

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

A FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO (FBN) COMO SUPORTE
DA PRODUTIVIDADE E FERTILIDADE NITROGENADA DOS SOLOS
NA CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR: USO DE ADUBOS VERDE

ALEXANDER SILVA DE RESENDE

SOB A ORIENTAÇÃO DO PROFESSOR

SEGUNDO URQUIAGA

Tese submetida como requisito
parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agronomia, área de
concentração em Ciência do solo.

Seropédica, Rio de Janeiro
Fevereiro de 2000

A FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO (FBN) COMO SUPORTE
DA PRODUTIVIDADE E FERTILIDADE NITROGENADA DOS SOLOS
NA CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR: USO DE ADUBOS VERDE

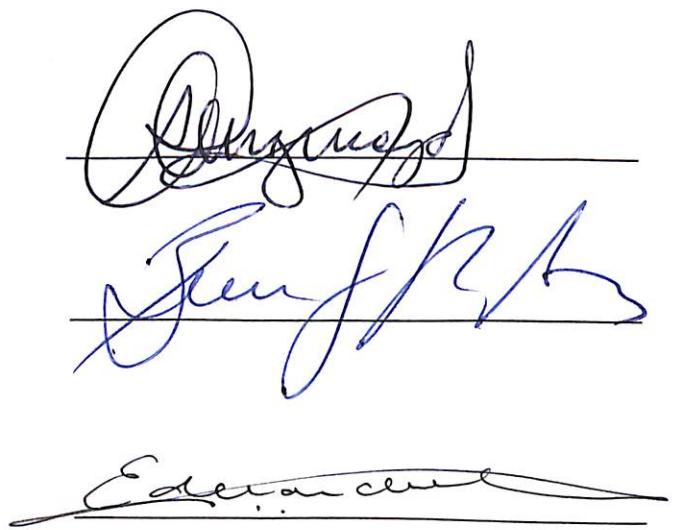
ALEXANDER SILVA DE RESENDE

APROVADO EM: 23 / 02 / 2000

Dr. Segundo Urquiaga
Pesquisador III - EMBRAPA - CNPAB

Dr. Bruno José Rodrigues Alves
Pesquisador III -EMBRAPA - CNPAB

Dr. Eduardo Lima
Professor Adjunto, UFRRJ



Homenagem

À Charles Darwin, pai da teoria evolucionista e autor de frases como essa:

“Fatos falsos são extremamente danosos ao progresso da ciência, pois amiúde resistem durante muito tempo, mas opiniões falsas, se apoiadas por alguma evidência, causam pouco mal, pois todos experimentam um prazer salutar em provar sua falsidade, e feito isso, mais um caminho na direção do erro é fechado e ao mesmo tempo é aberta a estrada para a verdade.”

Agradecimentos

À Deus, por todas as experiências que vem me permitindo passar;

À Minha mãe e meu irmão pelo carinho e complacência principalmente nos momentos mais complicados;

À toda minha família que sempre me apoiou, principalmente nas adversidades;

Ao Dr. Segundo Urquiaga pela confiança em meu trabalho, ensinamentos e principalmente amizade.

Aos Drs. Bruno Alves, Robert Boddey, José Guilherme e Eduardo Lima, pela amizade e pelas valiosas críticas e sugestões neste trabalho;

Aos funcionários e, graças a Deus, amigos do campo experimental da EMBRAPA Agrobiologia Srs.: Silvio, Carlinhos, Eugênio, Manoel Frade, Paulo Libano, Silas, Zezão Enivaldo, Elias, Roberto, Samuel, Oseás, João, Edilson, Zé Pedro, Arlei. Sem a força de vocês tudo seria muito mais difícil. Obrigado.

Aos companheiros de todas as horas, Elvino, Diego e Rogério, muito obrigado pela força física e intelectual na condução e discussão deste trabalho;

Aos amigos bolsistas do grupo: Octávio, David, Robert, Ricardo, Polidoro, Lincoln, Lusimar, Conceição, Antonieta, Nazaré, Cláudia, Márcio, Cátia, Celso, Fábio.

Aos funcionários Roberto Grégio, Altiberto, José Vicente e Roberto Andrade pela colaboração e boa vontade nas análises;

À “Diretoria”: Sérgio, Itamar, Jorge, Selmo, pela amizade e a alegre convivência;

À todos os funcionários e bolsistas pelo prazer do convívio;

Ao curso de Pós-Graduação em Ciência do solo da UFRRJ, a EMBRAPA Agrobiologia, e à Capes, que me deram a oportunidade de desenvolver este trabalho;

E, principalmente, àqueles que deixei de mencionar por falta de espaço, o meu muito obrigado.

Biografia do autor

Alexander Silva de Resende nascido em Campo Grande, Rio de Janeiro, no dia 03 de novembro de 1974. Iniciou suas atividades relacionadas à agropecuária no ano de 1989, quando ingressou no Colégio Técnico da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), cursando Agropecuária e concluindo o curso em 1991. Durante este período, desenvolveu algumas atividades relacionadas com topografia, bovinocultura de leite, diversas culturas regionais e levantamentos sócio-culturais, obtendo bolsa de estudo e trabalho por aquela instituição. Em 1992 prestou vestibular para Engenharia Florestal na UFRRJ, e graduou-se em 1997. Durante o curso, trabalhou inicialmente com entomologia florestal, onde obteve seu primeiro contato com a área de pesquisa. Em agosto de 1993, ingressou, através de concurso, como bolsista de iniciação científica do CNPq na EMBRAPA Agrobiologia, sendo bolsista desta modalidade até setembro de 1997, quando concluiu a graduação. Em 1998 ingressou no mestrado em agronomia, área de concentração em ciência do solo, como bolsista da CAPES.

Í N D I C E G E R A L

Pág.

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
<i>2.1. Evidências sobre a fixação biológica de nitrogênio (FBN) em cana-de-açúcar....</i>	<i>5</i>
<i>2.2. Fatores que estimulam a fixação biológica de nitrogênio.....</i>	<i>9</i>
<i>2.3. Principais práticas culturais que aumentam a produtividade e a longevidade do canavial.....</i>	<i>11</i>
<i>2.3.2.Uso de subprodutos da indústria sucroalcooleira</i>	<i>12</i>
<i>2.4. A prática da adubação verde na agricultura.....</i>	<i>13</i>
<i>2.4.1. Adubação verde com leguminosas como fonte de nitrogênio.....</i>	<i>13</i>
<i>2.4.2. Adubação verde nos canaviais.....</i>	<i>17</i>
<i>2.5. Principais características desejáveis em plantas utilizadas como adubos verdes:</i> <i>Técnicas de avaliação.</i>	<i>19</i>
<i>2.5.1.Taxa de cobertura do solo</i>	<i>19</i>
<i>2.5.2. Contribuição da fixação biológica de nitrogênio para a nutrição nitrogenada de plantas</i>	<i>21</i>
<i>2.5.3.Decomposição dos resíduos vegetais e mineralização de Nitrogênio orgânico</i>	<i>23</i>
CAPÍTULO 1 - Avaliação da produção de matéria seca, fixação biológica de nitrogênio, transferência do nitrogênio de leguminosas utilizadas como adubos verdes e seu efeito sobre a produtividade da cultura de cana-de-açúcar, cv. RB 72-454.	<i>25</i>
3. INTRODUÇÃO	26
4. MATERIAL E MÉTODOS	29
<i>4.1. Localização e características de solo e clima da área experimental.....</i>	<i>29</i>
<i>4.2.Tratamentos e delineamento experimental.....</i>	<i>30</i>
<i>4.3. Implantação do experimento.....</i>	<i>31</i>

<i>4.4. Avaliações sobre o desenvolvimento das espécies de leguminosas empregadas como adubo verde no estudo.....</i>	32
4.4.1. Taxa de cobertura do solo e altura das plantas	32
4.4.2. Produção de matéria seca e N-total acumulado pelas espécies empregadas como adubo verde.....	33
4.4.3. Quantificação da fixação biológica de nitrogênio nas leguminosas	34
4.4.4. Decomposição dos resíduos derivados dos adubos verdes	35
<i>4.5. Avaliações sobre a influência dos adubos verdes na cultura de cana-de-açúcar</i>	36
4.5.2. Transferência de nitrogênio dos adubos verdes para as plantas de cana-de-açúcar	37
4.5.3. Produção de matéria seca de cana-de-açúcar	37
<i>4.7 Análise estatística.....</i>	39
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
<i>5.1. Desenvolvimento das leguminosas utilizadas como adubo verde.....</i>	40
5.1.1.Taxa de cobertura do solo e altura das plantas	40
5.1.2. Produção de matéria seca e N-total acumulado pelas espécies de leguminosas	49
5.1.3. Quantificação da fixação biológica de nitrogênio (FBN) nas espécies de plantas da família Leguminosae utilizadas como adubo verde.....	51
5.1.4. Decomposição dos resíduos vegetais derivados dos adubos verdes.....	54
<i>5.2. Avaliações sobre o consórcio adubo verde x cana-de-açúcar.....</i>	55
5.2.1. Informações referentes ao desenvolvimento das plantas de cana-de-açúcar.	55
5.2.3. Produção de colmos e acúmulo de N-total pela cultura de cana-de-açúcar ...	64
5.2.4. Contribuição da fixação biológica de nitrogênio para a cultura de cana-de-açúcar	70
6. CONCLUSÕES.....	75
CAPÍTULO 2 - Taxa de decomposição de diferentes resíduos de espécies de leguminosas utilizadas na adubação verde plantadas em pré-cultivo na cultura de cana-de-açúcar e sua influência no rendimento da cultura, cv. RB 72-454.	77

7. INTRODUÇÃO	78
8. MATERIAL E MÉTODOS	80
8.1. Localização e características de solo e clima da área experimental.....	80
8.2. Tratamentos e delineamento experimental	80
8.3.Implantação do experimento.....	82
8.4. Avaliações sobre o comportamento das leguminosas	83
8.4.1. Produção de matéria seca e N-total acumulado pelas leguminosas.....	83
8.4.2. Quantificação da fixação biológica de nitrogênio (FBN)	84
8.4.3. Decomposição dos resíduos derivados dos adubos verdes	84
8.5. Avaliações sobre o consórcio adubo verde x cana-de-açúcar.....	85
8.5.1. Influência da adubação verde na produção de matéria seca e acúmulo de N-total em plantas de cana-de-açúcar.....	85
8.5.2. Quantificação da contribuição da fixação biológica de nitrogênio (FBN) associada à cultura de cana-de-açúcar.....	85
8.6 Análise estatística.....	85
9. RESULTADOS E DISCUSSÃO	86
9.1. Acúmulo de matéria seca e N-total pelas espécies de leguminosas em estudo....	86
9.2. Contribuição da fixação biológica de N_2 às leguminosas em estudo.....	89
9.3. Taxa de decomposição de talos e folhas de plantas utilizadas na adubação verde	90
9.4. Produção de colmos e acúmulo de nitrogênio na cultura de cana-de-açúcar.	97
9.5. Contribuição da FBN para as plantas de cana-de-açúcar.....	99
10. CONCLUSÕES.....	102
11. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	104
12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107
13. Apêndices.....	123

Í N D I C E D E F I G U R A S

Pág.

<p>Figura 1. Altura (cm) de quatro espécies de leguminosas crescidas em consórcio com cana-de-açúcar (cv. RB 72 454).....</p> <p>Figura 2. Cobertura do solo por <i>Canavalia ensiformis</i> aos 14 (6,8%); 22 (26,9%); 31 (38,3%); 37 (47,7%); 46 (71,8%) e 51 DAP (84%). As fotografias estão dispostas da esquerda para a direita e de cima para baixo. Valores entre parênteses são a taxa de cobertura do solo determinada pelo sistema de análise de imagens SIARCS.....</p> <p>Figura 3. Cobertura do solo por <i>Mucuna deeringiana</i> aos 14 (10,4%); 22 (17,0%); 31 (30,9%); 37 (45,5%); 46 (73,9%) e 51 DAP (81,0%). As fotografias estão dispostas da esquerda para a direita e de cima para baixo. Valores entre parênteses são a taxa de cobertura do solo determinada pelo sistema de análise de imagens SIARCS.....</p> <p>Figura 4. Cobertura do solo por <i>Crotalaria juncea</i> aos 14 (7,9%); 22 (29,1%); 31 (54,63%); 37 (51,1%); 46 DAP (69,2%). As fotografias estão dispostas da esquerda para a direita e de cima para baixo. Valores entre parênteses são a taxa de cobertura do solo determinada pelo sistema de análise de imagens SIARCS.....</p> <p>Figura 5. Cobertura do solo por <i>Crotalaria spectabilis</i> aos 22 (2,3%); 31 (5,4%); 37 (13,5%); 46 (17,1%) e 51 DAP (21%). As fotografias estão dispostas da esquerda para a direita e de cima para baixo. Valores entre parênteses são a taxa de cobertura do solo determinada pelo sistema de análise de imagens SIARCS.....</p>	<p style="margin-top: 10px;">43</p> <p>44</p> <p>45</p> <p>46</p> <p>47</p>
--	---

Figura 6. Influência da adubação nitrogenada e do consórcio com leguminosas no número de perfilhos de cana planta, em diferentes épocas de amostragem (Dados relativos, utilizando-se como referência o perfilhamento da testemunha absoluta).....	58
Figura 7. Influência da adubação nitrogenada e do consórcio com leguminosas no número de perfilhos de cana-de-açúcar na 1 ^a soca em diferentes épocas de amostragem (Dados relativos, utilizando-se como referência o perfilhamento da testemunha absoluta).....	59
Figura 8. Deposição de material senescente de <i>C. juncea</i> ao longo do tempo em cada período de avaliação.....	88
Figura 9. N-total remanescente (kg ha^{-1}) na matéria seca das folhas, talos e parte aérea total de <i>Indigofera</i> sp.....	94
Figura 10. N-total remanescente (kg ha^{-1}) na matéria seca das folhas, talos e parte aérea total de <i>Crotalaria juncea</i>	95
Figura 11. N-total remanescente (kg ha^{-1}) na matéria seca das folhas, talos e parte aérea total de <i>Canavalia ensiformis</i>	96

ÍNDICE DE TABELAS

	Pág.
Tabela 1. Análise química do solo da área experimental.....	29
Tabela 2. Taxa de cobertura do solo (%) por quatro espécies de leguminosas plantadas em consórcio com cana-de-açúcar (cv. RB 72 454), e precipitação pluviométrica no período.....	41
Tabela 3. Precipitação pluviométrica do período, matéria seca e acúmulo de N-total de 4 leguminosas utilizadas como adubo verde em consórcio com cana-de-açúcar. (ciclo de cana planta). Médias de 4 repetições.....	50
Tabela 4. Precipitação pluviométrica do período, matéria seca e acúmulo de N-total de 4 leguminosas utilizadas como adubo verde em consórcio com cana-de-açúcar (ciclo de cana soca). Médias de 4 repetições.....	51
Tabela 5. Valores de abundância natural de ^{15}N ponderados da planta inteira, e contribuição da fixação biológica de N atmosférico para a nutrição nitrogenada de 4 leguminosas em estudo no ciclo de cana planta. Médias de 4 repetições.....	52
Tabela 6. Valores de abundância natural de ^{15}N ponderados da planta inteira, e contribuição da fixação biológica de N atmosférico para a nutrição nitrogenada das 4 leguminosas em estudo. Ciclo de cana soca. Médias de 4 repetições.....	53
Tabela 7. Taxa de decomposição e tempo de meia vida da matéria seca de 4 leguminosas utilizadas como adubo verde, em consórcio com cana-de-açúcar (ciclo de cana planta). Média de 4 repetições.....	54

Tabela 8. Taxa de decomposição e tempo de meia vida do nitrogênio de 4 leguminosas utilizadas como adubo verde, em consórcio com cana-de-açúcar (ciclo de cana soca). Média de 4 repetições.....	55
Tabela 9. Teor de N-total na folha zero de cana-de-açúcar em 3 datas de coleta, em função da adubação verde e da aplicação de nitrogênio (ciclo de cana planta).....	60
Tabela 10. Valores de delta ^{15}N na folha zero de cana-de-açúcar em 3 datas de coleta, em função da adubação verde e da aplicação de nitrogênio (ciclo de cana planta).61	
Tabela 11. Percentual de N-total na folha zero de cana-de-açúcar em 3 períodos de coleta, em função do uso da adubação verde iclo de cana soca).....	62
Tabela 12. Valores de delta ^{15}N da folha zero de plantas de cana-de-açúcar em 3 datas de coleta, em função da adubação verde e da aplicação de nitrogênio. (1 ^a soca – Médias de 4 repetições).....	63
Tabela 13. Transferência do nitrogênio acumulado pelas leguminosas para as plantas de cana-de-açúcar fazendo-se uso da técnica de delta ^{15}N e utilizando-se como planta referência a testemunha não nitrogenada. (Cana soca - Médias de 4 repetições).....	64
Tabela 14. Produção de colmos frescos (t ha^{-1}) de cana planta (12 meses) e soca, cultivadas sem e com consórcio com adubos verdes.....	65
Tabela 15. Produção de matéria seca (t ha^{-1}) de cana planta (12 meses), em função dos tratamentos de adubação verde intercalar. Médias de 4 repetições.....	67
Tabela 16. N-total acumulado (kg ha^{-1} de N) em cana planta (12 meses), em função dos tratamentos de adubação verde intercalar. Médias de 4 repetições.....	68

Tabela 17. Produção de matéria seca ($t\ ha^{-1}$) de cana soca, em função dos tratamentos de adubação verde intercalar. Médias de 4 repetições.....	69
Tabela 18. N-total acumulado ($kg\ ha^{-1}$ de N) nas plantas de cana, em função dos tratamentos de adubação verde intercalar. (cana soca).....	70
Tabela 19. Valores de abundância natural de ^{15}N na bandeira (folhas verdes) de plantas de cana-de-açúcar, cultivadas com adubação verde intercalar (ciclo de cana planta).....	70
Tabela 20. Contribuição (%) da fixação biológica de nitrogênio para plantas de cana-de-açúcar determinadas pela técnica de abundância natural de ^{15}N , utilizando-se sorgo e milho como testemunhas (ciclo de cana planta).....	72
Tabela 21. Valores de abundância natural de ^{15}N em diferentes partes das plantas de cana-de-açúcar cultivadas com adubação verde intercalar (ciclo de cana soca).....	73
Tabela 22. Contribuição (%) da fixação biológica de nitrogênio para plantas de cana-de-açúcar determinadas pela técnica de abundância natural de ^{15}N , utilizando sorgo e milho como testemunhas (ciclo de cana soca).....	74
Tabela 23. Produção de fitomassa e N-total acumulado por três espécies de leguminosas utilizadas como adubação verde, em pré cultivo de cana-de-açúcar.....	87
Tabela 24. Valores de abundância natural de ^{15}N da parte aérea, e contribuição da fixação biológica de N atmosférico para a nutrição nitrogenada das leguminosas estudadas. Médias de 4 repetições.....	90
Tabela 25. Valores da constante de decomposição (k) e tempo de meia vida ($t_{1/2}$) da matéria seca e do nitrogênio total contido nas diferentes partes de três espécies de leguminosas utilizadas como adubo verde.....	91

Tabela 26. Produção de colmos frescos ($t\ ha^{-1}$) de cana planta (11 meses), cultivada após adubação verde em pré-plantio.....	97
Tabela 27. Produção de matéria seca ($t\ ha^{-1}$) de cana planta (11 meses), cultivada após adubação verde em pré-plantio.....	98
Tabela 28. N-total acumulado ($kg\ ha^{-1}$) pela cultura de cana-de-açúcar, cultivada após adubação verde em pré-plantio. Cana planta (11 meses).....	99
Tabela 29. Valores da abundância natural de ^{15}N em diferentes partes das plantas de cana-de-açúcar, cultivadas após adubação verde em pré-plantio.....	100
Tabela 30. Contribuição (%) da fixação biológica de nitrogênio na nutrição de plantas de cana-de-açúcar, determinado pela técnica de abundância natural de ^{15}N , utilizando-se como testemunhas o sorgo e o milho.....	101

Í N D I C E D E Q U A D R O S

Quadro 1. Descrição dos tratamentos.....	31
Quadro 2. Descrição dos tratamentos.....	82

RESUMO

O uso da adubação verde com plantas da família Leguminosae destaca-se entre outros aspectos, pela capacidade destas plantas em fixar nitrogênio do ar, principalmente através de associações com bactérias do gênero *Rhizobium*, sendo portanto, uma alternativa à aplicação de N-mineral em cultivos agrícolas. A cultura de cana-de-açúcar ocupa perto de cinco milhões de hectares que, principalmente nas soqueiras, necessitam da aplicação deste nutriente. Apesar da capacidade que alguns genótipos de cana apresentam de fixar nitrogênio atmosférico, estas quantidades fixadas não suprem totalmente a demanda da cultura, principalmente nas soqueiras. Assim, este trabalho teve como objetivos buscar a associação de ambos os sistemas de FBN, da cana e das leguminosas, tentando estabelecer um manejo mais adequado para suprir a demanda de nitrogênio da cultura de cana.

Instalou-se num planossolo extremamente arenoso e pobre em nutrientes, dois experimentos na área da EMBRAPA-Agrobiologia, Seropédica, RJ: No primeiro, estudou-se o desenvolvimento de quatro espécies de leguminosas *Crotalaria juncea*, *C. spectabilis*, *Canavalia ensiformis* e *Mucuna deeringiana*, crescendo de forma intercalar à cultura de cana, para fins de adubação verde, além de um tratamento com aplicação de 100 kg ha⁻¹ de N e o controle. Foram feitas determinações sobre a taxa de cobertura do solo pelas

leguminosas, acúmulo de nitrogênio, FBN e decomposição dos resíduos das leguminosas além de avaliações sobre o desenvolvimento e a produção de colmos de cana-de-açúcar. Os resultados deste experimento permitem concluir que *C. spectabilis*, de crescimento inicial mais lento que as demais leguminosas do estudo, apresentou os melhores resultados para cultivo intercalar com cana-de-açúcar, justamente por não interferir no perfilhamento da cultura e, favoreceu em 16% a produção de colmos (média de 2 anos); as leguminosas cultivadas nas entrelinhas de cana, acumularam entre 16 e 64 kg ha⁻¹ de nitrogênio num período de 50 a 70 dias, que sendo utilizado pela cultura de cana, permite vislumbrar-se o potencial desta prática para a complementação nitrogenada das soqueiras.

No segundo experimento avaliou-se a taxa de decomposição da matéria seca e a liberação do nitrogênio contido em diferentes partes das plantas (talos e folhas) de três espécies de leguminosas utilizadas na adubação verde: *Crotalaria juncea*, *Canavalia ensiformis* e *Indigofera* sp, que cresceram por 150 dias até serem cortadas. Dentro do delineamento proposto, para que se pudesse avaliar também a influência que estes resíduos ainda poderiam exercer sobre a produção de colmos de cana-de-açúcar, foram considerados mais três tratamentos: o primeiro consistiu do plantio de *Crotalaria juncea* 3 meses antes do plantio da cana, para que fosse incorporada verde, na época do plantio da cana; o segundo consistiu da aplicação de 100 kg ha⁻¹ N, como uréia; e o terceiro, o controle, perfazendo seis tratamentos.

Concluiu-se que a fixação biológica de nitrogênio contribuiu com 50 a 100% do N-total acumulado pelas leguminosas em todas as condições do estudo, possibilitando o fornecimento de até 100 kg ha⁻¹ de N, o que indica o potencial de uso dessas espécies para

suprir a demanda de N da cana, que não pôde ser atendida somente pela FBN associada à própria cana.

As folhas das leguminosas em estudo, apresentaram de modo geral, tempo de meia vida 3 vezes menor que o dos talos, enquanto o $t_{1/2}$ do nitrogênio contido nos adubos verdes foi de 20 a 40% menor que $t_{1/2}$ da matéria seca. A adubação verde com leguminosas em pré-plantio de cana-de-açúcar, proporcionou um aumento na produção de colmos entre 7 e 18%, demonstrando o potencial desta prática para o aumento da produção de colmos na ocasião da renovação do canavial.

