v. 2, p. 57-8.

MUZILLI, O. Manejo da fertilidade do solo, plantio direto no Estado do Paraná. Circular IAPAR. Londrina, (23): 43-76, 1981.

MUZILLI, O. A adubação verde como alternativa para a melhoria da fertilidade do solo e racionalização do uso de fertilizantes. Informe da Pesquisa, Londrina, 10 (68): 1-14, 1986.

MUZILLI, O.; VIEIRA, M. J.; PARRA, M.S. Adubação verde. In: INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. Manual agropecuário do Paraná. Londrina, 1980. v.3, p. 77-93.

NEME, N. A. Cultura da mucuna. São Paulo, Secretaria da Agricultura/Departamento de Produção Vegetal, 1954. 7p.

NEME, N. A. Leguminosas para adubos verdes e forragens. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1961. 24p. (IAC. Boletim, 109).

NELSON, D. W. & SOMMERS, L. E. Total carbon organic matter. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, V. Methods of soil analysis; chemical and microbiological properties. 2.ed. Madison, ASA/SSSA, 1982. pt. 2, p. 539-79.

(Agronomy Ser., 9).

PARRA, M. S. Dinâmica de matéria orgânica e de nutrientes num latossolo roxo distrófico submetido aos sistemas de plantio convencional e direto e a diferentes sucessões de culturas. Viçosa, 1986. 94p. (Mestrado - Universidade Federal de Viçosa).

PAULINO, V. T.; CUNHA, P. G. da; FIGUEIREDO, L. A.; MATTOS, H. B. de. Efeito residual do nitrogênio mineral e do biológico fixado por forrageiras, sobre o rendimento do sorgo forrageiro (*Sorgum vulgare*, Pers.). In: Colóquio Regional sobre matéria orgânica do solo, Piracicaba, 1982. Anais. São Paulo, PROMOCET, 1982. p. 111-5.

PEIXOTO, R. T. G. Compostagem opção para o manejo orgânico do solo. Circular IAPAR, Londrina, (57): 21-7, 1988.

PERUZZO, G. & TEDESCO, M. J. Liberação de nitrogênio no solo pela decomposição de resíduos vegetais. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 19. Curitiba, 1983. Resumos. Campinas. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. p. 59.

PICCOLO, M. C. Dinâmica do nitrogênio incorporado na forma orgânica em solos de várzea e terra firme na Amazônia central. Piracicaba, 1989. 169 p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

PIETERS, A. J. Green manuring principles and practice.
New York, John Wiley, 1927. 356p.

POWLSON, D. S.; BROOKERS, P. C.; CHRISTENSEN, B. T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, 12 (2): 159-64, 1987.

PRIMAVESI, A. O manejo ecológico do solo. São Paulo, Nobel, 1980. p. 108-34.

PURSEGLOVE, J. W. *Crotalaria juncea* L. In: _____ *Tropical crops; dicotyledons*. London, Longman, 1968. v.1, p. 250-4.

PURSEGLOVE, J. W. *Panicum miliaceum* L. In: _____ *Tropical crops; monocotyledons*. New York, John Wiley, 1972. v.1, p. 199-201.

RAIJ, B. van. Mecanismos de interações entre solos e nutrientes. In: _____ *Avaliação da fertilidade do solo*. Piracicaba, POTAFOS, 1987. p. 17-31.

RESK, D. V. S. & PEREIRA, V. Efeitos da incorporação de restos culturais e adubo verde nas propriedades físicas de um latossolo vermelho amarelo fase cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 16 (6): 801-7, 1981.

RUBINS, E. J. & FIRMAN, E. B. Carbon-nitrogen ratios in organic fertilizer materials in relations to the availability of their nitrogen. *Soil Science*, Baltimore 54 (6): 411-23, Dic. 1942, Baltimore.

RUIZ, V. & LAIRD, R. J. Três leguminosas tropicales para abono verde. *Agricultura Técnica*, México, 1 (11): 14-5, 1960/61.

RUSSEL, E. W. The decomposition of plant material. In: *Soil Conditions and Plant growth*. London. Longman, 1973. p. 327-87.

SAFFIGNA, P. G. N and C cycling in vertisols of Nothem Australia. In: *INTERNATION CONFERENCE ON THE MANAGEMENT AND FERTILIZATION OF UPLAND SOILS IN THE TROPICS AND SUBTROPICS*, Nanjing, 1986. *Proceedings*. Nanging, Chinese Academy of Sciences, NISS, 1988. p. 237-9.