A cultivar de cana RB 72 454 obteve em média, no tratamento controle, aproximadamente 50% de todo o nitrogênio acumulado em seus tecidos, de uma fonte que não foi o solo, nem o fertilizante mineral e nem mesmo a adubação verde, assim, no nível de conhecimento atual, acredita-se que a FBN associada a esta cultura, tenha contribuído grandemente para a nutrição nitrogenada desta cultura;

A adubação verde de maneira geral, comportou-se como uma importante e complementar fonte de N ao sistema solo-planta, necessitando de mais experimentação para que seja possível encontrar o espaçamento, as espécies e a densidade de plantio ideais das leguminosas, para otimização do manejo. A experimentação com adubação verde em solos de canaviais com características químicas e físicas mais favoráveis, deve ser priorizada.

SUMMARY

The use of the green manuring with leguminous plants is important because dinitrogen fixation by their associations with Rhizobium is an alternative to the application of nitrogenous fertiliser in agriculture. Sugar cane is presently planted on five million hectares in Brazil and, mainly for the ratoon crop, the application of nitrogen fertiliser is necessary for maximum yields. Some cane genotypes have the capacity to fix atmospheric nitrogen, but these amounts are generally insufficient to supply the entire plant nutrient demand of the ratoon crop. This study had as objectives to look for the association of both systems of BNF, that associated with the cane plants and that of green manure legumes, with the aim of establishing more appropriate management practices to supply the demand of nitrogen of the cane culture and the legume.

Two field experiments were installed at EMBRAPA-Agrobiologia: In the first the development of four species of leguminous crops *Crotalaria juncea*, *C. spectabilis*, *Canavalia ensiformis* and *Mucuna deeringiana* was studied when intercropped with the cane. The objective was to study the effectiveness of green manuring, in comparison with the application of 100 kg ha⁻¹ N and without N-fertiliser. The rate of covering of the soil by the leguminous crops, accumulation of nitrogen, BNF and decomposition of the residues of the legumes were determined. The results of this experiment show that *C. spectabilis* has a

initial growth slower than other legumes although it presented the best results for cultivation between rows of cane, as it did not interfere with the lateral growth of the sugar cane, and it increased the production of stems (mean of 2 consecutive years) by 16 %. The legumes cultivated between rows of sugar cane accumulated between 16 and 64 kg ha⁻¹ of nitrogen in a period of 50 to 70 days. As this N could be used by the sugar-cane this practice shows great potential for the complementation of N-fertiliser to the ratoon crops.

In the second experiment the rate of decomposition of the dry matter, liberation of the nitrogen contained in different parts of the legumes (stems and leaves) were evaluated. Three legumes species were used as green manures: *Crotalaria juncea*, *Canavalia ensiformis*, *Indigofera* sp and all were grown for 150 days until harvest. Within the experimental design, the influence of these residues on the production of sugar cane stems was studied with three treatments: the first consisted of the planting of *Crotalaria juncea* 3 months before the sugar-cane and the fresh material incorporated into the soil at the time of planting of the cane; the second treatment consisted of the application of 100 kg ha⁻¹ N, as urea; and the third the control (without *Crotalaria* or N fertiliser)

It was concluded that biological nitrogen fixation contributed more than 50% of the N-total accumulated by legumes crops in the conditions of this study, contributing with more than 100 kg ha⁻¹ of N in this experiment. These results indicated the potential of use of these species to supply the demand of N of the cane as the sugar-cane BNF did not supply all nitrogen. The leaves of the legume in this study presented in general half lives ($t^{1/2}$) 3 times less than that of the stems, while the $t^{1/2}$ of the nitrogen of the green manure crops was about 20 to 40% less than $t^{1/2}$ of the dry matter. Green manuring with legumes in sugar cane pre-planting provided an increase in the production of stems of about 7 - 18%,

showing the potential of this practise for the increase of the production of cane stems at the time of renewal of the sugar cane plantation.

1. INTRODUÇÃO

A cultura de cana-de-açúcar ocupa papel de grande importância na economia de diversos países dos cinco continentes do mundo, sendo de maior destaque nas economias da América Latina e do Caribe. O Brasil é atualmente o maior produtor mundial desta cultura, com uma área plantada de 4,9 milhões de hectares e uma produtividade média de 68 t ha⁻¹ (IBGE-SIDRA, 1999). A história da cana-de-açúcar no Brasil iniciou-se logo após a chegada dos portugueses e, vem mantendo-se até hoje como um dos principais cultivos agrícolas do País. Neste século, até o início da década de 70, a economia do setor açucareiro passou por várias crises (Cana-de-açúcar, 1997), no entanto, em meados daquela década, o País implantou o maior programa de combustível renovável do mundo, o PROÁLCOOL, que, além de atenuar a dependência brasileira pelo petróleo dos países do oriente médio, (na época, o País importava cerca de 84% de sua necessidade diária de petróleo), o álcool, produzido a partir da cana-de-açúcar e usado como combustível, permitiria a redução da emissão de monóxido de carbono em 57 %, de hidrocarbonetos em 64 % e de óxidos de nitrogênio em cerca de 13 %, quando comparados com carros à gasolina (Bohm, 1986). Com o PROÁLCOOL o Brasil diminuiu a importação de petróleo no equivalente a 230.000 barris por dia, o que em termos sócio-econômicos, representou a

criação de cerca de 1 milhão de empregos, e ao redor de US\$ 1 bilhão por ano na economia de divisas.

Atualmente, considerando-se apenas os preços internacionais do petróleo, pode-se dizer que o custo de uma unidade energética na forma de álcool é relativamente elevado, mas neste cálculo, não tem sido considerado o efeito ambiental. Outro ponto relevante, consiste no fato de que em 1999, o barril de petróleo subiu 152% em dólar, passando de 12 para US\$ 28, e a perspectiva é que aumente ainda mais nos próximos anos, sendo previsto que em 2020 o barril esteja cotado a US\$ 50 (Petroleum Industry Research, 2000). Desta forma, o álcool é conhecido hoje, por ser um dos biocombustíveis renováveis menos poluente e mais correto do ponto de vista ecológico, social e econômico.

Um dos fatores de primordial importância para o sucesso do programa PROÁLCOOL no Brasil, diz respeito ao balanço energético positivo da cultura de cana-de-açúcar para a produção de álcool. Na cana produzida em países como EUA e Cuba o balanço energético raramente chega a 1 (Boddey, 1995), e no Brasil é de aproximadamente 9, podendo chegar a 12 caso elimine-se a adubação com fertilizantes minerais nitrogenados, diminuam-se as perdas industriais e haja um maior aproveitamento dos subprodutos da indústria (Macedo *et al.*, 1997). Este grande balanço positivo, quando comparado aos demais países produtores de cana-de-açúcar, deve-se, em grande parte, aos bons rendimentos da cultura com baixas aplicações de fertilizantes nitrogenados (Zambello & Orlando Filho, 1981; Urquiaga *et al.*, 1992). Em países produtores de cana-de-açúcar, como os Estados Unidos, Cuba, Venezuela e Perú, as adições de nitrogênio estão entre 200 e 400 kg ha⁻¹ ano⁻¹.

Nos programas de melhoramento de cana-de-açúcar desenvolvidos no Brasil, tanto em Campos (RJ) nos anos 40, como nos programas conduzidos mais recentemente pelo Planalsucar, Copersucar (SP) e atualmente pelas Universidades Federais, as aplicações de fertilizante nitrogenado foram sempre modestas (60 a 120 kg ha $^{-1}$ ano $^{-1}$ de N), e as cultivares selecionadas produziram satisfatoriamente nestas condições, raramente mostrando grandes respostas às adições deste nutriente (Azeredo *et al.*, 1986). É bastante aceitável que, devido a estas baixas doses de N-fertilizante aplicadas, os pesquisadores brasileiros contribuíram e vêm contribuindo em grande parte, para aumentar a eficiência da fixação biológica de nitrogênio (FBN) na cultura de cana-de-açúcar (Urquiaga *et al.*, 1997).

Apesar dos avanços da pesquisa em FBN nos últimos anos, as soqueiras de cana-de-açúcar ainda necessitam de uma complementação nitrogenada e o custo de aquisição deste elemento tende a elevar-se, acompanhando o preço do petróleo. Assim, nos últimos anos, a pesquisa científica, vem trabalhando em busca de alternativas para a adubação nitrogenada, seja através de genótipos de plantas com maior potencial para FBN ou através de estudos para avaliar o potencial e os benefícios da adubação verde com leguminosas em diversos cultivos agrícolas, entre eles a cana-de-açúcar (Kluthcouski, 1980; Miyasaka *et al.*, 1984; Giller & Wilson, 1991; Calegari *et al.*, 1992; Caceres & Alcarde, 1995; Urquiaga *et al.*, 1997; Espíndola *et al.* 1998; Demétrio *et al.*, 1998; Nascimento & Lombardi Neto, 1999).

Os avanços de conhecimento sobre a FBN associada a cana-de-açúcar tem sido muito intensificados nos últimos anos, no entanto há ainda um longo caminho a ser percorrido até que sua eficiência seja máxima. Por outro lado, a comprovada eficiência da FBN associada a plantas da família das leguminosas usadas como adubos verdes, permite especular-se sobre a possibilidade de, manejando-se adequadamente ambos os sistemas de

FBN, produzir um sistema agrobiológico de produção de cana-de-açúcar sem a prática tradicional da adubação com nitrogênio fertilizante. Assim, não somente se estaria contribuindo para aumentar a produtividade da cultura e o balanço energético na produção de álcool como também para a preservação do meio ambiente.

No entanto, para se obter máxima eficiência de utilização dos nutrientes contidos nos adubos verdes é preciso conhecer seus padrões temporais de mineralização. Apenas com base nessas informações, é possível estabelecer sistemas de manejo de culturas onde haja coincidência entre a liberação de nutrientes do adubo verde e a sua demanda por culturas intercaladas e/ou subsequentes.

O presente trabalho teve como objetivos:

1. Estudar o desenvolvimento e o potencial de fornecimento de nitrogênio de cinco espécies de leguminosas utilizadas na adubação verde (*Crotalaria juncea*, *Crotalaria spectabilis*, *Canavalia ensiformis*, *Mucuna deeringiana* e *Indigofera* sp), crescendo de forma intercalar e/ou em pré-plantio à cultura de cana-de-açúcar;
2. Estudar a taxa de decomposição e liberação do nitrogênio contido em diferentes partes das plantas (talos e folhas) empregadas como adubos verdes.
3. Avaliar os efeitos do consórcio com leguminosas e da adubação verde, em pré-plantio, no desenvolvimento, produção de colmos e na nutrição nitrogenada da cultura de cana.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Evidências sobre a fixação biológica de nitrogênio (FBN) em cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma cultura altamente extrativa em nitrogênio. A cana-planta, com produtividade de 100 t ha⁻¹ de colmos, acumula entre 180 e 250 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N), e nas socas este valor é de 120 a 180 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N (Orlando Filho *et al.*, 1980; Sampaio *et al.*, 1984). Como o nitrogênio contido no colmo é exportado para a usina e a palha da cana é queimada antes do corte para facilitar a colheita manual, seu cultivo contínuo, poderia rapidamente esgotar as reservas de nitrogênio do solo, por mais fértil que fosse, uma vez que as quantidades deste nutriente adicionadas anualmente, raramente ultrapassam 80 kg ha⁻¹ nas socarias e na cana planta este valor é inferior a 30 kg ha⁻¹, em média. Entretanto, observa-se que a lavoura de cana não reduz o nível de N do solo (Urquiaga *et al.*, 1992). Estas evidências parecem indicar que a cultura possui um sistema natural de reposição do N exportado do solo anualmente (Olivares, 1997). No nível de conhecimento atual, este sistema de reposição parece ser a fixação biológica do nitrogênio (FBN). Um reforço para esta hipótese é que em apenas 19 % dos experimentos com aplicação de nitrogênio em cana planta, em diferentes regiões canavieiras do Brasil, foram

encontradas respostas significativas na produção de colmos (Azeredo *et al.*, 1986), o que é muito expressivo uma vez que a maioria dos solos cultivados com cana-de-açúcar no País, são de baixa fertilidade, principalmente em N-disponível.

Desde a década de 60 pesquisadores levantaram a hipótese de que microrganismos fixadores de N atmosférico, poderiam estar associados ao solo ou às plantas e serem responsáveis por significativas contribuições de N para a nutrição das plantas. No fim dos anos 50, Döbereiner (1959, 1961) encontrou altos números de bactérias fixadoras de N₂ do gênero *Beijerinckia*, no solo dos canaviais, especialmente na região da rizosfera. Também foi descoberta uma nova espécie de *Beijerinckia* a qual foi nomeada *Beijerinckia fluminensis* devido a sua ocorrência em solos do Estado do Rio de Janeiro (Döbereiner e Ruschel, 1958). Na época, por falta de técnicas apropriadas, não foi quantificada a contribuição às plantas desta fonte de nitrogênio.

Nos anos 70, vários experimentos foram conduzidos no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA, Piracicaba, SP) utilizando-se N₂ enriquecido com o isótopo ¹⁵N, onde foram detectadas contribuições da fixação de nitrogênio às plantas de cana-de-açúcar (Ruschel *et al.*, 1975; 1978). Entretanto, devido às dificuldades envolvidas em expor, no campo, plantas de cana-de-açúcar ao gás marcado com o isótopo, não foi possível concluir se estas contribuições foram de significância agronômica.

Já no fim da década de 80, em trabalhos conduzidos na EMBRAPA Agrobiologia, em condições ideais de irrigação e fertilização, excetuando-se aí o nitrogênio, e fazendo uso das técnicas de balanço de N total e diluição isotópica de ¹⁵N, foi comprovado que várias cultivares de cana são capazes de obter grandes contribuições de N através da fixação biológica de nitrogênio (FBN) associada à cultura (Lima *et al.*, 1987; Urquiaga *et al.*, 1989;

1992). Praticamente no mesmo período, com a introdução do meio semi-sólido para isolamento de bactérias, houve a possibilidade da descoberta de novos gêneros de bactérias diazotróficas (Döbereiner, 1992), não só em cana-de-açúcar, como em várias outras gramíneas. Entre estas bactérias, pode-se destacar para a cana-de-açúcar: *Azospirillum* sp, *Herbaspirillum seropedicae*, *Herbaspirillum rubrisubalbicans* e *Acetobacter diazotrophicus* que foram isoladas dos tecidos das plantas, tanto nas raízes como nos colmos e folhas (Purchase, 1980; Graciolli *et al.*, 1983; Baldani *et al.*, 1986; Baldani *et al.*, 1996; Cavalcante e Döbereiner, 1988; Gillis *et al.*, 1989; Boddey *et al.*, 1991, 1995). Estas bactérias possuem características muito importantes que nos levam a acreditar que sejam as principais responsáveis pelas altas taxas de FBN apresentadas pela cultura de cana-de-açúcar (Baldani *et al.*, 1997). Fazendo-se uso de metodologias modernas, *A. diazotrophicus* e *Herbaspirillum* sp não foram encontrados no solo, mesmo nas entrelinhas de cana-de-açúcar, sendo isoladas somente no interior das plantas e, portanto, consideradas bactérias endofíticas obrigatórias (Baldani *et al.*, 1997). Dados de Caruso & Baldani (1995) indicaram que *A. diazotrophicus* inoculada num solo, não pôde ser reisolada após 48 h da inoculação, sendo bem mais sensível que *Herbaspirillum* sp.

Uma forte razão para se acreditar que as bactérias diazotróficas, que vivem no interior das plantas de cana, sejam as principais responsáveis pela FBN nesta cultura, tem sido a possibilidade destas em obterem fotossintatos em abundância, estarem num ambiente com baixa concentração de oxigênio e, estando nestas condições, a possibilidade deste N fixado ser rapidamente assimilado pela planta hospedeira (Reis Júnior, 1998). Experimentos onde foram cultivados, juntos, *A. diazotrophicus* e uma levedura amilolítica (*Lipomyces kononemkoae*), usado como um sistema modelo para representar a interação

planta/bactéria, mostraram que 50% do N-total fixado pela bactéria foi transferido para a levedura, desde o início da cultura, o que sugere que esta rápida transferência também possa ocorrer para a planta hospedeira (Cojho *et al.*, 1993). Mais recentemente Cruz *et al.* (1995), determinaram em laboratório que o produto excretado por *A. diazotrophicus* é o amônio.

É sabido que plantas como a cana-de-açúcar que apresentam via fotossintética C₄, utilizam menos de 50% de sua capacidade fotossintética (Machado, 1987), podendo assim oferecer as bactérias diazotróficas energia necessária para manter a FBN sem afetar o rendimento da cultura (Döbereiner, 1992). No entanto, os mecanismos que envolvem a colonização das plantas ainda não estão totalmente elucidados (Olivares, 1997). Sabe-se que em cana-de-açúcar estas bactérias podem ser transferidas nos toletes que servem como propágulo, havendo também a possibilidade de que micorrizas arbusculares tenham um papel importante na infecção das plantas, como foi mostrado para *A. diazotrophicus* por Paula *et al.*, (1991).

Embora muitas evidências indiquem que sejam as bactérias diazotróficas endofíticas e não as de vida livre, as responsáveis pelas contribuições de nitrogênio, através da FBN, na cultura de cana, nenhuma hipótese deve ser descartada, mesmo porque, ainda há um caminho longo pela frente até que seja possível afirmar algo com maior precisão sobre o assunto, uma vez que até o momento, parece haver mais dúvidas que certezas para se explicar o fato da cana planta não responder a adubação nitrogenada em mais de 80 % dos casos e da soca, pelo contrário, responder com grande freqüência, embora as bactérias sejam encontradas nos dois casos, em todas as partes das plantas e em quantidades similares. É provável que a questão da resposta ao fertilizante nitrogenado por cana-de-

açúcar esteja relacionada com a taxa de crescimento das plantas, que por sua vez, depende do material genético e dos fatores ambientais, todos inter-relacionados com características fisiológicas em termos de produção de fotossintatos livres e de eficiência de uso do nitrogênio.

2.2. Fatores que estimulam a fixação biológica de nitrogênio

Em estudos que avaliam o processo de fixação biológica de nitrogênio associado às plantas, alguns fatores como disponibilidade de água, fundamental para qualquer processo biológico, deve ser colocado em primeiro plano. Já foi constatado que a atividade da fixação de N₂ associada tanto a espécies leguminosas como as não leguminosas, é estimulada por altos níveis de umidade do solo (Weier, 1980; Wani *et al.*, 1983; Boddey e Döbereiner, 1984). Outro fator de grande importância para o sucesso da FBN, consiste na disponibilidade de molibdênio para a cultura, uma vez que este elemento é essencial para a síntese e atividade das enzimas nitrogenase e redutase do nitrato, sendo a primeira responsável pela FBN e a segunda possibilita a assimilação do nitrogênio mineral do solo pela planta. Trabalhos realizados por Urquiaga *et al.* (1996, 1999), indicam aumento significativo da produção de colmos com a simples aplicação de 1 kg ha⁻¹ de molibdato de sódio em solos com baixos níveis deste nutriente, reduzindo a influência do N-fertilizante.

Outro aspecto a ser observado quando se trata de FBN em plantas não leguminosas, é o forte efeito que o genótipo da planta pode exercer sobre a eficiência da fixação de N₂. Oliveira (1994), trabalhando com o método de diluição isotópica de ¹⁵N em 40 cultivares de arroz inundado, encontrou diferenças consideráveis no que diz respeito ao percentual de N fixado, este fato também foi observado para milho, trigo e cana-de-açúcar (García de

Salamone & Döbereiner, 1996; Zavalin *et al.*, 1997; Urquiaga *et al.*, 1992). Urquiaga *et al.* (1992), encontraram que os híbridos comerciais de cana CB 45-3 e SP 70-1143, apresentaram valores médios de FBN ao redor de 60% do total de N acumulado pela planta, enquanto SP 79-2312, Na 56-79, CB 47-89, SP 71-799 e IAC 52-150, obtiveram valores bem menos significativos. Experimentos mais recentes realizados por Reis Júnior (1998), buscando encontrar respostas para estas diferenças varietais relacionadas com a FBN, e baseando-se na hipótese de que variedades diferentes apresentariam características distintas em relação a população de diazotróficos endófitos, tanto qualitativa como quantitativamente, chegou a conclusão que todas as bactérias estudadas puderam ser isoladas em proporções similares nos 4 genótipos avaliados, tanto nas cultivares eficientes como SP 70-1143 e CB 45-3, como na variedade Chunnee (*Saccharum barberi*), comprovadamente de baixa eficiência para a fixação biológica de N₂.

Estando as bactérias dentro da planta, é preciso intensificar os estudos no sentido de procurar entender o que faz com que o processo de FBN seja intensificado em alguns cultivares e atenuado em outros.

Enquanto o setor sucroalcooleiro aguarda por uma tecnologia que possa garantir altos níveis de fixação de N₂, seja por meio de genótipos de cana mais eficientes, ou até mesmo por meio de inoculação com bactérias diazotróficas, faz-se necessário o uso de práticas que possibilitem um maior rendimento da cultura, com um menor gasto energético.

2.3. Principais práticas culturais que aumentam a produtividade e a longevidade do canavial

2.3.1. Colheita de cana crua

A queima do canavial antes do corte visando facilitar a colheita, é uma prática cultural extremamente difundida em nosso País. O palhiço, depositado na superfície do solo nesta época, soma tipicamente entre 10 e 15 t ha⁻¹ de massa seca, promovendo uma cobertura do solo de 10 a 15 cm de espessura (Urquiaga *et al.*, 1991). A queima deste material expõe a superfície do solo às chuvas e, possivelmente, aumenta a repelência do solo à água através da condensação de produtos da combustão, que têm propriedades hidrofóbicas (De Bano, 1969). Assim, a queima do palhiço pode diminuir a infiltração de água no solo e aumentar o escorramento superficial, provocando perda da camada fértil pela erosão (Castro, 1970). A queima provoca perdas significativas de nutrientes principalmente de N, S, C para o ar e a liberação de formas solúveis dos elementos minerais (P, K, Ca, Mg etc.) (Castro, 1970; Smith, 1970). A curto prazo, estes nutrientes tornam-se disponíveis para as plantas, podendo causar alterações no pH da camada superficial do solo e consequentemente na disponibilidade de outros nutrientes (Viro, 1974; Lourenço, 1976). Por outro lado, como a rebrota da soca da cana é lenta e, consequentemente, retardada a retirada de nutrientes do solo, as perdas através da lixiviação e escorramento superficial podem ser significativas (Grier, 1975).

É importante ressaltar também o aspecto ecológico, pois não queimando-se o palhiço evita-se a emissão de monóxidos de carbono, óxidos de nitrogênio e dióxidos de enxofre, que contribuem para o chamado efeito estufa, e a formação de chuvas ácidas, que

vêm sendo motivos de grande preocupação para o equilíbrio da biosfera e consequentemente para a agropecuária mundial. A produção de fumaça e foligem originadas pela queima da palha, também constitui-se num grande transtorno para as cidades circunvizinhas de regiões canavieiras, a ponto desta prática ser proibida por lei nestas regiões.

Em experimento realizado por 16 anos na região canavieira de Pernambuco, Resende *et al.* (1998, 1999) estudaram o efeito da queima na produção de colmos ao longo do tempo, e constataram que a manutenção da palha no canavial aumenta a produção de colmos de forma progressiva ao longo dos anos, dispensando até mesmo a adubação nitrogenada das soqueiras nos anos mais secos, além de aumentar a longevidade do canavial. Felizmente, do ponto de vista ecológico, o aperfeiçoamento tecnológico de máquinas que efetuam a colheita de cana crua vêm aumentando a cada ano e possivelmente nos próximos anos a área de cana queimada deverá ser pouco expressiva.

2.3.2. Uso de subprodutos da indistria sucroalcooleira

O uso da vinhaça, assim como o da torta de filtro (resíduos orgânicos das usinas do setor sucroalcooleiro), vem sendo intensificados nos últimos anos na cultura de cana, com resultados bastante positivos. Estudos realizados por pesquisadores da Copersucar no Estado de São Paulo, indicam que a vinhaça é uma importante fonte de nutrientes para a cultura, especialmente nitrogênio e principalmente postássio. Outro fator de primordial importância é o papel ecológico do aproveitamento da vinhaça na fertirrigação, uma vez que quando não aplicadas nas áreas próximas as usinas, são jogadas diretamente nos cursos d'água, poluindo-os e causando a mortandade de peixes e problemas nas regiões abaixo do

leito de desembocadura (Gloria & Orlando Filho, 1984). Como ressalva, uma das grandes limitações da aplicação da vinhaça no campo, consiste no fato de que só há viabilidade financeira de sua aplicação nas regiões adjacentes à indústria, o mesmo pode ser dito para a torta de filtro (Glória e Orlando Filho, 1984). Este fato é preocupante, uma vez que essas aplicações são elevadas em quantidade e periodicidade, o que em alguns anos, poderá causar danos irreversíveis aos solos, uma vez que com a vinhaça e a torta de filtro são jogados quantidades elevadas de metais pesados, além da primeira apresentar alta concentração salina.

Neste contexto a busca de alternativas viáveis para reposição da matéria orgânica do solo, nas áreas mais distantes da usina, pode estar associada a possibilidade do uso de práticas que proporcionem a redução do uso de fertilizantes minerais na cultura de cana, entre eles o nitrogênio, para a qual, a adubação verde com leguminosas apresenta grande potencial.

2.4. A prática da adubação verde na agricultura

2.4.1. Adubação verde com leguminosas como fonte de nitrogênio

No Brasil, como na maioria dos países tropicais, a baixa disponibilidade de nitrogênio dos solos, responde em grande parte pelos baixos níveis de produtividade das culturas. Esta situação é crítica em áreas ocupadas por pequenos produtores que, por razões econômicas, não tem acesso ao consumo de N-fertilizante (Kiehl, 1985). Nesta situação somente culturas com sistemas de fixação biológica de nitrogênio eficiente, como as leguminosas (soja, caupi, guandu, etc.) podem crescer adequadamente sem aplicação de

fertilizantes nitrogenados. Embora seja conhecido que em algumas variedades de cana a FBN pode ser a principal fonte de nitrogênio à cultura, contribuindo com até 70 % do N acumulado pelas plantas (Lima *et al.*, 1987; Urquiaga *et al.*, 1992; Yoneyama *et al.*, 1997), mais alguns anos serão necessários para que seja possível desenvolver um maior número de variedades com alto potencial para fixação biológica de nitrogênio e ainda, se consiga otimizar todas as práticas que possam contribuir para o maior rendimento da cultura. Desta forma há a necessidade de buscar-se alternativas mais rápidas e viáveis que sejam capazes de suprir de forma adequada a demanda de nitrogênio na cultura de cana-de-açúcar, aumentando assim seu balanço energético e reduzindo seus custos ambientais, enquanto os melhoristas e microbiólogos estudam possibilidades de otimizar a eficiência da FBN associada à cultura.

Uma prática que vem sendo bastante utilizada para aproveitamento do nitrogênio do ar é a da adubação verde, definida por Pieters (1927) como: “A prática de enriquecimento do solo com matéria vegetal não decomposta (exceto resíduos de culturas), nascida no lugar ou trazida de fora.” Este conceito, no entanto, é muito mais antigo, tendo início na China, na dinastia de Chou, no período compreendido entre 1134-247 A.C. (Souza, 1953). Normalmente, as plantas que vem sendo mais utilizadas para esta prática são as da família Leguminosae, principalmente por sua forte interação com bactérias do gênero *Rhizobium* que possibilitam altos níveis de fixação do N₂.

Outra característica de grande importância nesta família de plantas é a de apresentar baixa relação C:N quando comparada com plantas de outras famílias (gramíneas, etc.). Este aspecto, aliado a grande presença de compostos solúveis, favorecem sua decomposição e mineralização por microorganismos do solo (Zotarelli *et al.*, 1997).

Considerando-se que uma leguminosa utilizada como adubo verde contenha em seus tecidos de 2 - 2,8% de nitrogênio no período da floração e que esta, produza cerca de 10 t de matéria seca por hectare, pode-se dizer que algumas espécies anuais, são capazes de contribuir com cerca de $280 \text{ kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ de nitrogênio, com um percentual considerável (60 – 80%) proveniente da FBN (Miyasaka *et al.*, 1984; Giller & Wilson, 1991; Urquiaga *et al.*, 1997). Estudos realizados com *Leucaena leucocephala*, indicam um potencial de fixação biológica de N_2 de até $400 \text{ kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ (Kluthcouski, 1980). Outros estudos indicam uma variação das quantidades de N fixado por plantas desta família de 0 a $600 \text{ kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, dependendo da espécie utilizada e das condições de manejo (Calegari *et al.*, 1992).

Trabalhos realizados por diversos autores (Vieira, 1960; Santa Cecília *et al.*, 1978; Pereira *et al.*, 1983; Goswami *et al.*, 1988), tem demonstrado o efeito positivo da adubação verde em diversas culturas como arroz, trigo e milho. Goswami *et al.* (1988), encontraram um aumento para a produção de grãos de arroz de cerca de 20% apenas com a adoção desta prática em pré-cultivo. Vieira (1960) trabalhando em solos de boa fertilidade observou um incremento na produção de milho de até 1600 kg ha^{-1} de grãos apenas com o cultivo intercalar de mucuna preta. Espíndola *et al.* (1998), estudando os efeitos da incorporação da vegetação espontânea e de 4 espécies de leguminosas na colonização micorrízica e na produção de batata doce, encontraram que crotalária e mucuna preta, incorporadas antes do plantio da batata doce, possibilitaram além do aumento na taxa de colonização radicular por fungos micorrízicos arbusculares, o aumento na produção de tubérculos (praticamente o dobro), quando comparados com a incorporação da vegetação espontânea. Demétrio *et al.* (1998), avaliaram a influência da incorporação de capim colonião (*Panicum maximum*) e feijão bravo do ceará (*Canavalia brasiliensis*) e da aplicação de N mineral em

características químicas e físicas do solo e na produção de matéria seca de milho. Estes autores observaram que a incorporação da leguminosa proporcionou aumento na produção de matéria seca de milho até 4 vezes maior que os obtidos com a incorporação do capim colonião, sendo este efeito similar à aplicação de 560 kg ha⁻¹ de N-fertilizante, porém com um valor protéico cerca de 30% maior. A incorporação do feijão bravo proporcionou também, um maior aumento no conteúdo de nitrogênio no solo. Estes resultados vem indicando que a adubação verde com leguminosas pode ser benéfica, não somente por estas espécies fixarem N₂ e posteriormente disponibilizarem este nitrogênio para a cultura subsequente, como também, por apresentar menor relação C:N que a vegetação nativa. Normalmente, quando os resíduos da vegetação espontânea (que geralmente apresentam alta relação C:N) são incorporados ou deixados sobre o solo na ocasião do plantio ou dos tratos culturais, ocorre, num primeiro momento, grande imobilização do nitrogênio do solo, o que pode acarretar numa maior necessidade de adubação com este elemento, para que seja possível suprir as necessidades da cultura principal e dos microorganismos decompositores, sem afetar a disponibilidade de N para a cultura principal (Scivittaro, 1998).

A definição de sistemas de manejo adaptados às condições de diferentes regiões e culturas e com menor dependência de fertilizantes minerais, é hoje o grande desafio de instituições de pesquisa do mundo todo e, justamente neste contexto, a adubação verde volta a ganhar importância após três décadas de uso indiscriminado desses fertilizantes, principalmente os nitrogenados.

2.4.2. Adubação verde nos canaviais

A prática da adubação verde na ocasião da reforma dos canaviais no Centro-Sul teve grande intensidade nas décadas de 50 e 60, com o objetivo básico de manter o solo coberto e, desta forma impedir a erosão, causada por chuvas pesadas que ocorriam nos meses de novembro a janeiro (Andrade, 1982; Miyasaka *et al.*, 1984; Nascimento & Lombardi Neto, 1999). Nesta época, apesar da adubação verde também ser defendida por controlar as ervas invasoras, fornecer material orgânico para o solo, elevar a retenção de água no solo e de recuperar nutrientes das camadas mais profundas, disponibilizando-os posteriormente na camada arável, era o controle da erosão que atraía a atenção dos pesquisadores e agricultores da época. No entanto, pouca importância era dada à capacidade destas plantas de contribuir para a nutrição nitrogenada da cultura.

Estudos realizados por Cardoso (1956) indicaram que a prática da adubação verde com *Crotalaria juncea*, em pré-cultivo, na renovação dos canaviais acarretou em um incremento de produção de cerca de 13% em relação a testemunha em cana planta, não tendo sido encontrado efeito residual para os demais cortes. Resultados similares foram encontrados por Cáceres & Alcarde (1995) que, trabalhando com 8 espécies de leguminosas encontraram que a adubação verde em pré-cultivo favoreceu a produção de colmos de cana-de-açúcar em 15%, no entanto, não foi constatada nenhuma influência desta prática nas características tecnológicas da cultura e nas propriedades químicas do solo. Wutke & Alvarez (1968) encontraram que o uso da *Crotalaria juncea* como adubo verde possibilitou a eliminação da necessidade de adubação nitrogenada no primeiro ano, e ainda apresentou um pequeno efeito residual para a 1^a soca. Nadagoudar *et al.* (1978) utilizando o plantio intercalado na cultura de cana-de-açúcar afirmam que, para o sucesso

desta prática, a escolha da espécie correta é fundamental. Neste mesmo estudo estes autores encontraram que, no primeiro ano, o plantio intercalar prejudicou a produção de cana-de-açúcar, já no segundo, favoreceu o rendimento da cultura em até 11 %. Vale ressaltar que estes autores intercalaram à cultura de cana-de-açúcar, não espécies com o objetivo exclusivo para adubação verde e sim espécies com valor econômico, como soja e caupi, assim, o retorno financeiro obtido da área plantada foi derivado das duas culturas consorciadas, o que dependendo do preço de mercado, em algumas vezes foi benéfico e em outras não. Outro aspecto a ser considerado no trabalho destes autores é que juntamente com os grãos, grande parte do nitrogênio acumulado pelas leguminosas, eram exportados do sistema e, dependendo da produtividade de grãos, da quantidade de resíduos deixados por estas culturas e do total de nitrogênio fixado por estas leguminosas, poderia estar havendo um empobrecimento de N no sistema, o que poderia acarretar em prejuízos futuros para a cultura da cana.

No entanto, o que se observa é que poucas informações existem a cerca desta prática na cultura de cana-de-açúcar, seja na renovação do canavial ou no plantio intercalar à cultura, mas tudo indica que a prática da adubação verde é uma das mais promissoras fontes de N para esta cultura sendo necessário uma intensificação nos estudos visando determinar características desejáveis nas espécies utilizadas, possibilitando assim, o desenvolvimento de um sistema de manejo que permita a redução da aplicação de fertilizantes minerais, principalmente os nitrogenados.

2.5. Principais características desejáveis em plantas utilizadas como adubos verdes: Técnicas de avaliação.

As leguminosas normalmente empregadas como adubos verdes caracterizam-se por seu rápido crescimento e alta produção de fitomassa, em curto espaço de tempo, permitindo cobrir o solo com eficiência e rapidez. Devem possuir alta capacidade de fixar nitrogênio do ar, terem uma rápida taxa de mineralização, além de serem tolerantes a pragas, doenças e adversidades climáticas. Embora algumas destas características sejam encontradas na literatura, a busca do sincronismo entre a liberação dos nutrientes pelos adubos verdes e a demanda da cultura subsequente e/ou principal e também a taxa de cobertura do solo pelas leguminosas, pouco vem sendo relatadas, principalmente em associação com a cultura de cana-de-açúcar. Desta forma, serão apresentadas algumas técnicas utilizadas neste estudo, para determinação de algumas destas características.

2.5.1. Taxa de cobertura do solo

Entre as diversas características que influenciam a escolha das espécies a serem utilizadas para adubação verde, a velocidade de crescimento e da cobertura do solo é de extrema importância. No entanto, as técnicas usuais para determinação da taxa de cobertura do solo são trabalhosas. A análise de imagens é um recurso que vem sendo usado com freqüência nos diversos ramos das ciências. Imagens obtidas por sistemas de sensores a bordo de aviões e satélites artificiais são largamente utilizadas para levantamentos de recursos terrestres (Alves, 1990). Já nos estudos de conservação do solo, utiliza-se a análise de fotografias de superfície, com a finalidade de determinar a cobertura vegetal do solo (Stocking, 1988). Os métodos para a análise quantitativa de área em imagens são analíticos

ou estatísticos. Os analíticos são a planimetria (fazendo uso de um planímetro) e a gravimetria, onde a imagem é recortada de acordo com os seus elementos e o peso total de papel que o constitui, determina a sua fração total (Lopes, 1984). O método estatístico consiste na contagem dos elementos da imagem, somando os valores seguindo um padrão de amostragem (Jong Van Lier *et al.*, 1993). Estes métodos em geral são trabalhosos e sujeitos a subjetividade.

Com o avanço da tecnologia eletrônica abriu-se a possibilidade do emprego de recursos computacionais sofisticados na análise de imagens. Até pouco tempo atrás este método era inviabilizado pela ausência de softwares especializados além do alto custo de aquisição dos equipamentos. A partir do aprimoramento do software desenvolvido pela EMBRAPA-CNPDIA (SIARCS - sistema integrado para análises de raízes e cobertura do solo), a análise de cobertura vegetal do solo foi extremamente facilitada (Crestana *et al.*, 1991, 1994; Jorge *et al.*, 1996). Neste sistema, a análise de cobertura vegetal do solo é feita tomando-se fotografias perpendicularmente às plantas. Após esta etapa, as fotografias são digitalizadas de forma que somente sejam selecionadas as cores representativas da cobertura (normalmente as diversas tonalidades de verde e amarelo) a partir daí, é feito um processo de binarização da fotografia (contraste entre o preto e o branco), em seguida se dá a contagem da área coberta. Apesar de prática, ainda não são encontrados na literatura, muitos estudos da taxa de cobertura de solo por adubos verdes com esta ferramenta.

2.5.2. Contribuição da fixação biológica de nitrogênio para a nutrição nitrogenada de plantas

Atualmente diversas técnicas vem sendo utilizadas para determinação da contribuição da fixação biológica de nitrogênio por bactérias diazotróficas para as plantas. Entre elas destacam-se: a diferença de N-total (Boddey, 1987), o balanço de nitrogênio no sistema solo-planta (Bremner, 1965), redução de acetileno (Burris, 1975), balanço de N-mineral (Alves *et al.*, 1995), abundância relativa de ureídos (McClure *et al.*, 1979; Alves, 1996) e também técnicas isotópicas, tais como: N₂ marcado com ¹³N ou ¹⁵N (Meeks *et al.*, 1978; Ruschel *et al.*, 1978), a diluição isotópica de ¹⁵N (Vallis *et al.*, 1967; Boddey *et al.*, 1994) e a abundância natural de ¹⁵N (Shearer & Kohl., 1986).

Nos últimos anos a técnica da abundância natural de ¹⁵N ($\delta^{15}\text{N}$) vem ganhando destaque a nível de campo. Esta técnica, baseia-se no fato de que geralmente, o N do solo é levemente enriquecido com o isótopo ¹⁵N em comparação ao N₂ do ar (Shearer & Kohl, 1986). O nitrogênio do ar, apresenta cerca de 0,3663% de ¹⁵N e o restante (99,6337%) de ¹⁴N (Junk & Svec, 1958, citados por Alves, 1996). No entanto, devido a discriminação isotópica que ocorre durante as transformações do nitrogênio no sistema solo-planta, ambos podem apresentar valores de ¹⁵N um pouco maiores que os encontrados na atmosfera (Shearer & Kohl, 1986). Estas variações são extremamente pequenas, então convencionou-se que cada unidade de delta ¹⁵N seria a abundância natural dividida por mil, ou seja 0,0003663 átomos % de ¹⁵N em excesso. Espécies capazes de obter do ar a maior parte do nitrogênio necessário para sua nutrição, provavelmente apresentarão valores de $\delta^{15}\text{N}$ bem próximos a zero, uma vez que a maior parte virá do N do ar que, é o padrão da técnica, e

possui 0,3663 % de ^{15}N ou seja, zero unidades de delta ^{15}N em excesso. Por outro lado, as espécies não fixadoras crescendo no mesmo solo, terão valores de $\delta^{15}\text{N}$ mais elevados e próximos aos do solo, uma vez que toda ou a maior parte do N necessário para o seu desenvolvimento é derivado do solo.

Esta técnica, como todas as outras utilizadas na determinação da contribuição da FBN para as plantas, também apresenta limitações, exigindo algumas considerações. Assim como as outras técnicas isotópicas, depende da premissa básica de que as plantas fixadoras e não-fixadoras, crescendo no mesmo solo, absorvam nitrogênio com a mesma marcação com ^{15}N (Shearer & Kohl, 1986). Esta limitação pode ser contornada selecionando-se espécies-referência, com desenvolvimento radicular e demanda de N semelhantes à planta avaliada. Outra limitação do método, consiste no alto custo das análises e a necessidade de um maior cuidado com a manipulação das amostras (Boddey, 1987). Além das dificuldades descritas acima, é importante considerar também os valores de fracionamento isotópico (valor B) das plantas fixadoras crescendo em meios livres de N. Estas variações se dão a nível de espécie da planta, das estirpes das bactérias diazotróficas envolvidas, e do estágio e condições de crescimento. Sendo assim, é necessário que se utilize um fator de correção, (valor B), que possa expressar a discriminação isotópica de ^{15}N feita por cada espécie (Peoples *et al.*, 1989). Por outro lado, as diferenças que possam existir na exploração do volume do solo pelas raízes das plantas teste e controle e as diferenças na curva de absorção de nutrientes entre elas, são fatores que permitem sugerir o uso de mais de uma planta como referência (Shearer & Kohl, 1986). Ainda assim, o uso desta técnica com os devidos cuidados descritos acima, normalmente apresenta altas correlações com a técnica de

diluição isotópica de ^{15}N com aplicação de ^{15}N -fertilizante na marcação do solo que, é atualmente, a técnica mais difundida e aceita para fins de quantificação da contribuição da FBN para as plantas (Peoples *et al.*, 1989).

2.5.3. Decomposição dos resíduos vegetais e mineralização de Nitrogênio orgânico

Na prática da adubação verde, a velocidade de decomposição dos resíduos e a consequente liberação dos nutrientes contidos nos tecidos vegetais para aproveitamento pela cultura principal, é um dos aspectos mais importantes e menos compreendidos.

Tradicionalmente, a metodologia utilizada para quantificação da decomposição de resíduos vegetais é a de “*litter bags*”, que consiste em colocar os resíduos das plantas com peso conhecido (base seca) dentro de sacos de nylon com diâmetro conhecido e, depositá-los sobre a superfície do solo para simular os reais efeitos ambientais sobre a taxa de decomposição do material. Através de coletas destrutivas ao longo do tempo, é possível determinar-se a taxa de desaparecimento (decomposição) do material e dos nutrientes contidos nele, através do uso de equações matemáticas (Rezende *et al.*, 1999). Outra técnica similar, descrita por Rezende *et al.* (1999) coloca o material vegetal de peso conhecido (base seca), em contato direto com o solo, em seguida, este material é coberto com uma tela de nylon de aproximadamente 2 mm de diâmetro, que pode ser fixada ao solo através de pregos ou arames. As coletas são similares às realizadas com a técnica tradicional de “*litter bags*”, sendo destrutivas e seqüenciais. Esta metodologia possibilita a entrada da meso e macrofauna do solo, responsáveis pela Trituração dos resíduos orgânicos e, facilitando assim a decomposição do material pelos microrganismos, reduzindo as

críticas sofridas pela metodologia original de “*litter bags*”, que limita esta entrada, subestimando o tempo de meia vida do material em decomposição (Rezende *et al.*, 1999).

CAPÍTULO 1 - Avaliação da produção de matéria seca, fixação biológica de nitrogênio, transferência do nitrogênio de leguminosas utilizadas como adubos verdes e seu efeito sobre a produtividade da cultura de cana-de-açúcar, cv. RB 72-454.

3. INTRODUÇÃO

O uso da adubação verde na cultura de cana-de-açúcar tende a ser ampliado nos próximos anos. Embora em cana planta não venha sendo encontrado respostas a aplicação de fertilizantes nitrogenados, nas soqueiras, esta prática é extremamente difundida e oscila entre 60 e 150 kg ha⁻¹ano⁻¹ de N.

O nitrogênio molecular (N₂) constitui 78% da atmosfera, necessitando, no entanto, em ser transformado em formas combinadas, possíveis de serem aproveitadas pelas plantas como o NH₄, com gastos energéticos elevadíssimos (para a obtenção de 1 kg de N-fertilizante a partir do N do ar, são necessários cerca de 15 Mcal) (Macedo, 1997). Como esta transformação normalmente é realizada empregando-se energia derivada de combustíveis fósseis (Processo Haber-Bosch), que possuem reservas limitadas, e consequentemente preços crescentes, num futuro próximo, é possível que o uso de plantas que sejam capazes de fixar nitrogênio do ar em seus tecidos, seja uma das formas mais viáveis de disponibilizar o nitrogênio necessário para as culturas agrícolas. Desta forma, é necessário que se pense, desde já em otimizar o uso de plantas que possuam alta capacidade para a fixação biológica de nitrogênio, destacando-se portanto, espécies de plantas da família leguminosae, que são capazes de fixar até cerca de 600 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N (Miyasaka *et al.*, 1984; Calegari *et al.*, 1992; Urquiaga & Zapata, 2000).

Outro ponto a ser destacado é a importância que as leguminosas podem ter no aumento do aproveitamento dos fertilizantes aplicados. Inicialmente, seu sistema radicular mais profundo, possibilita que nutrientes que se encontrem abaixo da área da profundidade efetiva das raízes da cultura principal e, que geralmente são considerados indisponíveis ou perdidos, possam ser absorvidos por estas plantas que posteriormente são capazes de liberá-los através da decomposição de seus resíduos. No momento da aplicação dos fertilizantes, muitas vezes a cultura principal não está apta a absorver toda a quantidade aplicada, e ao ter-se uma cultura concomitante, é possível que a eficiência de utilização destes nutrientes pelo sistema, quando considerados os dois cultivos, seja maior. Considerando-se que, em culturas consorciadas, os nutrientes absorvidos pelo adubo verde serão liberados pela decomposição de seus resíduos, ou ainda pela exsudação de compostos ricos em nutrientes, estes poderão ser utilizados pela cultura principal em curto espaço de tempo.

Neste caso, para se obter máxima eficiência de utilização dos nutrientes contidos nos adubos verdes é preciso, no entanto, conhecer seus padrões temporais de mineralização. Apenas com bases nestas informações, é possível estabelecer sistemas de manejo de culturas onde os períodos de liberação de nutrientes do adubo verde e de sua demanda por culturas consorciadas ou subsequentes coincidam. Informações desta natureza são escassas no consórcio de cana com leguminosas usadas como adubo verde.

O presente trabalho teve como objetivos:

1. Estudar o desenvolvimento e o potencial de fornecimento de nitrogênio de diferentes espécies de leguminosas, crescendo de forma intercalar à cultura de cana-de-açúcar;

2. Avaliar os efeitos do consórcio de cana-de-açúcar com leguminosas para fins de adubação verde no desenvolvimento, produção de colmos e na nutrição nitrogenada da cultura de cana-de-açúcar.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Localização e características de solo e clima da área experimental.