SALGADO, A. L. B.; AZZINI, A.; PIMENTEL, J. M.; POSTASCHEEF Junior, J. Instruções para a cultura da *Crotalaria juncea* visando a produção de fibras. Campinas, IPC, 1984. 27 p. (IAC. Boletim, 198).

SAMPAIO, E. V. S. B. & SALCEDO, I. H. Efeito da adição de nitrogênio e palha - (^{14}C) na liberação de CO_2 e formação microbiana em latossolo vermelho-amarelo. *Revista Brasileira da Ciência do Solo*, Campinas, 6: 177-81, 1982.

SARRUJE, V. R. & HAAG, H. P. *Análises químicas em plantas*. Piracicaba, Livroceres, 1974. 55 p.

SEVENÓRIO, P. L. & ESCALADA, R. G. Effect of stage of decomposition of green manure on the growth and yield of sweet potato. *Annals of Tropical Research*, Baybay, 5 (2) : 61-8, 1985.

SILVA, J. G. da. *Adubação verde - método prático de produzir matéria orgânica no próprio cafezal*. São Paulo, Departamento de Produção Vegetal/Divisão de Fomento Agrícola, 1952. 24p.

SILVA, E. M. R. da, ALMEIDA, D. L. de, FRANCO, A. A.; DOBEREINER, J. *Adubação verde no aproveitamento de fosfato em solo ácido*. *Revista Brasileira da Ciência do Solo*, Campinas, 9 (1) 85-8, 1985.

SINGH, N. T. Green manures as sources of nutrients in rice production. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. *Organic matter and rice*. Los Baños, 1984. p. 217-28.

SMITH, O. L. The dynamic state. In: _____. *Soil microbiology; a model of decomposition and nutrient cycling*. Boca Raton, CRC Press, 1982. p. 207-40.

TRANI, P. E. Bons resultados na aplicação de adubação verde. *Balde Branco*, São Paulo, 10 : 17-20, 1986.

- TRANI, P. E.; BULISANI, E. A.; BRAGA, N. R. Adubação verde. Campinas, CATI, 1989. 13p. (CATI. Boletim, 197).
- TURNER, G. L.; BERGERSEN, F. V.; TANTALA, H. Natural enrichment of ^{15}N during decomposition of plant material in soil. *Soil Biology & Biochemistry*, Oxford, 15 (4): 495-7, 1983.
- VASCONSELLOS, C. A. & PACHECO, E. B. Adubação verde e rotação de culturas. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, 13 (147) : 37-40, mar. 1987.
- VEIGA, A. A.; BULISANI, E. A.; MIYASAKA, S.; ALMEIDA, L. DA. de; RAIJ, B. van. Efeitos da incorporação ao solo de massa vegetal de *Crotalaria juncea*, da calagem e da adubação com nitrogênio e fósforo sobre a produção do feijoeiro. Campinas, IAC, 1982. 18p. (IAC. Boletim Técnico, 48).
- VIEIRA, R. D.; VIEIRA, R. V.; CARVALHO, N. M. de; NUNES, O. L. G. da S. maturação de sementes de guandu (*Cajanus cajan* (L.) mill sp.), labe-labe (*Dolichos lablab* L.) e mucuna-preta (*Styrolobium atterrimum* Piper & Tracy). *Científica*, São Paulo, 16 (1) : 125-31, 1988.
- VICTORIA, R. L.; COLAÇO, W.; MAGALHÃES, A. M. T. Mineralização e volatilização de nitrogênio do solo. In: MONIZ, A. C., coord. *A Responsabilidade social da ciência do solo*. Campinas, S.B.C.S., 1988. p.379-387.

VITTI, G. C.; FERREIRA, M. E.; PERECIN, D.; ZANETTI NETO, P. Influência de cinco leguminosas verde na fertilidade de um latossol vermelho-amarelo fase arenosa (LVa). Científica, Jaboticabal, Z (3) : 431-5, 1979.

VITTI, G. C.; FORNASIERI, D. F.; FERREIRA, M. E.; MELO, W. J.; OLIVEIRA, H.; HILÁRIO, N. Efeitos de época de incorporação de labe-labe (Dolichos lab-lab) ao solo sobre a sucessão girassol-amendoim. II - Amendoim. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 20., Belém, 1985. Resumos, Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1985. p. 159.