Este estudo foi realizado na área experimental da Embrapa - Agrobiologia, localizada na Baixada Fluminense, no município de Seropédica, Rio de Janeiro, num planossolo extremamente pobre em nutrientes, principalmente em nitrogênio, com baixo teor de matéria orgânica (Tabela 1), sua localização se dá entre os paralelos 22° 49' e 22° 45' de latitude sul e os meridianos 43° 38' e 43° 42' de longitude oeste de Greenwich numa altitude de 33m.

Tabela 1. Análise química do solo da área experimental.

Prof.	N	C	MO	pH _{H₂O}	Al	Ca	Mg	K	P
		%				cmol _c dm ⁻³			mg kg ⁻¹
0-20cm	0,048	0,43	0,74	4,4	0,5	1,0	1,0	0,054	5
20-40cm	0,029	0,26	0,45	4,3	0,5	0,9	0,7	0,036	5

N - Método semimicro-Kjeldahl (Alves *et al.*, 1994); C - Carbono orgânico método Walkley & Black (Raij *et al.*, 1987) ; pH_{H₂O} - EMBRAPA-SNLCS (1979); Al - EMBRAPA-SNLCS (1979); Ca e Mg - EMBRAPA-SNLCS (1979); K - EMBRAPA-SNLCS (1979); P - EMBRAPA-SNLCS (1979)

As características climáticas da região, indicam que há uma dominância do clima quente e úmido, sem inverno pronunciado sendo o regime pluviométrico caracterizado por um período chuvoso no verão e estiagem no inverno. Dentro da classificação de Köppen,

este clima é do tipo Aw, muito embora o Aw clássico designe um clima de savanas, tipo de vegetação que não ocorre na região, na qual predominam matas. Ramos *et al.* (1973) citando Bernardes (1952) justifica a ocorrência de mata em lugar de savana, devido a inexistência, por causa da proximidade do litoral, de uma estação seca muito rigorosa. A estação chuvosa tem início em setembro, culminando em dezembro e janeiro com chuvas de alta intensidade e curta duração. A precipitação decresce em maio-junho, alcançando o mínimo em julho. Os meses mais quentes são janeiro e fevereiro, enquanto em julho ocorrem as médias mensais mais baixas de temperatura.

4.2. Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos consistiram do plantio de 4 espécies de leguminosas utilizadas como adubo verde que foram inoculadas com bactérias do gênero *Rhizobium*, pertencentes ao grupo do Caipi: *Crotalaria juncea*; *C. spectabilis*; *Canavalia ensiformis* (feijão de porco) e *Mucuna deeringiana* (mucuna anã), plantadas conforme densidade recomendada por Calegari *et al.* (1992), de 30, 80, 6 e 8 sementes por metro linear, respectivamente, além de 2 tratamentos testemunhas sem o plantio de leguminosas nas entrelinhas; uma nitrogenada ($50 + 50 \text{ kg ha}^{-1}$ N, como uréia), parcelados no plantio e aos 60 dias após o plantio (DAP) e outra testemunha absoluta (sem aplicação de N). Embora normalmente não se encontre respostas ao parcelamento da aplicação do nitrogênio em cana-de-açúcar, neste experimento optou-se por esta prática em virtude das características do solo (arenoso, baixa MO e CTC), e da época de plantio (novembro, mês de alta precipitação). Os tratamentos foram aplicados tanto na cana planta como na 1^a soca e a adubação nitrogenada nesta última, foi feita aos 30 e 60 dias após o corte da cana.

Cada unidade experimental constituiu-se de 5 linhas de cana-de-açúcar com 6 m de comprimento, espaçadas de 1,2 m. Nas entrelinhas de cana-de-açúcar dos tratamentos A, B, C e D foram plantadas 2 linhas de leguminosas espaçadas de 0,4 m, num total de 10 linhas por parcela (Quadro 1). Cada tratamento foi constituído de 4 repetições, totalizando 24 parcelas de 36 m² cada. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso.

Quadro 1. Descrição dos tratamentos

- A- *Crotalaria juncea*;
 - B- *C. spectabilis*;
 - C- *Canavalia ensiformis* (Feijão de porco);
 - D- *Mucuna deeringiana* (Mucuna anã);
 - E- Aplicação de nitrogênio fertilizante ($50 + 50 \text{ kg ha}^{-1}$ N-Uréia) na cultura de cana (Testemunha nitrogenada);
 - F- Sem aplicação de nitrogênio fertilizante na cultura de cana (Testemunha absoluta).
-

4.3. Implantação do experimento

Na área experimental, foram aplicados o equivalente a 2 t ha⁻¹ de calcário dolomítico 100% PRNT antes do preparo do solo e, no fundo do sulco de cana-de-açúcar aplicou-se 100 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio; 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato simples e 50 kg ha⁻¹ de FTE BR 12, este último, como fonte de micronutrientes. Embora a cultura de cana-de-açúcar seja extremamente tolerante a acidez do solo, o calcário aplicado teve o objetivo principal de fornecer cálcio e magnésio para a cana e também favorecer o desenvolvimento das leguminosas. As doses de P, K e

micronutrientes, foram aplicadas com base no acúmulo médio destes nutrientes na cultura de cana e, de forma a garantir que somente o nitrogênio seria o fator limitante para o desenvolvimento da cultura e desta forma estimar com maior exatidão o potencial da adubação verde com leguminosas para a cultura de cana. A cultivar de cana-de-açúcar utilizada foi a RB 72-454, conhecida por seus altos rendimentos de colmos e por suas excelentes características tecnológicas. No primeiro ano o plantio da cana e das leguminosas foi feito aos 13 dias do mês de novembro de 1997. No ciclo de cana soca, as leguminosas foram plantadas no dia 19 de novembro de 1998, logo após o 1º corte da cana. Durante o período experimental, foram efetuadas capinas mecânicas e/ou químicas, de acordo com a necessidade.

4.4. Avaliações sobre o desenvolvimento das espécies de leguminosas empregadas como adubo verde no estudo.

4.4.1. Taxa de cobertura do solo e altura das plantas

No primeiro ano (cana planta) foi realizado um acompanhamento do percentual de cobertura do solo pelas leguminosas ao longo do tempo. Para tanto, utilizou-se uma câmara fotográfica digital, modelo KODAK DC-120, com a qual foram tomadas fotografias, perpendiculars ao solo, aos 14, 22, 31, 37, 46 e 51 dias após o plantio de todos os tratamentos com leguminosas. Para isto, marcou-se uma área fixa de 0,80 x 1,0 m, dentro de cada parcela onde, com auxílio de um tripé e uma armação metálica utilizada como prolongador para que se pudesse fixar a câmara, fotografou-se perpendicularmente sempre

a mesma área. A Câmara fotográfica sempre ficou a cerca de 1,70 m do solo, em todas as datas de tomadas de fotografias.

Nas fotografias determinou-se o percentual da área do solo que se encontrava coberta pelas leguminosas com auxílio do software SIARCS 3.0 (Sistema Integrado para Análise de Raízes e Cobertura do Solo), desenvolvido pela EMBRAPA Instrumentação Agropecuária, conforme descrito por Jorge e Crestana (1996).

Nos mesmos dias em que foram tomadas fotografias, mediu-se também, a altura média das plantas com auxílio de uma régua graduada.

4.4.2. Produção de matéria seca e N-total acumulado pelas espécies empregadas como adubo verde

Por ocasião do corte das leguminosas amostraram-se áreas de 7,2 m² por parcela, deixando-se o resíduo na superfície do solo. Estas amostras foram pesadas frescas e retiraram-se sub-amostras que em seguida, foram levadas à estufa de secagem a 65°C até estabilização de seus pesos, onde foi determinada a fração de matéria seca das plantas. Após esta etapa as amostras de plantas foram pré-moídas em moinho tipo Willey (peneiras de 2 mm) e, em seguida levadas para moinho de rolagem até a pulverização (Smith & Um, 1990). Após a pulverização das amostras foram realizadas análises do teor de N-total (Boddey *et al.*, 1994). A espécie *Crotalaria juncea* foi cortada abundância natural de ¹⁵N aos 51 DAP, tanto no primeiro como no segundo ano de plantio.

2589f
FOLHA FOLHA DA CENTRAL
N.º FOLHA 186-001

4.4.3. Quantificação da fixação biológica de nitrogênio nas leguminosas

A estimativa da contribuição da FBN para as leguminosas foi avaliada pela técnica de abundância natural de ^{15}N (delta, $\delta^{15}\text{N}$) (Boddey *et al.*, 1994), com auxílio de um espectrômetro de massas Finnigan Mat, modelo Delta plus. Por esta técnica estimou-se a contribuição percentual de nitrogênio derivado da FBN para as leguminosas através da fórmula:

$$\%FBN = \left(\frac{(\delta^{15}\text{N}_{\text{planta testemunha}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{planta teste}})}{(\delta^{15}\text{N}_{\text{planta testemunha}} - B)} \right) \times 100$$

Sendo:

$\delta^{15}\text{N}$ da planta testemunha – Valor de $\delta^{15}\text{N}$ do solo obtido através de plantas não fixadoras, utilizadas como referência;

$\delta^{15}\text{N}$ da planta teste – Valor de $\delta^{15}\text{N}$ da planta fixadora de N_2 (leguminosas usadas como adubo verde, neste experimento);

B – Valor da discriminação isotópica de ^{15}N feita pelas leguminosas durante o processo de FBN (Neste estudo, foi considerado igual a menos um (-1)))

Como testemunhas foram utilizados as culturas de sorgo (cultivar BR 601) e do milho (BR 200). Tanto o sorgo como o milho, foram plantados no contorno do experimento e os valores utilizados nos cálculos, é a média de oito coletas feitas durante o desenvolvimento destas plantas.

Para efeito de cálculo, utilizou-se como valor (B) para corrigir a discriminação de ^{15}N feita pelas plantas leguminosas durante o processo de fixação biológica de N₂, -1 (menos um). Na literatura não são encontrados valores de B para as leguminosas em estudo, no entanto, o valor utilizado é a média dos valores encontrados por Peoples *et al.* (1989) para diversas espécies desta família de plantas em regiões tropicais.

4.4.4. Decomposição dos resíduos derivados dos adubos verdes

As taxas de decomposição dos resíduos das leguminosas do estudo foram determinadas com auxílio de telas de nylon conhecidas como "Covered litter" (Rezende *et al.*, 1999). Estas telas de nylon ocuparam uma área de 30 x 30 cm, e a quantidade de material depositada concentrou-se nos 400 cm² centrais desta área, quantidades estas que foram proporcionais a quantidade de resíduo existente no solo de cada tratamento. Foram colocadas 7 telas de nylon por parcela no dia seguinte ao corte das leguminosas e as datas de coleta foram aos 5, 10, 17, 22, 34, 62 e 101 dias após a instalação das telas.

Além da taxa de decomposição, todo o material coletado nas diferentes datas foi analisado para N-total (Bremner & Mulvaney, 1982), para que fosse possível avaliar também, o tempo de meia vida do nitrogênio contido nos diferentes resíduos. Para descrever a decomposição dos resíduos vegetais e a liberação de N, aplicou-se um modelo matemático exponencial descrito por Thomas & Asakawa (1993) e utilizado por Rezende *et al.* (1999) do tipo $P = P_0 \cdot \exp(-k \cdot t)$, onde P é a fração do resíduo inicial existente no tempo t, e P₀ e k são, respectivamente, a proporção do resíduo potencialmente decomponível e a constante de decomposição do resíduo. Com o valor de k, calculou-se o tempo de meia vida, ou seja o tempo necessário para que metade do resíduo desaparecesse ($t_{1/2}$). Esta

determinação foi feita somente durante o primeiro ano do estudo. Embora para estudos de decomposição de resíduos vegetais o modelo de ajuste exponencial duplo seja mais indicado, uma vez que representa com maior exatidão o comportamento das fases recalcitrante e lábil dos resíduos vegetais, neste trabalho este ajuste não se mostrou mais indicado, uma vez que as épocas de coleta das amostras, não possibilitaram que estas duas fases fossem separadas.

4.5. Avaliações sobre a influência dos adubos verdes na cultura de cana-de-açúcar

4.5.1. Influência no desenvolvimento das plantas de cana-de-açúcar

Foram avaliados ao longo do experimento a influência do consórcio com leguminosas sobre o número de perfilhos de cana-de-açúcar. Periodicamente foram contados todos os perfilhos da linha central de cada parcela. Utilizou-se este critério para determinar a época de corte das leguminosas e, usando como referência de perfilhamento ideal, o obtido com a testemunha absoluta. A escolha da testemunha absoluta como referência, baseou-se no fato que, normalmente, em cana planta, a aplicação de N-fertilizante não vem sendo feita. Assim, a redução no número de perfilhos nos tratamentos em que a cana-de-açúcar estava consorciada, determinaria o ponto de corte das leguminosas para que fosse realizada a adubação verde. No ciclo de cana planta o número de perfilhos foram contados aos 35; 52; 70 e 114 DAP e no ciclo de cana soca aos 50 e 95 DAP.

4.5.2. Transferência de nitrogênio dos adubos verdes para as plantas de cana-de-açúcar

Para quantificação da transferência de nitrogênio das leguminosas para as plantas de cana-de-açúcar, foi escolhida uma folha índice de cana, tendo em vista não ser comum encontrar valores diferentes de enriquecimento de $\delta^{15}\text{N}$ em diferentes partes das plantas (Resende *et al.*, 2000 - Dados não publicados). A folha escolhida foi a zero, segundo classificação proposta por Kuijper e apresentada por Casagrande (1991). Esta folha foi amostrada aos 150, 240 e 300 DAP para cana planta e aos 65, 95 e 145 DAP para cana amostrada. Em cada parcela, retirou-se 5 folhas que foram cortadas próximas a bainha, e soca. Em cada etapa, as amostras foram moídas e colocadas em estufa à 65 °C até secagem. Após esta etapa, as amostras foram analisadas para N-total e $\delta^{15}\text{N}$. Com a técnica de abundância natural de ^{15}N , além de se quantificar a contribuição da fixação biológica de nitrogênio nas plantas, também é possível determinar por diferença, o percentual de transferência de N de uma espécie altamente eficiente para FBN (Leguminosas), para outra, como a cultura de cana-de-açúcar, de menor eficiência (Boddey *et al.*, 1994; Scivittaro, 1998).

4.5.3. Produção de matéria seca de cana-de-açúcar

Na ocasião da colheita de cana (sem efetuar a queima) foram cortadas as três linhas centrais de cada parcela, totalizando 21,6 m², sendo que a parte aérea das plantas de cana-de-açúcar foi separada em colmo, palha seca e bandeira (folhas verdes). Este material foi pesado fresco, separadamente, e em seguida foram retiradas amostras para determinação da matéria seca, N-total e abundância natural de ^{15}N , seguindo o mesmo procedimento descrito

no item 4.4.2. Todos os resíduos de palha, colmo e bandeira foram retirados da área experimental.

4.6. Quantificação da fixação biológica de nitrogênio (FBN) associada à cultura de cana-de-açúcar.

A contribuição da FBN associada à cultura de cana foi estimada utilizando-se a técnica de abundância natural de ^{15}N (Boddey *et al.*, 1994), com auxílio de um espectrômetro de massas Finnigan Mat, modelo Delta plus. De acordo com esta técnica, a contribuição percentual de nitrogênio derivado da FBN, para a cultura de cana-de-açúcar foi calculada através da fórmula:

$$\%FBN = \left(\frac{(\delta^{15}\text{N}_{\text{planta testemunha}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{planta teste}})}{(\delta^{15}\text{N}_{\text{planta testemunha}} - B)} \right) \times 100$$

Sendo:

$\delta^{15}\text{N}$ da planta testemunha – Valor de $\delta^{15}\text{N}$ do solo obtido através de plantas não fixadoras, utilizadas como referência;

$\delta^{15}\text{N}$ da planta teste – Valor de $\delta^{15}\text{N}$ da planta fixadora de N_2 (cana-de-açúcar);

B – Valor da discriminação isotópica de ^{15}N feita pelas plantas durante o processo

(B – Valor da discriminação isotópica de ^{15}N feita pelas plantas durante o processo)

de FBN (Neste estudo, foi considerado igual a zero (0))

Como espécies testemunhas foram utilizados sorgo (cultivar BR 601) e milho (BR 200). Tanto o sorgo como o milho, foram plantados no contorno do experimento e os

valores utilizados nos cálculos, é a média de oito coletas feitas durante o desenvolvimento destas plantas.

Em plantas não nodulantes, o fracionamento isotópico, parece não ser da mesma magnitude que em plantas nodulantes, portanto para cana-de-açúcar, o valor B da fórmula geral foi considerado 0 (zero), conforme trabalho efetuado por Yoneyama *et al.* (1997).

Para determinação da contribuição da FBN em cana planta, foram utilizados os valores de abundância natural de ^{15}N das folhas verdes de cana, coincidindo com o trabalho efetuado por Yoneyama *et al.* (1997). Para a soqueira, resolveu-se analisar e efetuar os cálculos, com base na média ponderada de $\delta^{15}\text{N}$ da planta inteira, para verificar a possibilidade de variações na marcação isotópica em diferentes partes das plantas de cana.

4.7 Análise estatística

Os procedimentos estatísticos foram determinados com auxílio do pacote estatístico MSTAT-C, da Universidade de Michigan, USA e, constaram da análise de variância com a aplicação do teste F e, para as variáveis cujo teste F foi significativo, compararam-se as médias de tratamentos pelo teste de Tukey, ($p=0,05$). A significância dos coeficientes de determinação obtidos pelo modelo aplicado para determinação da taxa de decomposição do material, foi determinado pelo teste F, através do software SIGMA PLOT 4.0 for Windows.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Desenvolvimento das leguminosas utilizadas como adubo verde

5.1.1. Taxa de cobertura do solo e altura das plantas

As espécies *M. deeringiana*, *C. ensiformis* e *C. juncea*, apresentaram taxa de cobertura do solo similares entre si, sendo superiores a *C. spectabilis* (Tabela 2). O crescimento inicial das espécies estudadas foi bem diferenciado. *C. juncea* apresentou crescimento inicial mais rápido do que as demais espécies, apresentando sempre as maiores alturas (Figura 1). Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Nascimento & Lombardi Neto (1999).

As fotografias deixaram de ser tomadas a partir dos 51 DAP, uma vez que a partir deste ponto, como pode ser melhor observado nas figuras de 2 a 5, somente *C. spectabilis* ainda não havia coberto o solo com eficiência.

Tabela 2. Taxa de cobertura do solo (%) por quatro espécies de leguminosas plantadas em consórcio com cana-de-açúcar (cv. RB 72 454), e precipitação pluviométrica no período.

Espécies	Percentagem de cobertura do solo pelas leguminosas					
	14 ¹	22	31	37	46	51
<i>Mucuna deeringiana</i>	10,4	17,0	30,9	45,5	73,9	81
<i>Canavalia ensiformis</i>	6,8	26,9	38,3	47,7	71,8	84
<i>Crotalaria juncea</i>	7,9	29,1	54,6	51,1	69,2	-
<i>C. spectabilis</i>	0,0	2,3	5,4	13,5	17,1	21
Precipitação (mm)	48	28,2	70,8	67,8	39,8	4,5

¹ Dias após o plantio das leguminosas

C. spectabilis apresentou crescimento inicial lento, quando comparado com as demais espécies, e devido ao baixo poder de germinação das sementes usadas apresentou baixa cobertura do solo no período considerado. Os resultados obtidos neste estudo, foram muito similares aos obtidos por Amado *et al.* (1987), que fazendo uso da metodologia da largura do dossel vegetativo (Arruda, 1984), determinou a percentagem e a velocidade de cobertura de 14 adubos verdes crescendo em um Cambissolo distrófico, no Estado de Santa Catarina. Estes autores encontraram que aos 38 dias após a semeadura *M. deeringiana*, *C. ensiformis* já cobriam 50% do solo, o que demonstra também, o potencial destas espécies para o controle da erosão devido a sua rápida cobertura do solo.

Nas Figuras de 2 a 5, é possível observar a evolução da cobertura do solo das quatro leguminosas em estudo ao longo do tempo. Após a análise das fotografias, constatou-se que o sombreamento das folhas superiores sobre as inferiores, é uma limitação do software para estimar a real cobertura do solo, pois o método de análise pelo sistema SIARCS não é capaz de considerar as folhas sombreadas, que são interpretadas pelo programa, como sendo de cor preta, e ao selecionar-se somente as tonalidades de verde e amarelo para serem

analisadas, subestima-se a real cobertura do solo. Esta limitação não tem sido descrita na literatura.

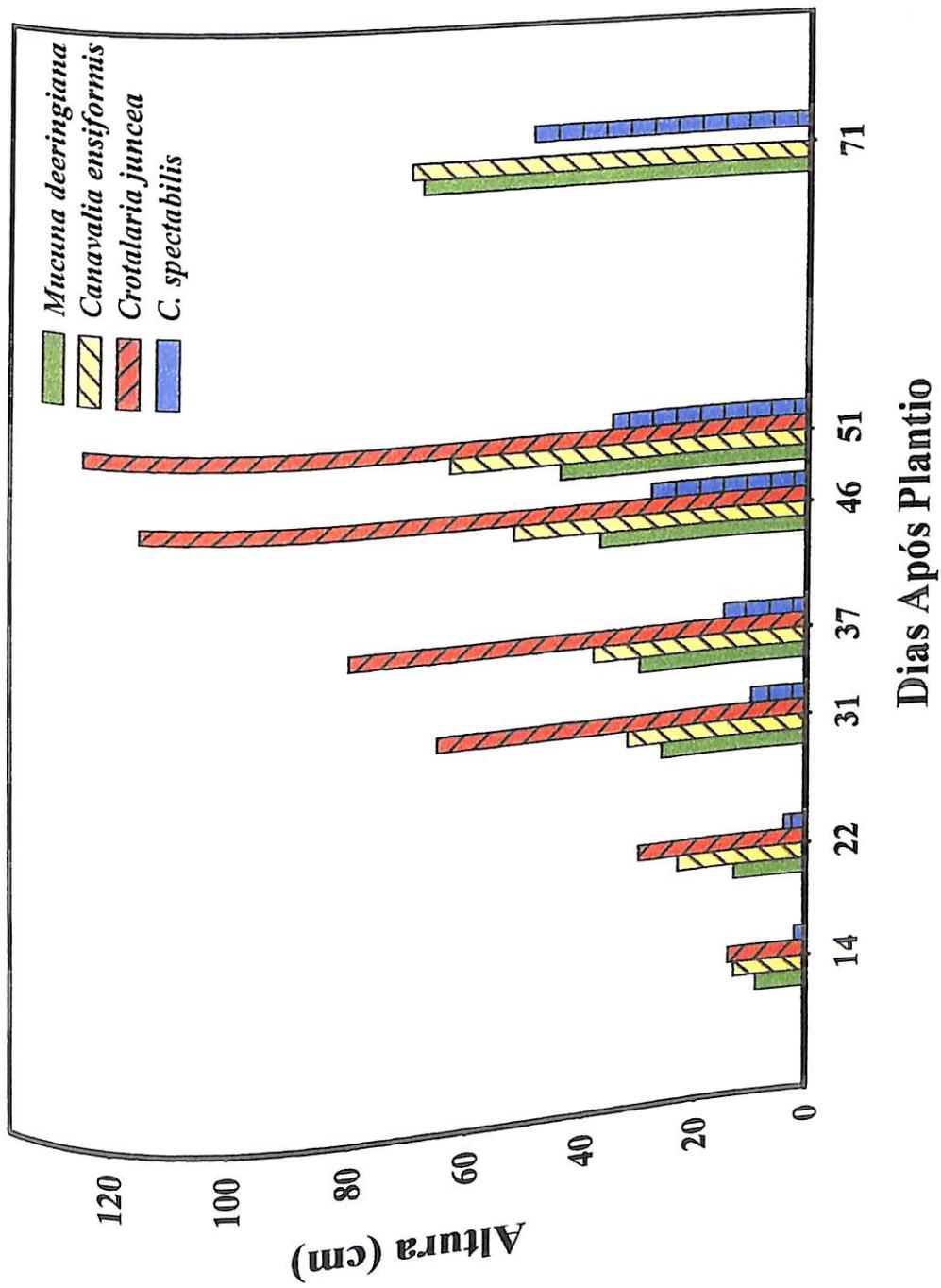


Figura 1. Altura (cm) de quatro espécies de leguminosas crescidas em consórcio com cana-de-açúcar (cv. RB 72 454)

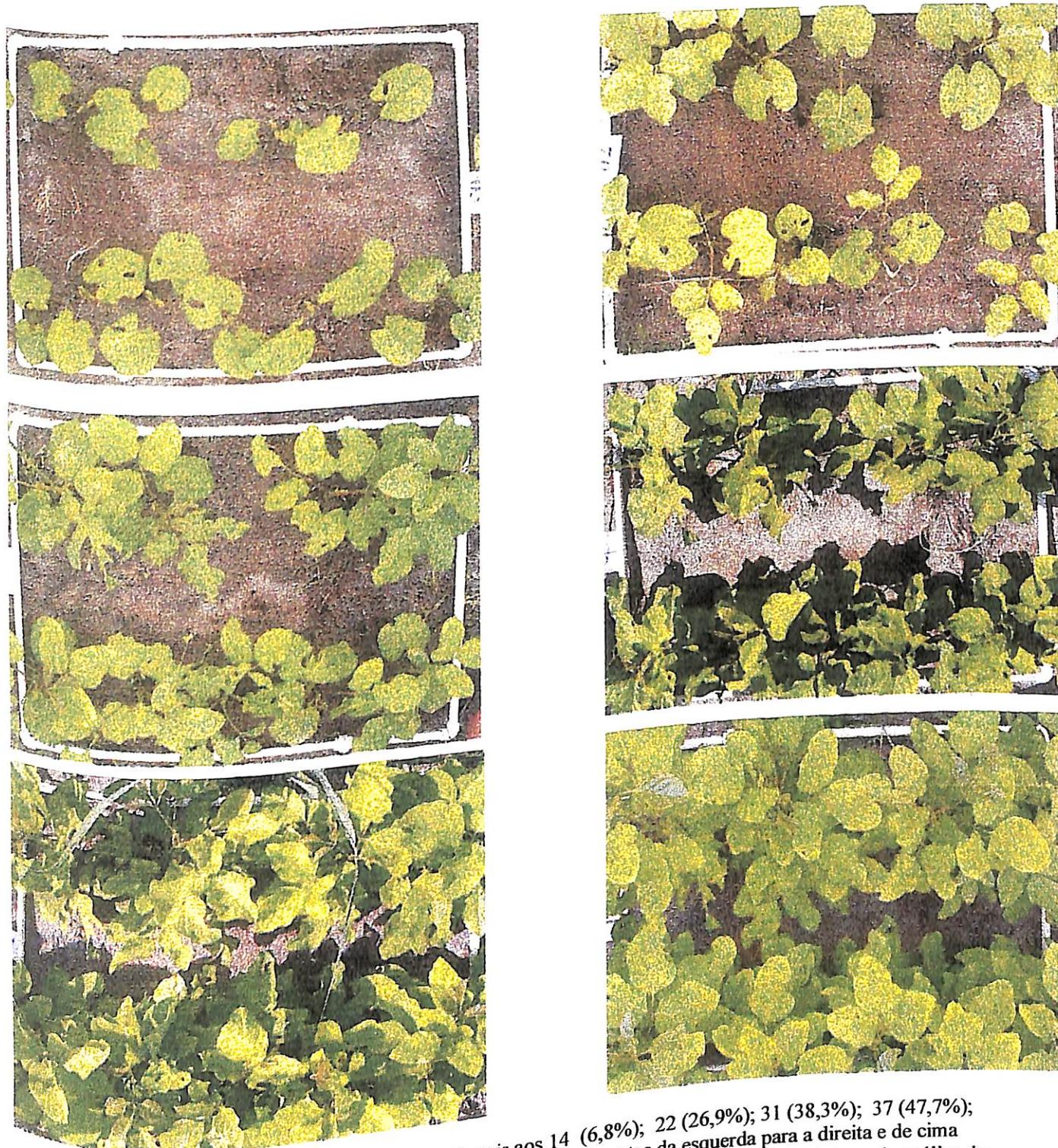


Figura 2. Cobertura do solo por *Canavalia ensiformis* aos 14 (6,8%); 22 (26,9%); 31 (38,3%); 37 (47,7%); 46 (71,8%) e 51 (84%) DAP. As fotografias estão dispostas da esquerda para a direita e de cima para baixo. Valores entre parênteses são a taxa de cobertura determinada pelo sistema de análise de imagens SIARCS.

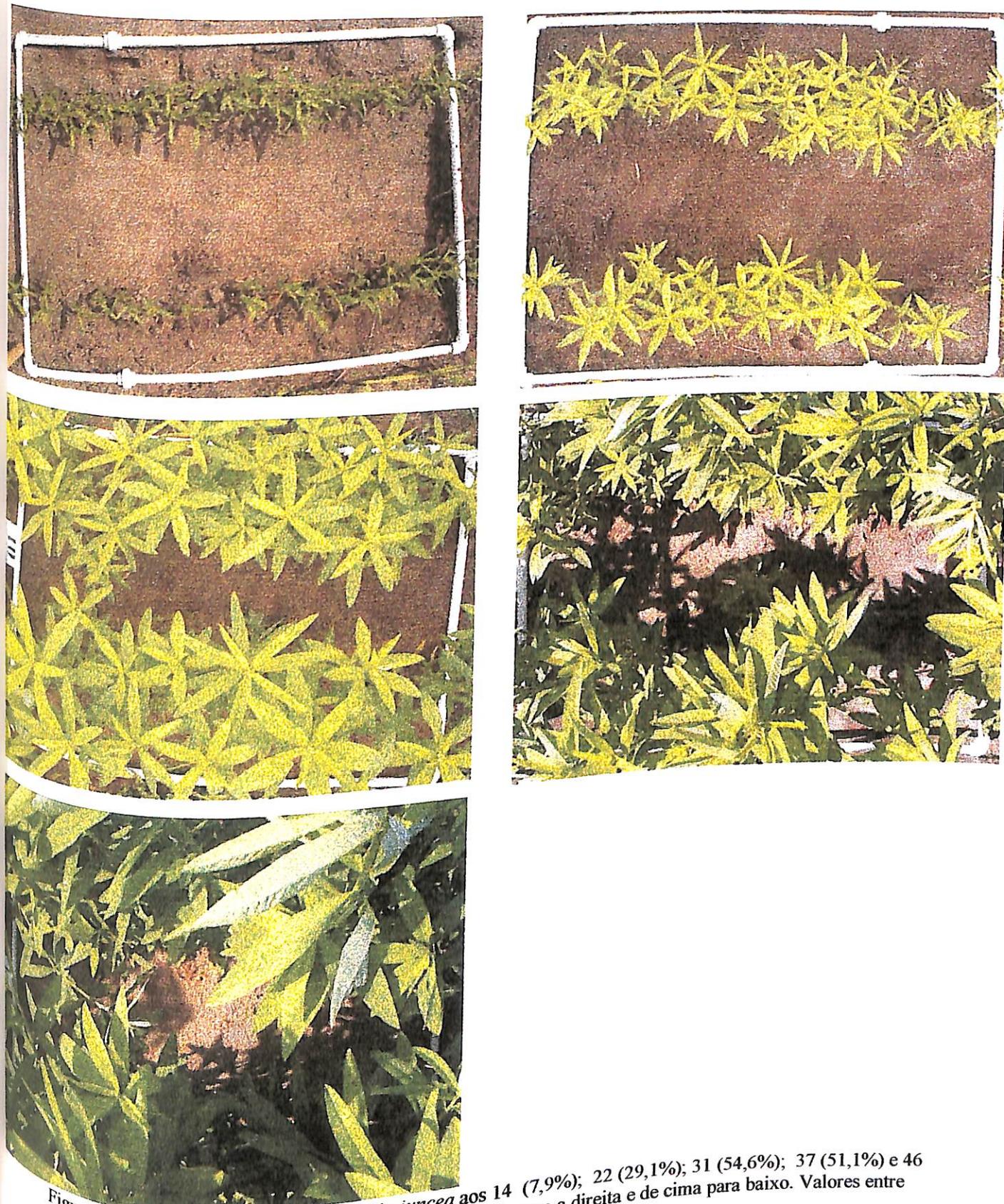


Figura 3. Cobertura do solo por *Crotalaria juncea* aos 14 (7,9%); 22 (29,1%); 31 (54,6%); 37 (51,1%) e 46 (69,2%) DAP. As fotografias estão dispostas da esquerda para a direita e de cima para baixo. Valores entre parênteses são a taxa de cobertura determinada pelo SIARCS.

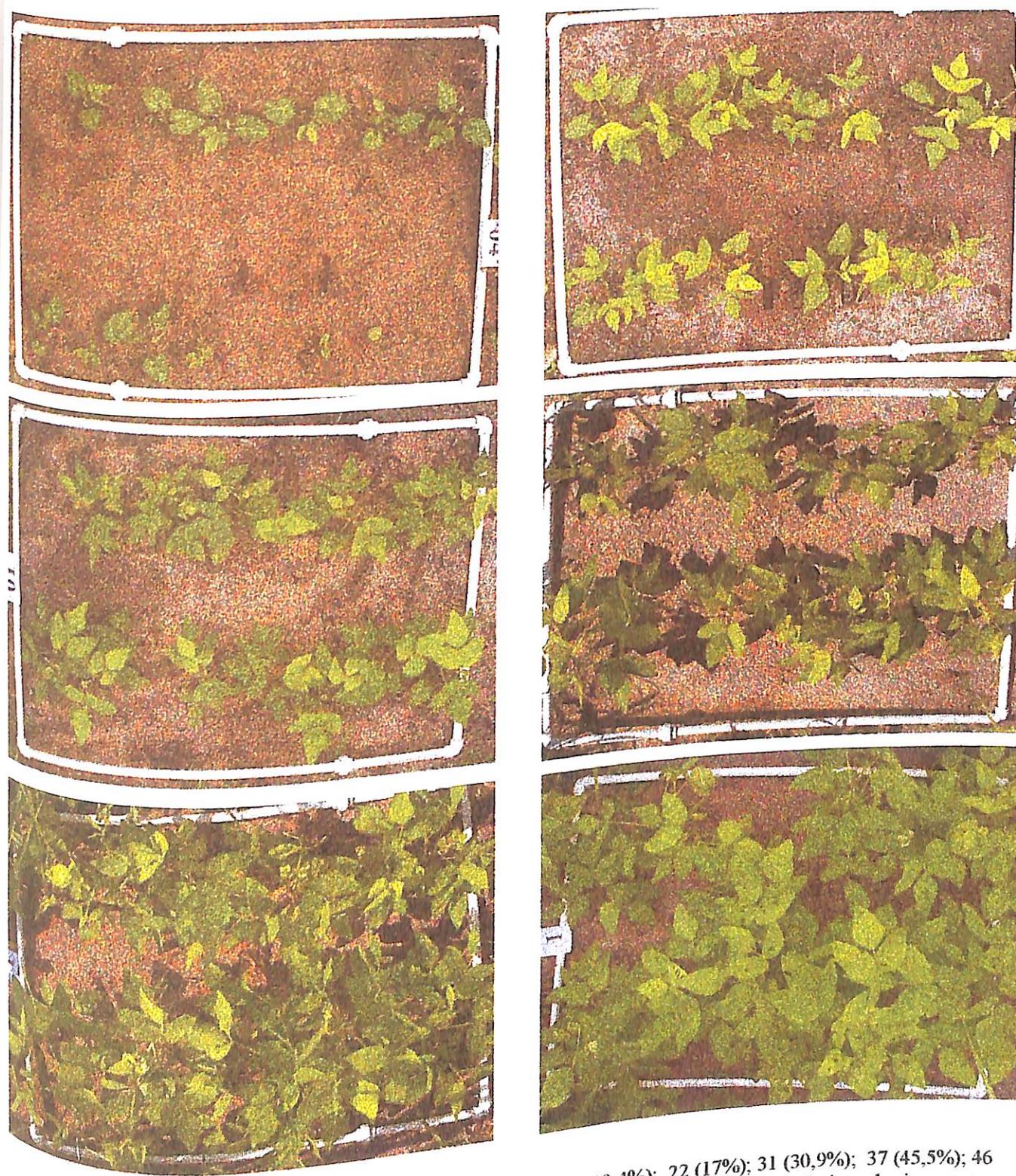


Figura 4. Cobertura do solo por *Mucuna deeringiana* aos 14 (10,4%); 22 (17%); 31 (30,9%); 37 (45,5%); 46 (73,9%) e 51 (81%) DAP. As fotografias estão dispostas da esquerda para a direita e de cima para baixo. Valores entre parênteses são a taxa de cobertura determinada pelo sistema de análise de imagens SIARCS.

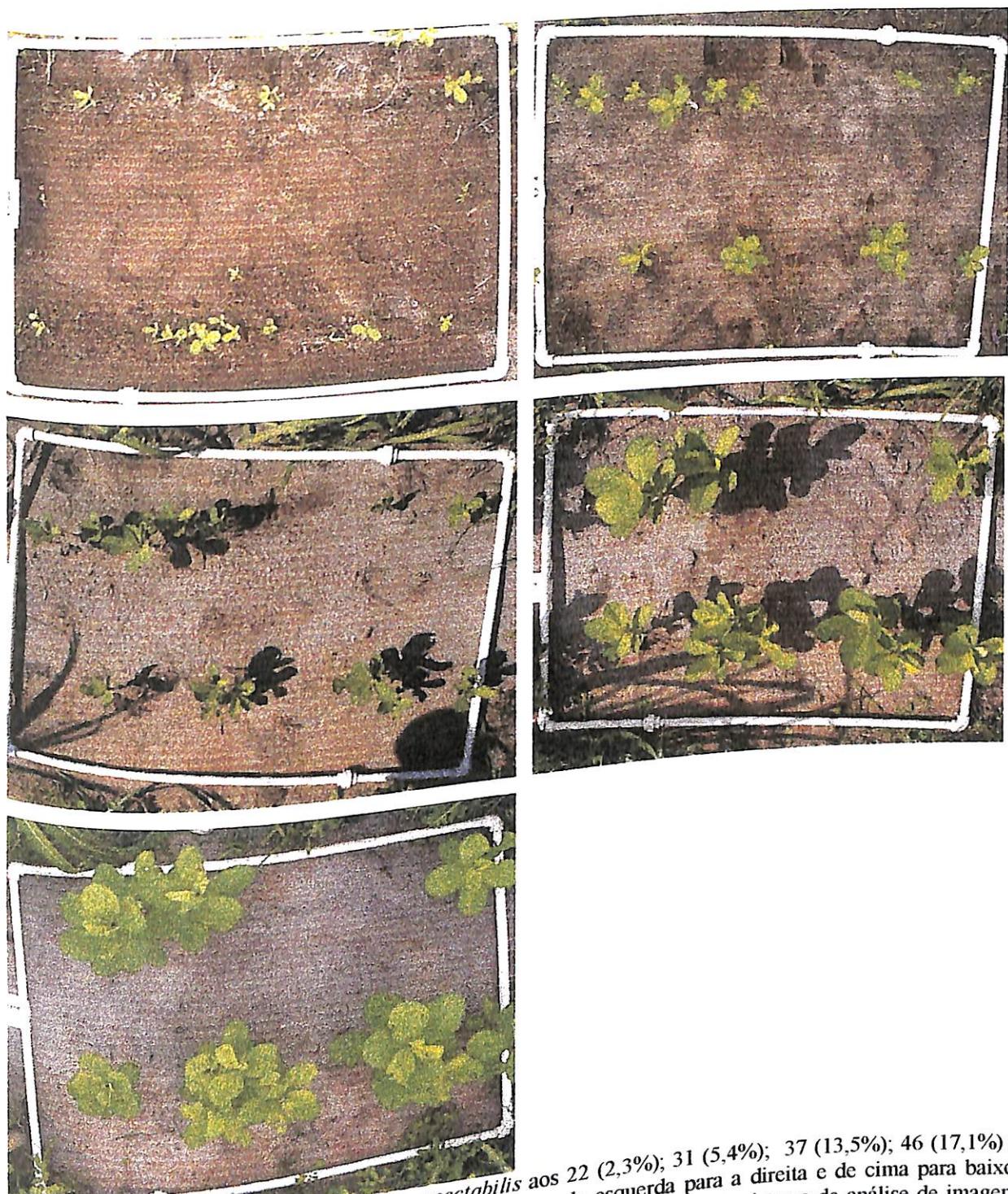


Figura 5. Cobertura do solo por *Crotalaria spectabilis* aos 22 (2,3%); 31 (5,4%); 37 (13,5%); 46 (17,1%) e 51 (21%) DAP. As fotografias estão dispostas da esquerda para a direita e de cima para baixo. Valores entre parênteses são a taxa de cobertura determinada pelo sistema de análise de imagens SIARCS.

Foi possível constatar que o período ideal para tomada de fotografias em dias de sol, é o da manhã, entre 7:00 e 9:00 h. Neste horário, é possível reduzir a interferência do sombreamento nas folhas inferiores e, principalmente, pode-se reduzir o problema de enrugamento das folhas, que ocorre em dias mais quentes e normalmente a partir das 9:00h. Espécies de porte mais alto, como *C. juncea* também são problemáticas, uma vez que a câmara fotográfica deve ficar perpendicular as plantas e desta forma plantas com mais de 120 cm de altura, reduzem a praticidade do método, pois implicam no uso de armações maiores ou até mesmo escadas, para que o critério da perpendicularidade seja obedecido.

Para utilização de máquinas fotográficas digitais, como foi o caso deste trabalho, faz-se necessário, o uso de dois outros softwares: o primeiro para reduzir o tamanho das fotografias (neste trabalho utilizou-se 35% do tamanho original) e o segundo para reduzir sua definição de 16 milhões para 256 cores, atendendo assim, as exigências do SIARCS

3.0.

Outro problema do método que não tem sido descrito na literatura, diz respeito à distância entre a máquina fotográfica e o objeto fotografado. Em plantas de porte alto como *C. juncea*, este problema é mais acentuado. A medida que as plantas crescem, obviamente, se aproximam mais da câmara e, isto faz com que, devido a menor distância entre a máquina e o objeto, as folhas superiores pareçam ser maiores que as inferiores, e ao analisar-se essas imagens no programa, o resultado obtido para cobertura do solo é superestimado nestas espécies. É possível que haja na fotogrametria alguma fórmula matemática para correção deste erro. No entanto, o estudo de taxa de cobertura do solo, normalmente não requer grande precisão nos resultados, e em geral, são feitos de forma comparativa entre as espécies vegetais, assim, apesar das limitações expostas, o uso deste

programa, obedecendo os cuidados descritos, torna o trabalho bem mais fácil e prático que nos métodos tradicionais.

5.1.2. Produção de matéria seca e N-total acumulado pelas espécies de leguminosas

Na Tabela 3 encontram-se os resultados referentes à produção de matéria seca e acúmulo de N-total das leguminosas em estudo. Aos 35 DAP o acúmulo de matéria seca por *C. juncea* foi quase 3 vezes maior do que o observado nas demais espécies e nesta situação, por estar prejudicando o perfilhamento da cultura de cana, teve seu corte realizado aos 51 DAP, em contraste com as demais leguminosas que puderam ser cortadas aos 71 DAP. Esta redução no perfilhamento da cana consorciada com *C. juncea* possivelmente foi devido a sua altura e sua alta taxa de crescimento que poderia estar proporcionando maior demanda de nutrientes e água e reduzindo a luminosidade para a cultura de cana-de-açúcar (Casagrande, 1991).

Quanto ao nitrogênio, *C. juncea* apresentou o maior acúmulo em relação às demais, no primeiro ano de cultivo. É importante ressaltar o grande valor que *C. juncea*, plantada em alta densidade, pode ter como adubo verde para regiões onde o regime de chuvas limita o tempo disponível para implantação das culturas principais, ou quando o tempo de consórcio tenha que ser reduzido para não prejudicar a cultura principal, pois esta espécie, em curtos intervalos de tempo é capaz de acumular grande quantidade de N, podendo este nitrogênio ser liberado após seu corte e ser disponibilizado em tempo hábil para aproveitamento pela cultura principal (Mes et al., 1957; Quesada et al., 1998).

Tabela 3. Precipitação pluviométrica do período, matéria seca e acúmulo de N-total de 4 leguminosas utilizadas como adubo verde em consórcio com cana-de-açúcar. (ciclo de cana planta) Médias de 4 repetições.

Espécies	Produção de matéria seca kg ha ⁻¹			N-total acumulado kg ha ⁻¹		
	35 DAP	51 DAP	71 DAP	35 DAP	51 DAP	71 DAP
<i>Canavalia ensiformis</i>	556	ND	2382	16	ND	61
<i>Crotalaria juncea</i>	1414	2606	-	38	64	-
<i>Mucuna deeringiana</i>	356	ND	1228	11	ND	35
<i>Crotalaria spectabilis</i>	ND	ND	693	ND	ND	16
Precipitação (mm)	246,4	110,2	106,0	-	-	-

ND – Não determinado.

No segundo ano do experimento (ciclo da 1^a soca da cana), o feijão de porco apresentou os maiores valores de produção de matéria seca e acúmulo de N-total (Tabela 4). *C. juncea* neste ano, não teve o mesmo desenvolvimento do ano anterior, possivelmente por apresentar menor densidade de plantio (20 plantas por metro linear), comparado com o ano anterior (27 plantas por metro linear - Dados não apresentados). No entanto, novamente foi necessário ser cortada antes das demais leguminosas, por estar influenciando negativamente o perfilhamento da cultura de cana. *C. spectabilis* embora também neste ano tenha se caracterizado por um desenvolvimento inicial mais lento, tal como observado no ano anterior, acumulou bem mais matéria seca que no primeiro ano, devido a sua melhor germinação. *Mucuna deeringiana*, apresentou produção similar ao primeiro ano e *C. juncea* novamente foi cortada aos 51 DAP e as demais leguminosas aos 71 DAP.

Tabela 4. Precipitação pluviométrica do período, matéria seca e acúmulo de N-total de 4 leguminosas utilizadas como adubo verde em consórcio com cana-de-açúcar (ciclo de cana soca). Médias de 4 repetições.

Espécies	Produção de matéria seca kg ha ⁻¹		Ntotal acumulado kg ha ⁻¹	
	51 DAP	71 DAP	51 DAP	71 DAP
<i>Canavalia ensiformis</i>	ND	2284	ND	55
<i>Crotalaria juncea</i>	994	-	24	-
<i>Mucuna deeringiana</i>	ND	1541	ND	43
<i>Crotalaria spectabilis</i>	ND	1417	ND	26
Precipitação (mm)	272,4	148,4	-	-

ND – Não determinado.

5.1.3. Quantificação da fixação biológica de nitrogênio (FBN) nas espécies de plantas da família Leguminosae utilizadas como adubo verde.

Os resultados deste estudo demonstram que os adubos verdes avaliados puderam contribuir com até 60 kg ha⁻¹ de N, nível equivalente às aplicações feitas através de fertilizantes minerais na cultura de cana-de-açúcar no Brasil. Sendo assim, abre-se a possibilidade de redução ou até mesmo eliminação da aplicação de N-fertilizante, desde que as práticas que envolvem a adubação verde possam ser otimizadas.

Os valores de delta ¹⁵N das leguminosas em estudo e a contribuição da FBN estimada pela técnica de abundância natural de ¹⁵N no ciclo de cana planta, são apresentadas na Tabela 5. *C. spectabilis* e *M. deeringiana* apresentaram valores negativos de delta ¹⁵N. É possível que para estas espécies, os valores da discriminação isotópica sejam maiores que a considerada pelo valor B utilizado (-1). A contribuição da FBN para as plantas, neste primeiro ciclo, foi elevada, variando entre 60 e 100%, sendo *M. deeringiana* e *C. spectabilis* as mais eficientes. É possível que o preparo da área para plantio, tenha

alterado de alguma forma a disponibilidade de N do solo, impondo algum erro na aplicação da técnica de abundância natural de ^{15}N para quantificar a contribuição da FBN, mas como os valores obtidos das plantas leguminosas são muito contrastantes com as testemunhas, este erro tem sua importância reduzida. Boddey *et al.* (1995) relataram que quanto maior a contribuição da FBN para a cultura teste, maior a exatidão da metodologia.