VITTI, G. C.; FORNASIERI, D. F.; FERREIRA, M. E.; MELO, W. J.; OLIVEIRA, H.; HILÁRIO, N. Efeitos de época de incorporação de labe-labe (Dolichos lab-lab) ao solo sobre a sucessão girassol amendoim, I - girassol. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 20 Belém, 1985. Resumos, Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 160.

WEBBER, L. R. & BEAUCHAMP, E. G. Land utilization and disposal of organic waste in cool subhumid and humid regions. In: SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. Soils for management of organic wastes and waste waters. Madison, 1977. p. 456-70.

WUTKE, E. B. Caracterização fenológica e avaliação agrônômica de genótipos de guandu (*Cajanus cajan* (L.) Mill sp.). Piracicaba, 1987, 164p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - USP).

B. APÉNDICE

TABELA 1. Quadro de análise de variância da composição química para épocas de amostragem na *Crotalaria juncea* L.

Causas de variação	GL	Quadrados médios		
		% Carbono	% Nitrogênio	Relação C/N
épocas	10	46,708	1,011	998,223
resíduo	33	1,838	0,294	110,904
coeficiente de variação		2,5	31,7	28,1
coeficiente de determinação		0,76	0,63	0,70

TABELA 2. Quadro de análise de variância da composição química da mucuna-preta (*Mucuna aterrima* Piper e Tracy) Holland) em 9 épocas de amostragem

Causas de variação	GL	Quadrados médios		
		% Carbono	% Nitrogênio	Relação C/N
épocas	8	24,884	0,183	36,965
resíduo	27	0,980	0,148	16,552
coeficiente de variação		1,9	16,7	17,2
coeficiente de determinação		0,94	0,67	0,82

FIGURA 1. Teor percentual de carbono da *Crotalaria juncea* L.) durante seu ciclo completo. Os pontos representam médias de quatro repetições.

FIGURA 2. Teor percentual de carbono da mucuna preta durante seu ciclo completo. Os pontos representam médias de quatro repetições.

TABELA 3. Quadro de análise de variância para peso de matéria seca, porcentagem de carbono, nitrogênio e relação C/N em 4 estádios fenológicos de corte da *Crotalaria juncea* L.

causas de variação	GL	Quadrados médios			
		peso seco	% Carbono	% Nitrogênio	Relação C/N
épocas de corte	3	479.477,396	2,483	1,486	2.137,532
resíduo	12	9.598,729	0,392	0,148	63,435
coeficiente de determinação		7,6	1,1	25,1	18,1

TABELA 4. Quadro de análise de variância para peso de matéria seca, porcentagem de carbono, de nitrogênio e relação C/N em 4 estádios fenológicos de corte da mucuna preta

causas de variação	GL	Quadrados médios			
		peso seco	% Carbono	% Nitrogênio	Relação C/N
épocas de corte	3	49.741,167	0,986	0,114	18,391
resíduo	12	4.732,542	0,279	0,091	12,383
coeficiente de variação		14,362	0,98	13,67	14,11

TABELA 5. Quadro de análise de variância do carbono e nitrogênio extraídos (g/m^2) pela *Crotalaria juncea* e pela mucuna-preta (*Mucuna aterrima*) cortadas em 4 estádios fenológicos

causas de variação	GL	Quadrados médios			
		Crotalaria juncea		mucuna-preta	
		C adicionado	N adicionado	C adicionado	N adicionado
épocas de corte	3	157.808,211	347,232	14.606,436	42,201
resíduo	12	2.854,520	23,405	1.451,638	3,494
coeficiente de variação		7,5	25,13	14,7	17,5

TABELA 6. Quadro de análise de variância da evolução e da acumulação de CO_2 produzidos pela incubação da fitomassa de 4 épocas de corte da *Crotalaria juncea* L. e da mucuna preta em 7 amostragens

Causas da variação	GL	Quadrados médios	
		evolução CO_2	CO_2 acumulado
época	6	51810,82	19000208,56
resíduo (A)	21	469,95	2605,58
tratamento	8	23277,97	510764,13
época x tratamento	48	1769,07	11913,66
resíduo (B)	168	546,09	3269,06
coeficiente de variação	(A)	6,2 %	3,4 %
coeficiente de variação	(B)	20,2 %	11,5 %