No que diz respeito ao conteúdo de nitrogênio nas plantas derivado da FBN, as espécies *C. ensiformis* e *C. juncea*, se destacaram, acumulando mais nitrogênio que as demais, basicamente por apresentarem um rápido desenvolvimento inicial, acumulando mais matéria seca dentro do período de avaliação.

Tabela 5. Valores de abundância natural de ^{15}N ponderados da planta inteira, e contribuição da fixação biológica de N atmosférico para a nutrição nitrogenada de 4 leguminosas em estudo no ciclo de cana planta. Médias de 4 repetições

Espécie	Média ponderada de $\delta^{15}\text{N}$ (%)	Nitrogênio derivado da FBN			
		Sorgo como testemunha ¹	Milho como testemunha ²	%	kg ha ⁻¹ de N
<i>Canavalia ensiformis</i>	0,55 a	71 b	43a	90 b	55a
<i>Crotalaria juncea</i>	1,05 a	61 b	39a	81 b	52a
<i>Mucuna deeringiana</i>	-0,92 b	98 a	35a	100 a	35ab
<i>Crotalaria spectabilis</i>	-0,005 ab	81ab	13b	100 a	16b

¹ Em cada coluna os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p=0,05$).
² O valor de $\delta^{15}\text{N}$ do milho foi de 5,35.

No ciclo da cana soca os valores de delta ^{15}N das espécies de leguminosas crescidas em consórcio com a cana-de-açúcar foram positivos e a contribuição da FBN para as espécies estudadas foram menores que no primeiro ano e muito similares entre si (Tabela 6). É possível que os maiores valores de delta ^{15}N encontrados nesta etapa, seja decorrente de uma maior estabilização da área em relação ao primeiro ano, onde havia ocorrido o

preparo da área com aração e gradagem e a consequente incorporação dos resíduos de vegetação espontânea na área. Este resíduo geralmente apresenta alta relação C:N e, desta forma podem imobilizar significativas quantidades de N mineral do solo no processo de decomposição (Urquiaga *et al.*, 1991), estas condições podem ter favorecido a FBN nas leguminosas cultivadas nesta primeira fase.

Tabela 6. Valores de abundância natural de ^{15}N ponderados da planta inteira, e contribuição da fixação biológica de N atmosférico para a nutrição nitrogenada das 4 leguminosas em estudo. Ciclo de cana soca. Médias de 4 repetições.

Espécie	Média ponderada de $\delta^{15}\text{N}$ (%)	Contribuição da FBN			
		Sorgo como testemunha ¹ %	kg ha ⁻¹ de N	Milho como testemunha ² %	kg ha ⁻¹ de N
<i>Canavalia ensiformis</i>	1,55a	52a	29a	59a	32a
<i>Crotalaria juncea</i>	1,71a	49a	12b	57a	14b
<i>Mucuna deeringiana</i>	1,65a	50a	22ab	58a	25ab
<i>Crotalaria spectabilis</i>	1,82a	47a	12b	55a	14b
CV (%)	45	28	26	21	17

Em cada coluna os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p=0,05$).
¹ O valor de $\delta^{15}\text{N}$ do sorgo foi de 4,36; ² O valor de $\delta^{15}\text{N}$ do milho foi de 5,35.

Fazendo-se uma análise do comportamento das leguminosas nestes dois anos de estudo, pode-se concluir que todas apresentam grande potencial para FBN. No entanto, sua contribuição efetiva no balanço de N do sistema solo-planta na cultura de cana vai depender fundamentalmente das condições ambientais que irão determinar seu crescimento. Estas características irão influenciar diretamente na produção de fitomassa e no acúmulo de N-total.

5.1.4. Decomposição dos resíduos vegetais derivados dos adubos verdes

Com exceção de *C. spectabilis*, metade do material vegetal das leguminosas deixado sobre o solo, após o corte, levou cerca de 45 dias para desaparecer (Tabela 7). O padrão de mineralização do nitrogênio foi ainda mais rápido do que o da decomposição da matéria orgânica dos resíduos, variando entre 14 e 35 dias para que metade de todo o nitrogênio contido nos tecidos vegetais fosse liberado (Tabela 8).

O mais rápido desaparecimento do resíduo de *C. spectabilis* parece estar associado ao lento desenvolvimento desta espécie, que desta forma, na ocasião do corte, possivelmente apresentava-se mais tenra que as demais, facilitando assim, a ação de organismos decompositores. O mesmo argumento, parece válido para a taxa de mineralização de N desta espécie, que por ter tecidos mais tenros (De-Polli & Chada, 1989) apresentou taxa de mineralização similar a decomposição dos resíduos.

Tabela 7. Taxa de decomposição e tempo de meia vida da matéria seca de 4 leguminosas utilizadas como adubo verde em consórcio com cana-de-açúcar (ciclo de cana planta). Médias de 4 repetições.

Espécies	k	Parâmetros de decomposição	
		$t_{1/2}$	(dias)
<i>C. ensiformis</i>	0,016	42	0,91***
<i>C. juncea</i>	0,015	46	0,87***
<i>M. deerigiana</i>	0,015	45	0,89***
<i>C. spectabilis</i>	0,031	22	0,76**

* Valores acompanhados dos símbolos ** e *** respectivamente, representam o nível de significância de 0,01 e 0,001, determinados pelo teste F, na análise de variância da regressão.

A taxa de mineralização do nitrogênio nas demais espécies de leguminosas foi mais rápida que a taxa de decomposição dos resíduos (Tabela 8), provavelmente por estes apresentarem a maior parte do N contido em seus tecidos, ligado a um compartimento mais lável, ou seja, de mais rápida decomposição, ficando uma pequena parte deste nitrogênio

retida em compostos mais recalcitrantes como ligninas e polifenóis, que formam um compartimento de decomposição mais lenta (Brasil *et al.*, 1998).

Tabela 8. Taxa de decomposição e tempo de meia vida do nitrogênio de 4 leguminosas utilizadas como adubo verde em consórcio com cana-de-açúcar (ciclo de cana soca). Médias de 4 repetições.

Espécies	Parâmetros de decomposição		
	k	t _{1/2} (dias)	r ²
<i>C. ensiformis</i>	0,031	22	0,92***
<i>C. juncea</i>	0,050	14	0,93***
<i>M. deeringiana</i>	0,020	35	0,93***
<i>C. spectabilis</i>	0,033	21	0,86***

*** Valores acompanhados destes símbolos, representam o nível de significância de 0,001, determinados pelo teste F, na análise de variância da regressão.

Como os adubos verdes são empregados principalmente como fonte de N, a característica de meia vida é importante para definir a espécie mais adequada para atender a demanda nitrogenada da cultura principal. Assim, considerando-se somente este aspecto, pode-se dizer que todas apresentam comportamento similares e a escolha da espécie de leguminosa dependerá de sua adaptação em cada região.

5.2. Avaliações sobre o consórcio adubo verde x cana-de-açúcar

5.2.1. Informações referentes ao desenvolvimento das plantas de cana-de-açúcar.

Ao longo do experimento foi avaliada a influência das leguminosas consorciadas, sobre o perfilhamento da cana-de-açúcar e, na Figura 6, é possível constatar a influência negativa destas plantas no perfilhamento da cana. Este fato no entanto, foi amenizado aos 114 DAP para a cana planta, especialmente em *C. spectabilis* e *M. deeringiana*, que somente

afetaram o perfilhamento em cerca de 8%. A leguminosa que menos influenciou de forma negativa o perfilhamento da cana-de-açúcar nos dois ciclos da cultura foi *C. spectabilis* (Figuras 6 e 7). Como dito anteriormente, esta leguminosa apresenta crescimento inicial mais lento quando comparado com as demais espécies utilizadas neste estudo, desta forma é possível que na fase mais crítica para o perfilhamento da cana-de-açúcar, *C. spectabilis* não tenha um poder de competição por água, luz e nutrientes como as outras leguminosas, não prejudicando assim o perfilhamento da cana (Casagrande, 1991).

Entre todas as espécies estudadas *C. juncea*, provavelmente por possuir rápido crescimento inicial e um porte alto (65 cm aos 35 DAP), apresentou a maior influência negativa no perfilhamento da cana. Outro aspecto a ser destacado, é que na literatura são encontrados relatos sobre o efeito alelopático e/ou supressor muito expressivo desta espécie, assim, é possível que a liberação de substâncias químicas pela crotalária, possa ter afetado de alguma forma o perfilhamento da cana.

O conceito usual para a escolha de espécies para adubação verde é de que estas, possam produzir mais matéria seca no mais curto espaço de tempo possível (Miyasaka *et al.*, 1984). No caso do consórcio entre leguminosas e a cana-de-açúcar para fins de adubação verde, deve levar-se em consideração a influência no perfilhamento da cultura de cana, pois esta característica influencia diretamente no rendimento de colmos na cultura.

Contudo, mais pesquisas são necessárias para tentar reduzir-se a influência do consórcio, no perfilhamento da cultura de cana-de-açúcar. Possivelmente reduzindo-se a densidade de plantio das leguminosas, ou trabalhando com o plantio de cana em espaçamentos maiores, ou ainda usando espécies de leguminosas com crescimento inicial menos agressivo, seja possível esta redução. Outra alternativa talvez esteja associada ao uso

de cultivares de cana com perfilhamento mais agressivo que a RB 72-454, uma vez que sua rebrota é relativamente fraca quando comparada com cultivares como SP 70-1143 e SP 80 1842.

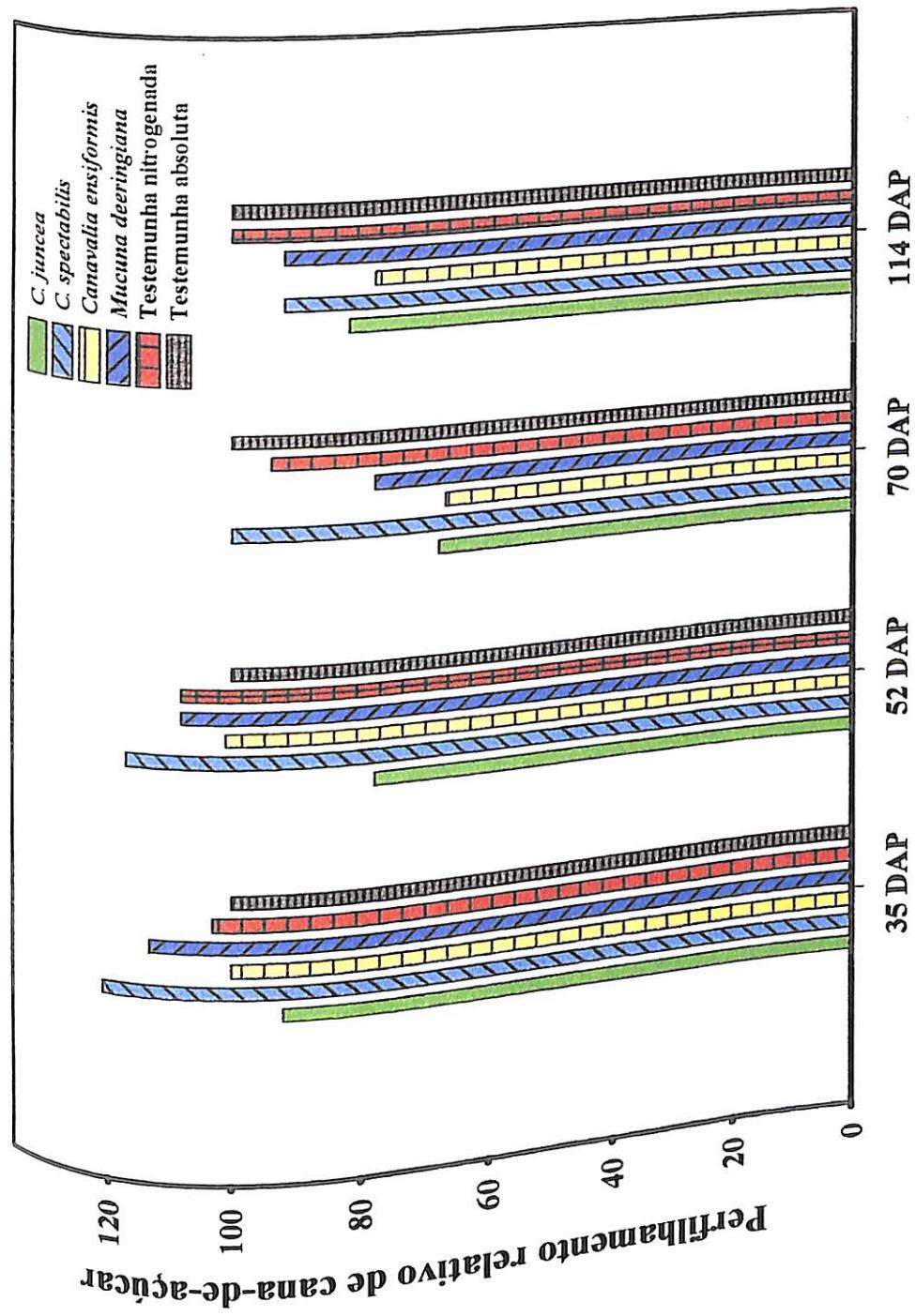


Figura 6. Influência da adubação nitrogenada e do consórcio com leguminosas no número de perfilhos de cana planta, em diferentes épocas de amostragem (Dados relativos, utilizando-se como referência o perfilhamento da testemunha absoluta).

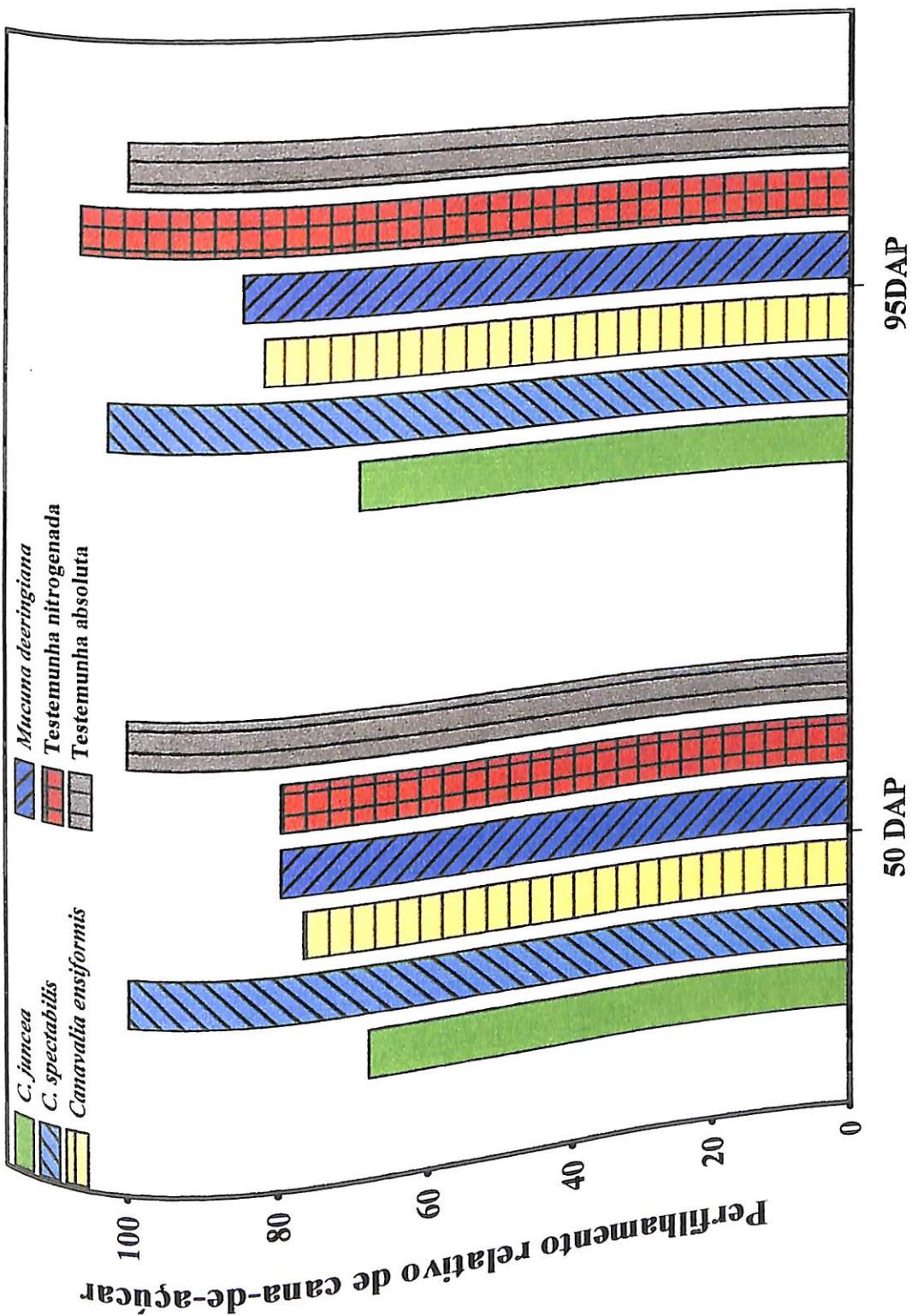


Figura 7. Influência da adubação nitrogenada e do consórcio com leguminosas no número de perfis de cana-de-açúcar na 1^a soca em diferentes épocas de amostragem (Dados relativos, utilizando-se como referência o perfilhamento da testemunha absoluta).

5.2.2. Transferência de nitrogênio das leguminosas utilizadas como adubos verdes para a cultura de cana-de-açúcar

Os resultados das avaliações sobre a contribuição das leguminosas cultivadas de forma intercalar, para a nutrição nitrogenada das plantas de cana, encontram-se nas tabelas 9 a 13. O teor de N-total nas folhas de cana-de-açúcar aos 150 DAP (80 – 100 dias após o corte das leguminosas) foi significativamente maior nos tratamentos com *C. juncea*, *M. deeringiana* e *C. ensiformis* quando comparados com a testemunha não nitrogenada (Tabela 9). Este fato parece estar associado a liberação de N por parte da decomposição dos resíduos das leguminosas e, coincide com o baixo tempo de meia vida do nitrogênio derivado dos adubos verdes (Tabela 8). Como o nitrogênio dessas leguminosas chegou no lado, como o perfilhamento da cana-de-açúcar foi prejudicado pelas leguminosas, é possível que o maior teor de nitrogênio encontrado nos tratamentos com adubos verdes, também possa ser devido há um efeito de concentração.

Tabela 9. Teor de N-total na folha zero de cana-de-açúcar em 3 datas de coleta, em função da adubação verde e da aplicação de nitrogênio (ciclo de cana planta).

Tratamentos	% de N na folha zero de cana-de-açúcar		
	150 DAP	240 DAP	300 DAP
<i>Crotalaria juncea</i>	1,612a	1,262a	1,116a
<i>Crotalaria spectabilis</i>	1,362c	1,327a	1,184a
<i>Canavalia ensiformis</i>	1,596ab	1,248a	1,187a
<i>Mucuna deeringiana</i>	1,562ab	1,215a	1,141a
Com N-fert.	1,439abc	1,324a	1,141a
Sem N-fert.	1,418 bc	1,168a	1,109a
CV (%)	5	7	9

Em cada coluna os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p=0,05$)

Os dados de delta ^{15}N (Tabela 10) foram muito similares entre os tratamentos e não foi possível detectar nenhuma influência significativa do N derivado da FBN dos adubos verdes na nutrição das plantas de cana. Este fato não foi muito relevante uma vez que além do nitrogênio derivado da FBN ser apenas uma fração do N-total acumulado pelas leguminosas, o período de amostragem parece ter sido demasiadamente tardio para que se pudesse calcular estes dados com precisão, este fato pode ser contornado nas avaliações feitas na 1^a soca.

Tabela 10. Valores de delta ^{15}N na folha zero de cana-de-açúcar em 3 datas de coleta, em função da adubação verde e da aplicação de nitrogênio (ciclo de cana planta).

Tratamentos	Valores de delta ^{15}N (%) na folha zero de cana-de-açúcar		
	150 DAP	240 DAP	300 DAP
<i>Crotalaria juncea</i>	3,33a	3,35a	3,45a
<i>Crotalaria spectabilis</i>	3,60a	3,62a	3,60a
<i>Canavalia ensiformis</i>	3,12a	3,05a	3,36a
<i>Mucuna deeringiana</i>	3,09a	3,02a	3,18a
Com N-fert.	3,35a	3,36a	3,55a
Sem N-fert.	3,44a	2,86a	3,49a
CV (%)	11	14	14

Em cada coluna os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p=0,05$).

Na 1^a soca as datas de amostragem foram antecipadas em relação à cana planta e, embora não tenham sido encontradas diferenças com significância estatística entre os tratamentos, observa-se novamente uma forte tendência das parcelas consorciadas com leguminosas e também onde aplicou-se N-fertilizante, em aumentar os teores de N-total na folha zero de cana (Tabela 11). Deve-se destacar que aos 65 DAP da cana, somente *C. juncea* havia sido cortada e seus resíduos já se encontravam em processo de decomposição. Embora estes resultados não tenham apresentado significância estatística, são bastante

interessantes e devem ser alvo de maiores estudos, uma vez que a transferência de nitrogênio das leguminosas para a cana através, provavelmente, da exsudação por suas raízes e até mesmo da parte aérea de substâncias orgânicas ricas em N (Wetselaar & Farquhar, 1980) se deu ainda com as plantas consorciadas em crescimento. É possível que outras formas de transferência de nitrogênio, provavelmente associadas a fungos micorrízicos conectados às duas plantas também possam estar contribuindo para os valores encontrados. Cruz & Martins (1997) trabalhando com ^{15}N nas culturas de feijão e milho crescendo em consórcio, encontraram valores significativos (17%) de transferência de nitrogênio, através de plantas interconectadas por micorrizas.

Tabela 11. Percentual de N-total na folha zero de cana-de-açúcar em 3 períodos de coleta, em função do uso da adubação verde (ciclo de cana soca).

Tratamentos	% de N na folha zero de cana-de-açúcar		
	65 DAP	95 DAP	145 DAP
<i>Crotalaria juncea</i>	1,512a	1,172a	1,115a
<i>Crotalaria spectabilis</i>	1,415a	1,123a	1,137a
<i>Canavalia ensiformis</i>	1,380a	1,203a	1,185a
<i>Mucuna deeringiana</i>	1,428a	1,185a	1,132a
Com N-fert.	1,648a	1,205a	1,167a
Sem N-fert.	1,195a	1,125a	1,073a
CV (%)	16	8	6

Em cada coluna os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p=0,05$).

Na Tabela 12, pode-se observar que os valores de delta ^{15}N da folha zero da 1^a soca das plantas de cana-de-açúcar são sensivelmente maiores na testemunha que nos demais tratamentos, principalmente aos 65 e 95 DAP. Com estes valores, foi possível estimar a

contribuição do nitrogênio das leguminosas e/ou de seus resíduos, para a cultura de cana-de-açúcar (Tabela 13).

Tabela 12. Valores de delta ^{15}N da folha zero de plantas de cana-de-açúcar em 3 datas de coleta, em função da adubação verde e da aplicação de nitrogênio. (1^a soca - Médias de 4 repetições)

Tratamentos	Valores de delta ^{15}N (%) na folha zero de cana-de-açúcar		
	65 DAP	95 DAP	145 DAP
<i>Crotalaria juncea</i>	3,87a	4,35a	3,64a
<i>Crotalaria spectabilis</i>	3,97a	4,52a	3,51a
<i>Canavalia ensiformis</i>	3,36a	3,68a	3,46a
<i>Mucuna deeringiana</i>	3,22a	4,04a	3,08a
Com N-fert.	3,84a	4,62a	4,73a
Sem N-fert.	4,34a	4,83a	4,09a
CV (%)	25	15	26

Em cada coluna os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p=0,05$).

Estes valores oscilaram entre 7 e 26% do total de N acumulado pelas plantas de cana, sendo menores para *C. spectabilis* e *C. juncea* e maiores para *C. ensiformis* e *M. deeringiana*, nas três amostragens (Tabela 13). O percentual de nitrogênio na cana-de-açúcar de origem das leguminosas foi praticamente estável no período avaliado, e similar ao encontrado aos 65 DAP, quando somente *C. juncea* havia sido cortada (14 dias após o corte).

Tabela 13. Transferência do nitrogênio acumulado pelas leguminosas para as plantas de cana-de-açúcar fazendo-se uso da técnica de delta ^{15}N e utilizando-se como planta referência a testemunha não nitrogenada. (cana soca - Médias de 4 repetições)

Tratamentos	% de N nas plantas de cana-de-açúcar derivado do nitrogênio das leguminosas		
	65 DAP	95 DAP	145 DAP
<i>Crotalaria juncea</i>	11a	10a	11a
<i>Crotalaria spectabilis</i>	9a	7a	14a
<i>Canavalia ensiformis</i>	23a	24a	15a
<i>Mucuna deeringiana</i>	26a	16a	24a
CV (%)	25	15	26

Em cada coluna os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p=0,05$).

5.2.3. Produção de colmos e acúmulo de N-total pela cultura de cana-de-açúcar

Por ocasião da colheita de cana planta (novembro de 1998) e 1ª soca (setembro de 1999), foram avaliados o rendimento de colmos em função dos tratamentos aplicados (Tabela 14). Considerando o tipo de solo em questão e o ciclo dos cortes em cada colheita de cana, os rendimentos podem ser considerados satisfatórios, situando-se acima da média nacional (68 t ha^{-1}) e bem acima da média do Estado do Rio de Janeiro (47 t ha^{-1}). Em cana planta os rendimentos obtidos com a adubação verde intercalar não diferiu dos rendimentos encontrados com a aplicação de 100 kg ha^{-1} de N-fertilizante, exceto quando a leguminosa utilizada foi a *Mucuna deeringiana*. Entre as leguminosas, embora não tenha sido de significância estatística, destaca-se *C. spectabilis*, que apresentou a maior influência positiva na produção de colmos, sendo cerca de 15 t ha^{-1} maior que a testemunha absoluta. Estes resultados parecem ter sido influenciados diretamente pela competição entre as leguminosas e a cana. Desta forma, *C. spectabilis* por ter um crescimento menos agressivo,

proporcionou as melhores produtividades da cana, quando comparada com as demais leguminosas em consórcio.

Tabela 14. Produção de colmos frescos ($t\ ha^{-1}$) de cana planta (12 meses) e soca , cultivadas sem e com consórcio com adubos verdes.

Tratamentos	Produção de colmos frescos ($t\ ha^{-1}$)	
	Planta	1ª Soca
<i>Crotalaria juncea</i>	73,2ab	58,2b
<i>Crotalaria spectabilis</i>	90,5ab	73,4ab
<i>Canavalia ensiformis</i>	75,2ab	58,2b
<i>Mucuna deeringiana</i>	72,3b	64,1ab
Sem leguminosa com $50 + 50\ kg\ ha^{-1}$ de N	99,9a	74,9a
Sem leguminosa e sem nitrogênio	75,4ab	66,2ab
Coeficiente de Variação (%)	15	10

Em cada coluna os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p=0,05$).

Na 1ª soca o consórcio, tanto com *Canavalia ensiformis* como com *C. juncea*, influenciaram negativamente a produção de colmos em relação à testemunha nitrogenada, devido, provavelmente, a redução no perfilhamento da cultura de cana-de-açúcar. Em contrapartida, mais uma vez a adubação verde com *C. spectabilis*, apresentou uma forte tendência em proporcionar os maiores rendimentos de colmos de cana, superando a testemunha absoluta em 11% e tendo efeito equivalente a aplicação de $100\ kg\ ha^{-1}$ de N-fertilizante.

Estes resultados levam a acreditar que para o cultivo intercalar de leguminosas na cultura de cana-de-açúcar, o conceito mais usual de adubação verde talvez tenha que ser repensado. Até o presente as espécies mais indicadas para adubação verde são as que possuem grande produção de matéria seca e acúmulo de nitrogênio com alta contribuição da FBN, num espaço de tempo o mais curto possível. Para cana-de-açúcar, embora mereça

ser alvo de maiores estudos, espécies com crescimento inicial mais lento, que não prejudique o perfilhamento da cana, parecem apresentar o maior potencial para esta prática. Neste estudo, a espécie *Crotalaria spectabilis*, demonstrou-se bastante promissora neste aspecto, no entanto nas condições experimentais sua produção de fitomassa e o acúmulo de N-total foi baixo quando comparado com as demais leguminosas. Estudos no sentido de trabalhar-se com a busca de espécies de leguminosas que se adaptem melhor a estas condições, além de encontrar a densidade de plantio de leguminosas ideal para intercalar com a cultura de cana-de-açúcar e até mesmo o uso de variedades de cana com perfilhamento mais agressivo, devem ser estimulados.

Outra consideração que deve ser feita é que para cana planta, o cultivo intercalar de leguminosas para fins de adubação verde talvez não seja o mais indicado para solucionar possíveis respostas a aplicação deste nutriente. Para estes casos, como será visto no capítulo 2, a adubação verde em pré plantio, ou seja, antes do plantio da cana-de-açúcar parece solucionar esta demanda de nitrogênio, sem influenciar num momento crucial para o estabelecimento da cultura. Desta forma, para cana planta, o uso da adubação verde em pré plantio talvez seja a melhor solução para redução dos problemas de perfilhamento da cultura.

Os dados referentes a produção de matéria seca da palha, colmo e bandeira da cana planta são apresentados na Tabela 15. A matéria seca total das plantas basicamente acompanhou a produção de colmos. Em relação a massa seca da palha é sempre importante salientar que este material normalmente é queimado para facilitar a colheita da cana-de-açúcar e, com esta queima, são perdidos entre 30 e 50 kg ha⁻¹ de nitrogênio (Tabela 16), além de outros nutrientes como o enxofre (Urquiaga *et al.*, 1997). Em áreas colhidas desta

forma, a manutenção da palhada no sistema aliada a prática da adubação verde com espécies de leguminosas, pode representar um aporte anual próximo a 100 kg ha^{-1} de N, valor bem superior à média de aplicação de nitrogênio em solos cultivados com cana-de-açúcar no Brasil. Outro aspecto a ser ressaltado é que plantando-se a leguminosa sobre a cana-de-açúcar no Brasil, é possível que o tempo de decomposição desta palha seja reduzido, uma vez que o resíduo das leguminosas (que possuem baixa relação C:N), poderiam auxiliar na optimização deste processo, o que possivelmente atenderia melhor a maior demanda de nitrogênio pela cana que se dá de 2-6 meses após o corte.

Tabela 15. Produção de matéria seca (t ha^{-1}) de cana planta (12 meses), em função dos tratamentos de adubação verde intercalar. Médias de 4 repetições.

Tratamentos	Colmos	Matéria seca (t ha^{-1})		Total
		Palha	Bandeira	
<i>Crotalaria juncea</i>	21,3b	10,7a	4,8a	36,9b
<i>C. spectabilis</i>	27,4ab	12,3a	5,3a	45,0ab
<i>Canavalia ensiformis</i>	21,8b	13,2a	5,5a	40,5ab
<i>Mucuna deeringiana</i>	21,3b	12,7a	4,8a	38,8ab
S/ leguminosa com $50 + 50 \text{ kg ha}^{-1}$ de N	30,0a	13,8a	5,8a	49,7a
S/ leguminosa e sem nitrogênio	22,6ab	13,6a	5,1a	41,3ab
Coeficiente de Variação (%)	14	20	16	13

Em cada coluna os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p=0,05$).

Quanto ao acúmulo de N-total na cana planta (planta inteira), embora não tenha havido diferenças estatisticamente significativas, as leguminosas cultivadas de forma intercalar à cultura, promoveram um aumento de aproximadamente 25 kg ha^{-1} de N, exceto no tratamento com *C. juncea*, que apresentou valores bem mais próximos à testemunha não nitrogenada (Tabela 16), embora esta espécie tenha tido um grande acúmulo de nitrogênio. Estes valores, provavelmente estão relacionados com a influência negativa desta espécie de

leguminosa no total de matéria seca acumulado pelas plantas de cana. O incremento no acúmulo de nitrogênio nas plantas de cana, é relevante, e indica o potencial da adubação verde para o fornecimento deste nutriente à cultura.

Tabela 16. N-total acumulado (kg ha^{-1} de N) em cana planta (12 meses), em função dos tratamentos de adubação verde intercalar. Médias de 4 repetições.

Tratamentos	N-total acumulado (kg ha^{-1})			
	Colmo	Palha	Bandeira	Total
<i>Crotalaria juncea</i>	63,0a	30,0a	42,0a	135,1a
<i>C.spectabilis</i>	73,2a	34,2a	51,9a	159,4a
<i>Canavalia ensiformis</i>	69,3a	40,9a	52,2a	162,5a
<i>Mucuna deeringiana</i>	68,5a	47,9a	47,9a	164,3a
S/ leguminosa com 50 +50 kg ha^{-1} de N	73,9a	37,6a	46,6a	158,1a
S/ leguminosa e sem nitrogênio	54,7a	39,2a	44,6a	138,6a
Coeficiente de Variação (%)	28	22	19	14

Em cada coluna os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p=0,05$).

Os resultados da produção de matéria seca na 1ª soca, seguiram a mesma tendência da cana planta, embora com menores rendimentos (Tabela 17). Quanto ao N-total acumulado pela parte aérea, a adubação nitrogenada com 100 kg ha^{-1} de N proporcionou um acúmulo de nitrogênio superior a testemunha absoluta em cerca de 60 kg ha^{-1} , enquanto que a cana cultivada com leguminosas em consócio acumulou entre 8 e 20 kg ha^{-1} a mais que a testemunha absoluta (Tabela 18). No entanto, a aplicação de N-fertilizante não aumentou na mesma proporção a produtividade de colmos, como visto na Tabela 14.

Tabela 17. Produção de matéria seca ($t ha^{-1}$) de cana soca, em função dos tratamentos de adubação verde intercalar. Médias de 4 repetições.

Tratamentos	Colmos	Matéria seca ($t ha^{-1}$)			Total
		Palha	Bandeira		
<i>Crotalaria juncea</i>	18,5a	8,0a	3,9a	30,4ab	
<i>C.spectabilis</i>	23,9a	10,2a	4,5a	38,6ab	
<i>Canavalia ensiformis</i>	16,9a	8,3a	3,9a	29,2b	
<i>Mucuna deeringiana</i>	19,6a	8,7a	3,9a	32,2ab	
S/ leguminosa com 50 +50 kg ha^{-1} de N	27,8a	9,9a	4,9a	42,6a	
S/ leguminosa e sem nitrogênio	20,4a	8,0a	3,7a	32,2ab	
Coeficiente de Variação (%)	23	14	21	32	

Em cada coluna os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p=0,05$).

Em dois anos de cultivo, foram retirados do sistema entre 220 e 310 kg ha^{-1} de nitrogênio, considerando-se o solo em questão, um planossolo com menos de 0,05% de N até 20 cm (aproximadamente 1000 kg ha^{-1} de N), deduz-se que estas quantidades são bastante significativas, o que demonstra a grande capacidade da cultura de cana em acumular nitrogênio e indica que provavelmente, além do solo, esta cultura consegue obter o N necessário ao seu desenvolvimento de outras fontes, entre as quais, possivelmente a FBN ocupa um papel de grande importância (Urquiaga *et al.*, 1992; Boddey *et. al.*, 1995; Reis Júnior, 1998) e, esta característica tenha influenciado diretamente nas pequenas respostas da cultura à adubação verde, principalmente em cana planta. Um reforço para esta hipótese, está no fato de que, no contorno do experimento, foram cultivados o milho e o sorgo para serem utilizados como testemunhas no uso da técnica de abundância natural de ^{15}N , e o desenvolvimento destas culturas foi extremamente baixo, não possibilitando sequer que estas plantas completassem seu ciclo produtivo (Dados não apresentados).

Tabela 18. N-total acumulado (kg ha^{-1} de N) nas plantas de cana, em função dos tratamentos de adubação verde intercalar. (cana soca)

Tratamentos	N-total acumulado (kg ha^{-1})			
	Colmo	Palha	Bandeira	Total
<i>Crotalaria juncea</i>	49,2ab	23,8ab	27,1a	100,2b
<i>C.spectabilis</i>	49,1ab	28,7ab	31,9a	109,8b
<i>Canavalia ensiformis</i>	56,3ab	26,2ab	28,0a	110,5b
<i>Mucuna deeringiana</i>	46,5b	23,8ab	28,0a	98,3b
S/ leguminosa com 50 +50 kg ha^{-1} de N	86,8a	30,5a	37,1a	154,3a
S/ leguminosa e sem nitrogênio	42,3ab	22,6b	25,7a	90,6b
Coeficiente de Variação (%)	32	13	21	16

Em cada coluna os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p=0,05$).

5.2.4. Contribuição da fixação biológica de nitrogênio para a cultura de cana-de-açúcar

Os resultados da análise de abundância natural de ^{15}N nas folhas verdes (bandeira) de cana-de-açúcar encontram-se na Tabela 19. Embora estes valores não tenham sido estatisticamente diferentes entre si, contata-se uma forte tendência que, a aplicação de N-fertilizante normalmente apresenta, em superestimar os níveis de FBN por esta metodologia.

Tabela 19. Valores de abundância natural de ^{15}N na bandeira (folhas verdes) de plantas de cana-de-açúcar, cultivadas com adubação verde intercalar (ciclo de cana planta).

Tratamentos	Abundância natural de ^{15}N (%)	
	Bandeira	Colmo
<i>Crotalaria juncea</i>	3,31a	
<i>C. spectabilis</i>	3,95a	
<i>Canavalia ensiformis</i>	3,99a	
<i>Mucuna deeringiana</i>	3,46a	
S/ leguminosa com 50 +50 kg ha^{-1} de N	2,49a	
S/ leguminosa e sem nitrogênio	3,22a	
Coeficiente de Variação (%)	39	

Em cada coluna os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p=0,05$).

A contribuição da fixação biológica de nitrogênio para as plantas de cana-de-açúcar encontra-se na Tabela 20. É importante ressaltar que os valores encontrados incluem a FBN realizada com associações de bactérias diazotróficas com a cultura de cana-de-açúcar e também o nitrogênio transferido pelas leguminosas. Portanto, de modo geral, a contribuição da FBN para a cultura de cana foi de 8 a 53%. É possível que a aplicação de N-fertilizante tenha alterado o enriquecimento de ^{15}N do solo e sua consequente disponibilidade para as plantas, induzindo a uma superestimativa da contribuição da FBN para as plantas.

Yoneyama *et al.* (1997) trabalhando com a mesma técnica em diversos sítios no Brasil, Japão e Filipinas e fazendo uso ou não da adubação nitrogenada, encontrou que aplicações de nitrogênio nos estágios iniciais de desenvolvimento da cultura possibilitou maiores contribuições da FBN do que onde não aplicou-se N. No entanto, como diz o autor, é provável que alterações na dinâmica de N no solo após a aplicação deste elemento tenha ocorrido, podendo contribuir para que os valores de FBN encontrados na cultura não correspondam a realidade. Estes autores, encontraram valores da contribuição da FBN similares aos obtidos neste trabalho, no entanto, com um espectro de variação da ordem de 0 até 76 % de nitrogênio contido nas plantas derivados desta fonte, dependendo da testemunha utilizada.

De acordo com os resultados encontrados para cana planta, a cultivar RB 72 454 é capaz de receber grandes contribuições da FBN. Outro aspecto que deve ser destacado para reforçar esta hipótese, é que as plantas utilizadas como referência no cálculo da FBN, o milho e o sorgo, tiveram um desenvolvimento bem abaixo do esperado, em função das características do solo, que é muito arenoso e pobre em nutrientes. Este fato, novamente vem a confirmar o trabalho de diversos autores, que estimam que a FBN é capaz de

contribuir com até 70 % do nitrogênio acumulado pelas plantas de cana-de-açúcar (Lima *et al.*, 1987; Urquiaga *et al.*, 1992; Yoneyama *et al.*, 1997).

Tabela 20. Contribuição (%) da fixação biológica de nitrogênio para plantas de cana-de-açúcar determinadas pela técnica de abundância natural de ^{15}N utilizando-se sorgo e milho como testemunhas (ciclo de cana planta).

Tratamentos	Contribuição da FBN			
	Sorgo como testemunha ¹	Milho como testemunha ²	%	kg ha ⁻¹ de N
<i>Crotalaria juncea</i>	24 a	32 b	38 a	51 b
<i>C.spectabilis</i>	9 a	14 b	26 a	41 b
<i>Canavalia ensiformis</i>	8 a	15 b	25 a	42 b
<i>Mucuna deeringiana</i>	20 a	33 b	35 a	57 b
Sem leguminosa com 50 +50 kg ha ⁻¹ de N	43 a	68 a	53 a	84a
Sem leguminosa e sem nitrogênio	26 a	36 b	40 a	55 b

¹O valor de $\delta^{15}\text{N}$ do sorgo foi de 4,36; ²O valor de $\delta^{15}\text{N}$ do milho foi de 5,35.
Em cada coluna os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p=0,05$).

Para o ciclo de cana soca, os valores de delta ^{15}N das plantas foram mais baixos (Tabela 21), o que pode indicar uma maior estabilização da área em relação ao ano de implantação do experimento. A aplicação de N-fertilizante teve a maior tendência em apresentar os maiores valores de $\delta^{15}\text{N}$, neste ano. Aumentos da mineralização do N orgânico do solo, causados pela aplicação de adubos nitrogenados, vem sendo observado por diversos autores (Alfaia *et al.*, 1995, Alfaia, 1997) uma vez que estudos com utilização de ^{15}N têm demonstrado que muitas vezes, estas aplicações favorecem a absorção de N proveniente do solo pelas plantas.

Tabela 21. Valores de abundância natural de ^{15}N em diferentes partes das plantas de cana-de-açúcar cultivadas com adubação verde intercalar (ciclo de cana soca).

Tratamentos	Abundância natural de ^{15}N (%)			
	Colmo	Palha	Bandeira	Ponderado
<i>Crotalaria juncea</i>	2,43a	1,69a	2,42a	2,30a
<i>C. spectabilis</i>	3,13a	1,78a	2,90a	2,76a
<i>Canavalia ensiformis</i>	2,56a	1,28a	4,00a	2,67a
<i>Mucuna deeringiana</i>	3,04a	0,83a	1,91a	2,16a
S/ leguminosa com 50 + 50 kg ha ⁻¹ de N	3,79a	3,20a	3,98a	3,69a
S/ leguminosa e sem nitrogênio	2,33a	1,32a	3,50a	2,44a
Coeficiente de Variação (%)	37	61	32	28

Em cada coluna os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p=0,05$).

A contribuição da FBN para a cultura de cana-de-açúcar foi um pouco mais elevada na 1ª soca do que no ciclo de cana planta (Tabela 22) e as quantidades fixadas foram de 48 a 59 kg ha⁻¹ de N. Estes valores representaram perto de 50% do N-acumulado pelas plantas de cana. Admitindo-se um potencial de fornecimento de nitrogênio via FBN das leguminosas utilizadas na adubação verde entre 30 e 50 kg ha⁻¹, e as contribuições que vem sendo encontradas para cana-de-açúcar, é possível, por este aspecto, especular-se sobre a viabilidade de associação destes dois sistemas de FBN, reduzindo ou até mesmo eliminando a adubação com fertilizantes nitrogenados minerais.

Tabela 22. Contribuição (%) da fixação biológica de nitrogênio para plantas de cana-de-açúcar determinadas pela técnica de abundância natural de ^{15}N utilizando sorgo e milho como testemunhas (ciclo de cana soca).

Tratamentos	Contribuição da FBN			
	Sorgo como testemunha ¹		Milho como testemunha ²	
	%	kg ha ⁻¹ de N	%	kg ha ⁻¹ de N
<i>Crotalaria juncea</i>	47 a	47a	57 a	57a
<i>C.spectabilis</i>	37 a	41a	48 a	53a
<i>Canavalia ensiformis</i>	39 a	43a	50 a	55a
<i>Mucuna deeringiana</i>	50 a	49a	60 a	59a
Sem leguminosa com 50 +50 kg ha ⁻¹ de N	15 a	23a	31 a	48a
Sem leguminosa e sem nitrogênio	44 a	40a	54 a	49a
Coeficiente de Variação (%)	44	29	28	18

Em cada coluna os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey, ($p=0,05$).
¹ O valor de $\delta^{15}\text{N}$ do sorgo foi de 4,36; ² O valor de $\delta^{15}\text{N}$ do milho foi de 5,35.

6. CONCLUSÕES

Para as condições em que foi realizado este trabalho, pode-se concluir que:

- *Crotalaria spectabilis*, de crescimento inicial mais lento que as demais leguminosas do estudo (*Crotalaria juncea*, *Mucuna deeringiana* e *Canavalia ensiformis*), apresentou os melhores resultados para cultivo intercalar com cana-de-açúcar, justamente por não interferir no perfilhamento da cultura. Esta espécie, apresentou uma tendência em aumentar em 16 % a produção de colmos de cana (média de 2 anos), em relação à testemunha absoluta;
- As leguminosas *Crotalaria spectabilis*, *Canavalia ensiformis*, *Mucuna deeringiana* e *Crotalaria juncea*, cultivadas nas entrelinhas de cana, acumularam entre 16 e 64 kg ha⁻¹ de nitrogênio, num período de 50 a 70 dias.
- A fixação biológica de nitrogênio contribuiu com mais de 50% do N-total acumulado pelas leguminosas em todas as condições do estudo, o que indica o potencial de uso destas espécies para suprir a demanda de N da cana;

- A cultivar de cana RB 72-454 obteve em média, no tratamento controle, aproximadamente 50 % de todo o nitrogênio acumulado em seus tecidos, derivado da FBN associada a esta cultura;

CAPÍTULO 2 - Taxa de decomposição de diferentes resíduos de espécies de leguminosas utilizadas na adubação verde plantadas em pré-cultivo na cultura de cana-de-açúcar e sua influência no rendimento da cultura, cv. RB 72-454.

7. INTRODUÇÃO

Na ocasião da renovação do canavial, normalmente após a cada quatro ou cinco cortes em média, o solo permanece desprovido de vegetação por vários meses, sendo freqüente a ocorrência de elevadas precipitações pluviométricas neste período, tornando bastante severos os problemas de erosão (Caceres & Alcarde, 1995).

Embora de maneira ainda pouco representativa, em diversas regiões do Brasil, neste período que antecede o plantio da cana, são plantadas leguminosas com o intuito de reduzir as perdas de solo por erosão, controlar a incidência de ervas daninhas, reduzir o ataque de nematóides, melhorar o conteúdo de matéria orgânica do solo e, ainda fornecer nutrientes, principalmente o nitrogênio, visando aumentar a produção de colmos de cana planta (Oliveira *et al.*, 1997), entretanto, pouco se sabe sobre o manejo ideal dos adubos verdes para melhorar o aproveitamento de nutrientes fornecidos por eles, para a cultura da cana.