TABELA 7. Produção/evolução de CO_2 pela incubação das fitomassas da *Crotalaria juncea* L. e mucuna preta obtidas em 4 fases fenológicas. Resultados em $\mu\text{g C-CO}_2/\text{g}$ de solo. Média de 4 repetições

Tratamentos	épocas de amostragem (dias)							
	7	14	21	28	42	56	70	
testemunha	68,8	e 20,0 c	34,0 c	46,8 b	78,0 b	35,0 c	52,3 b	
C								
R Pré-floração	215,0 abc	114,5 ab	114,0 ab	106,0 a	177,0 a	120,8 ab	95,8 ab	
O								
T Floração	240,3 ab	104,8 ab	140,3 a	90,0 ab	143,0 a	78,5 bc	102,5 ab	
A								
L Frutificação	207,0 bc	126,5 a	98,0 ab	88,3 ab	141,0 a	115,3 ab	116,0 a	
A								
R Maturação								
I morfológica	201,0 bc	128,5 a	98,0 ab	116,0 a	185,0 a	138,0 a	121,5 a	
A								
M								
U Pré-floração	260,3 a	106,8 ab	96,0 ab	96,3 ab	163,0 a	107,5 ab	106,3 a	
C								
U								
N Floração	236,5 ab	99,0 ab	92,0 ab	84,3 ab	145,0 a	103,5 ab	100,5 ab	
A								
P Frutificação	167,3 cd	84,8 ab	86,0 b	88,0 ab	137,0 a	111,3 ab	88,0 ab	
R								
E								
T Maturação								
A morfológica	116,0	de 65,0 bc	86,0 b	82,3 ab	139,0 a	109,3 ab	88,8 ab	

1/ Em cada época de amostragem, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 %.

TABELA 8. Acumulação de CO_2 pela incubação das fitomassas da *Crotalaria juncea* L. e mucuna preta obtidas em 4 fases fenológicas. Resultados em $\mu\text{g C-CO}_2/\text{g}$ de solo. Média de 4 repetições

Tratamentos	épocas de amostragem (dias)						
	7	14	21	28	42	56	70
testemunha	68,8 e	88,8 c	122,8 d	169,5 d	247,5 d	282,5 d	334,8 e
C							
R Pré-floração	215,0 abc	329,5 a	443,5 ab	549,5 ab	726,5 a	847,3 a	943,0 ab
O							
T Floração	240,3 ab	345,0 a	485,3 a	575,3 a	718,3 a	796,3 ab	899,3 ab
A							
L Frutificação	207,0 bc	333,5 a	431,0 ab	542,3 ab	683,3 a	798,5 ab	913,8 ab
A							
R Maturação							
I morfológica	201,0 bc	329,5 a	427,5 ab	543,5 ab	728,5 a	866,5 a	988,0 a
A							
M							
U Pré-floração	260,3 a	367,0 a	463,0 a	559,3 a	722,3 a	829,8 a	936,0 ab
C							
U							
N Floração	236,5 ab	335,5 a	427,5 ab	511,8 ab	656,8 ab	760,3 ab	860,8 bc
A							
P Frutificação	167,3 cd	252,0 ab	338,0 bc	426,0 bc	563,0 bc	674,3 bc	762,3 cd
R							
E							
T Maturação							
A morfológica	116,0 de	181,0 bc	267,0 c	342,5 c	488,5 c	597,8 c	686,5 d

1/ Em cada época de amostragem, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 %.

TABELA 9. Quadro de análise de variância do peso seco, teor de nitrogênio e nitrogênio extraído pelo painço (*Panicum miliaceum* L.) semeado em 3 épocas após a incorporação da fitomassa da *Crotalaria juncea* L. e da mucuna preta

Causas da variação	GL	Quadrados médios		
		peso seco	% Nitrogênio	N extraído
época	2	19,489	0,669	241,581
resíduo (A)	6	0,194	0,190	36,006
tratamento	8	4,086	0,028	328,003
época x tratamento	16	0,170	0,243	16,925
resíduo (B)	72	0,727	0,100	10,059
coeficiente de variação	(A)	4,7	5,1	7,2
coeficiente de variação	(B)	8,6	11,0	11,4