Normalmente, a contribuição da adubação verde com leguminosas para a nutrição nitrogenada de culturas econômicas é feita avaliando-se a contribuição global da planta inteira (parte aérea + raízes) isto é, a disponibilidade de nitrogênio para a cultura principal é quantificada em função do N-total acumulado em toda a planta, sem haver preocupação

com a contribuição advinda de suas diferentes partes (folhas, talos e raízes). Em trabalhos recentes Urquiaga & Zapata (2000) consideram que, para uma adequada avaliação do comportamento dos adubos verdes, seria importante estudar-se a contribuição de cada uma das principais partes das plantas, pois o teor de nutrientes e de compostos de fácil decomposição (que influenciam diretamente na velocidade de liberação de nutrientes), variam sensivelmente, sendo que as folhas tem geralmente uma concentração maior de nitrogênio e outros nutrientes que o resto da planta. Esta alta concentração de nitrogênio nas folhas, acarreta numa menor relação C:N deste material quando comparado com o resto da planta, o que possibilita um menor tempo de meia vida, porém de magnitude pouco estudada. Na literatura, poucos estudos vem sendo realizados no sentido de medir-se a taxa de decomposição de matéria seca e nitrogênio das folhas e talos dos resíduos de plantas utilizadas na adubação verde.

O presente trabalho teve como objetivos:

1. Estudar a taxa de decomposição e liberação do nitrogênio contido em diferentes partes das plantas (talos e folhas) de três espécies de leguminosas utilizadas na adubação verde.
2. Avaliar os efeitos da adubação verde com leguminosas em pré-plantio, na produção de colmos e acúmulo de nitrogênio na cultura de cana-de-açúcar.

8. MATERIAL E MÉTODOS

8.1. Localização e características de solo e clima da área experimental.

Este estudo foi realizado na mesma área experimental descrita no item 4.1 do primeiro capítulo.

8.2. Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos consistiram do plantio de 3 espécies de leguminosas utilizadas como adubo verde: *Crotalaria juncea*; *Canavalia ensiformis* e *Mucuna deeringiana*, na densidade de 30, 6 e 8 sementes por metro linear, respectivamente, de acordo com recomendação de Calegari *et al.* (1992). Todas as leguminosas foram inoculadas com bactérias do gênero *Rhizobium*, pertencentes ao grupo do Caupi.

As plantas cresceram por um período de 150 dias, quando foram cortadas e efetuadas determinações da taxa de decomposição de talos e folhas dos seus resíduos.

Dentro do delineamento proposto, para que se pudesse avaliar também a influência que estes resíduos ainda poderiam exercer sobre a produção de colmos de cana-de-açúcar,

foram considerados mais três tratamentos: o primeiro consistiu do plantio de *Crotalaria juncea* no início do mês de agosto de 1998, para que fosse incorporada imediatamente após ao seu corte (ainda verde), e exatamente na época de plantio da cana (outubro de 1998). Desta forma, seria possível comparar também, como as leguminosas incorporadas secas e as incorporadas ainda verde poderiam afetar a produtividade da cana-de-açúcar; o segundo tratamento consistiu da aplicação de nitrogênio fertilizante ($50 + 50 \text{ kg ha}^{-1}$ N, como uréia), parcelados no plantio e aos 60 DAP da cana; e o terceiro tratamento foi a testemunha absoluta (sem aplicação de N e sem adubação verde). Perfazendo um total de seis tratamentos para que fossem avaliados os efeitos da adubação verde em pré-plantio na cultura de cana-de-açúcar (Quadro 2). As parcelas referentes a estes três tratamentos adicionais, foram instaladas juntamente com o plantio das leguminosas (novembro de 1997) e ficaram em pousio durante todo o período que antecedeu o plantio da *C. juncea* a partir de agosto de 1998 e/ou da cana nos outros dois tratamentos. Cada unidade experimental foi constituída de 10 linhas de 6 m de comprimento espaçadas de 0,6 m para as leguminosas. Cada um dos seis tratamentos foi repetido 4 vezes, totalizando 24 parcelas de 36 m^2 cada, dispostas em blocos ao acaso.

No fim de outubro de 1998, após incorporação das leguminosas, plantou-se a cultivar de cana RB 72-454 em todas as parcelas, conforme descrito no capítulo 1, excetuando-se aí a introdução de leguminosas de forma intercalar a cultura.

Quadro 2. Descrição dos tratamentos

- A- *Crotalaria juncea*; plantada em novembro de 1997, cortada em abril de 1998 e deixada sobre o solo até o plantio da cana, em outubro do mesmo ano, quando foi incorporada;
 - B- *Canavalia ensiformis* (Feijão de porco); plantada em novembro de 1997, cortada em abril de 1998 e deixada sobre o solo até o plantio da cana, em outubro do mesmo ano, quando foi incorporada;
 - C- *Mucuna deeringiana* (Mucuna anã); plantada em novembro de 1997, cortada em abril de 1998 e deixada sobre o solo até o plantio da cana, em outubro do mesmo ano, quando foi incorporada;
 - D- *Crotalaria juncea*, plantada em agosto de 1998, cortada e incorporada no plantio da cana.
 - E- Sem leguminosa (Testemunha absoluta); Sem aplicação de nitrogênio fertilizante na cultura de cana
 - F- Sem leguminosa; Com aplicação de nitrogênio fertilizante na cultura de cana ($50 + 50 \text{ kg N-Uréia ha}^{-1}$).
-

8.3. Implantação do experimento

O experimento foi instalado no campo experimental da Embrapa-Agrobiologia num planossolo com baixa fertilidade natural, principalmente em nitrogênio, com elevada acidez e baixo teor de matéria orgânica (Tabela 1). No preparo do solo foram aplicados o equivalente a 2 t ha^{-1} de calcário dolomítico 100% PRNT em toda área e, aos 13 dias do mês de novembro de 1997 foi efetuado o plantio das leguminosas.

No plantio da cana aplicou-se no fundo do sulco de plantio, 100 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio; 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de super fosfato simples e como fonte de micronutrientes 50 kg ha⁻¹ FTE BR 12.

Durante o período experimental, foram efetuadas capinas mecânicas e/ou químicas, de acordo com a necessidade, tanto nas leguminosas plantadas em pré-cultivo, como na cana-de-açúcar.

8.4. Avaliações sobre o comportamento das leguminosas

8.4.1. Produção de matéria seca e N-total acumulado pelas leguminosas

Por ocasião do corte das leguminosas (150 DAP) plantadas em 1997, foram amostradas áreas de 7,2 m² por parcela e os resíduos das plantas foram deixados sobre o solo. O material vegetal foi pesado e retiraram-se sub-amostras, as quais, foram levadas à estufa de secagem a 65°C até estabilização do peso, quando foi determinado a fração de matéria seca dos resíduos das plantas. Após esta etapa, as plantas foram pré-moidas em moinho tipo Willey, e a seguir levadas para moinho de rolagem (Smith & Um, 1990) para que pudessem ser realizadas as análises do conteúdo de N-total e abundância natural de ¹⁵N (Boddey *et al.*, 1994). A espécie *Crotalaria juncea* plantada em agosto de 1998, foi cortada aos 80 DAP e o mesmo procedimento de amostragem e análises utilizado para as demais leguminosas foi feito para este material.

Ao longo do período experimental foi notada uma grande deposição de material senescente na espécie *Crotalaria juncea*, basicamente composto por folhas, que foram quantificadas marcando-se uma área de 1,2 m² na entrelinha de plantio. Obteve-se a fração

da matéria seca deste material e em seguida procedeu-se ao preparo das amostras e a análise de N-total conforme descrito no item 4.4.

8.4.2. Quantificação da fixação biológica de nitrogênio (FBN)

A contribuição da fixação biológica de nitrogênio foi realizada conforme descrito no item 4.4.3.

8.4.3. Decomposição dos resíduos derivados dos adubos verdes

As taxas de decomposição dos resíduos de leguminosas foram determinadas com auxílio de telas de nylon conhecidas como "Covered litter" colocadas no solo sobre o material vegetal de peso conhecido (Rezende *et al.*, 1999), conforme apresentado no item

4.4.4. É importante ressaltar que nesse experimento os talos e folhas foram pesados separadamente, e colocados sobre o solo na mesma relação talo/folha que ocorreram nas plantas. Em cada coleta, o material era separado em talos e folhas e pesado para que pudesse ser medido a taxa de decomposição de cada parte da planta.

Foram colocadas 6 telas de nylon por parcela e as datas de coleta foram aos 8, 19, 29, 48, 97, 194 dias após instalação, que foi feita no dia seguinte ao corte das leguminosas.

Além da taxa de decomposição dos talos e das folhas, analisou-se também o N-total dos resíduos em cada coleta (Bremner & Mulvaney, 1982), com os quais foi possível avaliar-se também o tempo de meia vida do nitrogênio contido nos talos e folhas das espécies de leguminosas. O modelo matemático aplicado foi o mesmo descrito no item

4.4.4.

8.5. Avaliações sobre o consórcio adubo verde x cana-de-açúcar

8.5.1. Influência da adubação verde na produção de matéria seca e acúmulo de N-total em plantas de cana-de-açúcar

Na ocasião da colheita de cana foram cortadas as três linhas centrais das parcelas experimentais totalizando 21,6 m², e a parte aérea das plantas de cana-de-açúcar foram separadas em colmo, palha senescente e bandeira (folhas verdes). Cada uma dessas 3 partes foi pesada ainda fresca e retiradas amostras para determinação da fração de matéria seca, N-total e abundância natural de ¹⁵N seguindo o mesmo procedimento descrito no item

4.4.2.

8.5.2. Quantificação da contribuição da fixação biológica de nitrogênio (FBN) associada à cultura de cana-de-açúcar.

A contribuição da fixação biológica de nitrogênio para a cultura de cana-de-açúcar foi realizada conforme descrito no item 4.6. e, considerando-se a média ponderada da planta de cana inteira para efeito de cálculo.

8.6 Análise estatística

As análises estatísticas foram efetuadas conforme descritas no item 4.7.

9. RESULTADOS E DISCUSSÃO

9.1. Acúmulo de matéria seca e N-total pelas espécies de leguminosas em estudo.

Através dos resultados apresentados na Tabela 23, pode-se constatar a alta capacidade de *C. juncea* em acumular fitomassa, quando comparada com as demais espécies, o que se refletiu também no acúmulo de N-total. Outro fato relevante em *C. juncea* é que apresentou grande queda de material senescente (liteira) ao longo do período experimental. Este material constituiu-se basicamente por folhas da base, que a medida que a planta crescia (atingiu mais de 3 metros neste estudo), secavam e desprendiam-se. Os valores desta deposição de folhas senescentes foram próximos a 1 t ha⁻¹ de matéria seca, contendo ao todo cerca de 16 kg ha⁻¹ de N (Figura 8).

Em meados de janeiro de 1998 deu-se início a um forte veranico que se estendeu até a primeira semana de fevereiro, causando um "stress" nas plantas a ponto de *C. juncea* aumentar muito a deposição de folhas durante esse período (Figura 8). *M. deeringiana* vinha apresentando um baixo crescimento desde o plantio e com o veranico, acabou sendo substituída naturalmente por uma outra espécie de leguminosa, nativa da região,

Indigophera sp. Desta forma, passou-se a considerar *Indigophera* sp para o tratamento onde havia *M. deerlingiana*. Esta espécie, destacou-se por possuir boa acumulação de matéria seca em curto espaço de tempo.

Durante o período experimental as leguminosas acumularam próximo a 200 kg ha⁻¹ de N na parte aérea. Somente *C. ensiformis* acumulou mais nitrogênio nas folhas do que nos talos (Tabela 23). Quanto a *C. juncea* que foi plantada em agosto de 1998, pode-se constatar que sua produção foi relativamente baixa, não somente pelo curto espaço de tempo de cultivo, como também pela época em que foi plantada (Manhães *et al.*, 1983).

Tabela 23. Produção de fitomassa e N-total acumulado por três espécies de leguminosas utilizadas como adubação verde em pré cultivo de cana-de-açúcar.

Espécies	Matéria seca planta (t ha ⁻¹)		N-total planta (kg ha ⁻¹)	
	Talo	Folha	Talo	Folha
<i>Canavalia ensiformis</i>	4,12b	2,97a	64,92b	108,79a
<i>Indigophera</i> sp	4,37b	1,17c	66,78b	58,60b
<i>C. juncea</i>	10,41a	1,89b	114,85a	83,77a
<i>C. juncea</i> ¹	1,03c	0,70c	10,36c	21,64c

Em cada coluna os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (p=0,05).
¹ A *Crotalaria juncea* foi plantada somente em agosto de 1998 e cortada e incorporada em outubro do mesmo ano, crescendo por 80 dias antes do plantio da cana

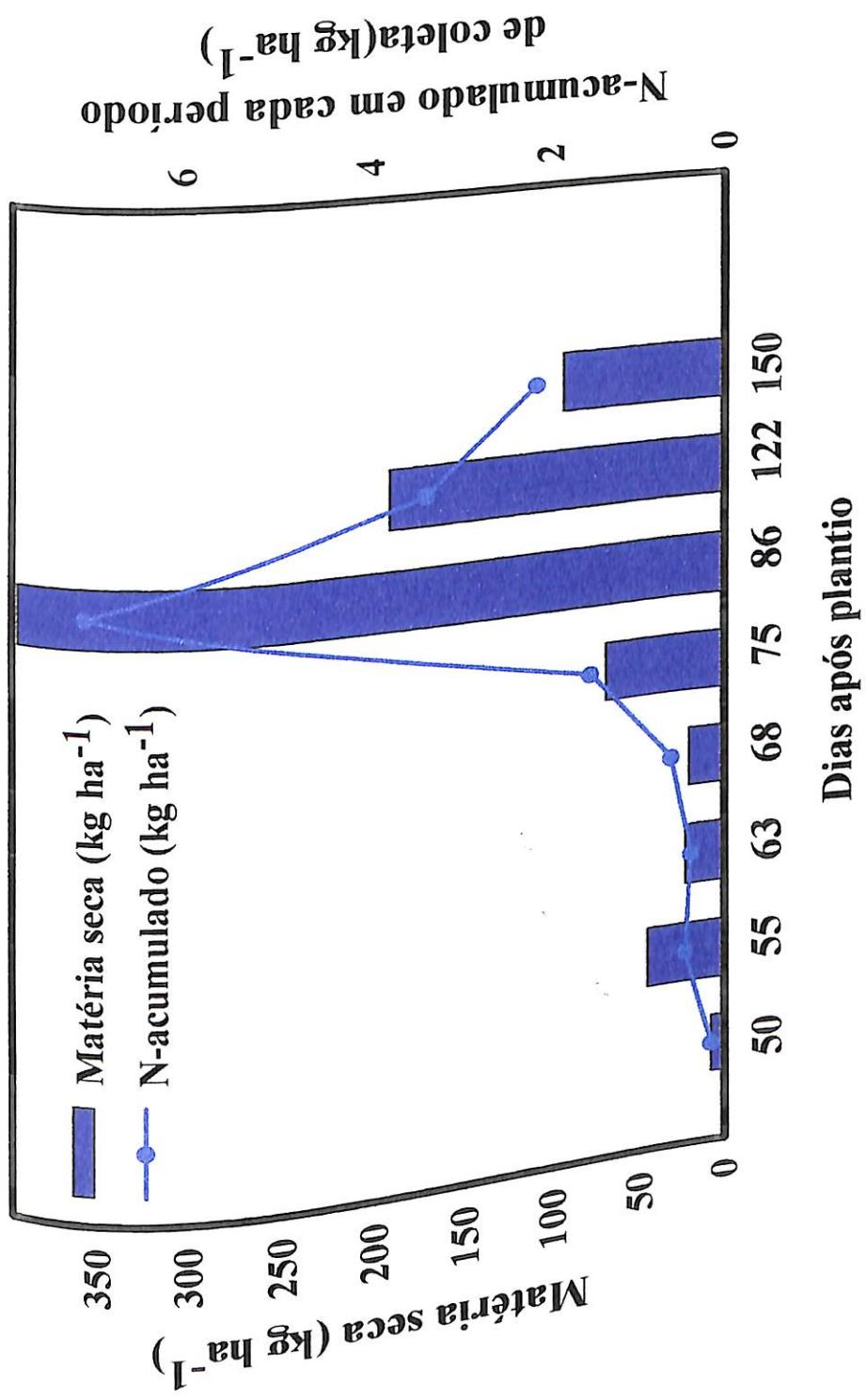


Figura 8. Deposição de material senescente de *C. juncea* ao longo do tempo em cada período de avaliação.

9.2. Contribuição da fixação biológica de N₂ às leguminosas em estudo

Em relação a contribuição da fixação biológica de nitrogênio para as leguminosas em estudo, pode-se dizer que, em média, 70% de todo o nitrogênio acumulado pelas plantas cultivadas a partir de novembro de 1997, foi derivado desta fonte. Já a espécie *Crotalaria juncea* plantada em agosto de 1998, apresentou menor contribuição da FBN que as demais, o que pode ser explicado, segundo Calegari *et al* (1992), pelo fato de que a contribuição da FBN às leguminosas é máxima no período em que mais de 50 % das plantas estão florescendo, desta forma, como na ocasião do corte, *C. juncea* plantada em agosto de 1998, estava em início da floração e as cortadas em abril se encontravam no pico, estas diferenças são esperadas.

Associando-se as Tabelas 23 e 24, constata-se que a quantidade de nitrogênio derivado da FBN esteve entre: 116 e 125; 84 e 90; 127 e 139; 16 e 18 kg ha⁻¹ de N, respectivamente para *C. ensiformis*, *Indigofera* sp, *C. juncea* plantada em novembro de 1997 e *C. juncea* plantada em agosto de 1998. Estes valores são bastante expressivos e estão de acordo com os resultados obtidos por diversos autores, utilizando outras técnicas de quantificação da FBN (Mes *et al.*, 1957; Calegari *et al.*, 1992)

Tabela 24. Valores de abundância natural de ^{15}N da parte aérea, e contribuição da fixação biológica de N atmosférico para a nutrição nitrogenada das leguminosas estudadas. Médias de 4 repetições.

Espécies	Média ponderada de $\delta^{15}\text{N}$ (‰)	Contribuição da FBN			
		Sorgo como testemunha ¹ %	kg ha ⁻¹ de N	Milho como testemunha ² %	kg ha ⁻¹ de N
<i>Canavalia ensiformis</i>	0,78 a	67 a	116 a	72 a	125 a
<i>Indigophera</i> sp	0,78 a	67 a	84 b	72 a	90 b
<i>C.juncea</i>	0,89 a	64 a	127 a	70 a	139 a
<i>C.juncea</i> ³	1,73 a	49 a	16 c	57 a	18 c
CV (%)	43	13	14	10	17

Em cada coluna os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p=0,05$).

¹ O valor de $\delta^{15}\text{N}$ do sorgo foi de 4,36; ² O valor de $\delta^{15}\text{N}$ do milho foi de 5,35.

³ A Crotalaria juncea foi plantada somente em agosto de 1998 e cortada e incorporada em outubro do mesmo ano, crescendo por 80 dias antes do plantio da cana

9.3. Taxa de decomposição de talos e folhas de plantas utilizadas na adubação verde

O tempo de meia vida da matéria seca das folhas foram bastante similares para todas as espécies, ficando em torno de 50 dias (Tabela 25). Para o $t_{1/2}$ dos talos pode-se dizer que *C. ensiformis* foi cerca de 30% mais facilmente decomponível que os talos das demais leguminosas e, a mesma tendência foi observada para os valores totais dos resíduos remanescentes (talo + folha).

De maneira geral, as folhas das leguminosas avaliadas, apresentaram uma taxa de mineralização cerca de duas a três vezes maior que os talos. Segundo trabalho realizado por Calegari *et al.* (1992) a relação C:N para *Indigophera* sp, *C. juncea* e *Canavalia ensiformis* é de cerca de 21; 19 e 11, respectivamente. Assim, é possível que o tempo de meia vida encontrado para as 3 espécies estudadas, tenha sido influenciado diretamente por esta relação.

Tabela 25. Valores da constante de decomposição (k) e tempo de meia vida ($t_{1/2}$) da matéria seca e do nitrogênio total contido nas diferentes partes de três espécies de leguminosas utilizadas como adubo verde.

Partes da planta	Const. de decomp. (k)	Meia vida ($t_{1/2}$)	Coef. de determ.	Const. De decomp. (k)	Meia vida ($t_{1/2}$)	Coef. de determ.
	Parâmetros obtidos para matéria seca			Parâmetros obtidos para nitrogênio total		
	$\text{g}^{-1}\text{dia}^{-1}$	dias	r^2	$\text{g}^{-1}\text{dia}^{-1}$	dias	r^2
<i>Indigofera sp.</i>						
Folhas	0,013	54	0,93***	0,017	41	0,94***
Talos	0,005	151	0,86**	0,005	148	0,84**
Folhas+ Talos	0,006	117	0,90***	0,009	80	0,91***
<i>Canavalia ensiformis</i>						
Folhas	0,013	54	0,79**	0,015	46	0,92***
Talos	0,007	102	0,93***	0,008	88	0,92***
Folhas+ Talos	0,008	85	0,90***	0,012	60	0,97***
<i>Crotalaria juncea</i>						
Folhas	0,014	50	0,99***	0,020	34	0,99***
Talos	0,005	142	0,92***	0,006	109	0,87**
Folhas+ Talos	0,006	118	0,95***	0,011	65	0,92***

Valores acompanhados dos símbolos **, *** representam respectivamente o nível de significância de 0,01 ou 0,001, determinados pelo teste F, na análise de variância da regressão.

Tabela 25. Valores da constante de decomposição (k) e tempo de meia vida ($t_{1/2}$) da matéria seca e do nitrogênio total contido nas diferentes partes de três espécies de leguminosas utilizadas como adubo verde.

Partes da planta	Const. de decomp. (k)	Meia vida ($t_{1/2}$)	Coef. de determ.	Const. De	Meia	Coef. de
				decomp. (k)	vida ($t_{1/2}$)	determ.
				r^2	$\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$	$\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$
<i>Indigofera sp.</i>						
Folhas	0,013	54	0,93***	0,017	41	0,94***
Talos	0,005	151	0,86**	0,005	148	0,84**
Folhas+ Talos	0,006	117	0,90***	0,009	80	0,91***
<i>Canavalia ensiformis</i>						
Folhas	0,013	54	0,79**	0,015	46	0,92***
Talos	0,007	102	0,93***	0,008	88	0,92***
Folhas+ Talos	0,008	85	0,90***	0,012	60	0,97***
<i>Crotalaria juncea</i>						
Folhas	0,014	50	0,99***	0,020	34	0,99***
Talos	0,005	142	0,92***	0,006	109	0,87*
Folhas+ Talos	0,006	118	0,95***	0,011	65	0,92***

Valores acompanhados dos símbolos **, *** representam respectivamente o nível de significância de 0,01 ou 0,001, determinados pelo teste F, na análise de variância da regressão.

Os menores valores do $t_{1/2}$ encontrados para as folhas já eram esperados, uma vez que esta parte da planta apresenta menor relação C:N e menores teores de lignina que os talos (Calegari *et al.*, 1992), porém a magnitude desta diferença não vem sendo descrita na literatura. O conhecimento sobre a taxa em que se decompõem as diferentes partes da planta, é de fundamental importância para o manejo da adubação verde em cultivos agrícolas.

O tempo de meia vida do nitrogênio contido nos resíduos das folhas e talos das plantas foi de cerca de 25 e 13 % menor, respectivamente, que os valores encontrados para matéria seca, indicando que possivelmente, a maior parte do nitrogênio contido nos tecidos destas plantas está ligado a compostos mais facilmente decomponíveis.

Quando avaliou-se somente a taxa de mineralização do nitrogênio das folhas das leguminosas, *C. juncea* foi a espécie que apresentou a menor meia vida (34 dias contra ~45 dias das demais), nos talos, a mineralização do N de *C. ensiformis* foi de 88 dias e de *C. juncea* e *Indigofera* sp, 109 e 148 dias, respectivamente.

Considerando-se a mineralização do nitrogênio dos resíduos dos adubos verdes da parte aérea conjuntamente (talos + folhas), constata-se que *C. ensiformis*, *C. juncea* e *Indigofera* sp apresentaram como tempo de meia vida do nitrogênio contido em seus tecidos, 60, 65 e 80 dias, respectivamente. Estes valores são bem menores que os obtidos para a decomposição da matéria seca dos resíduos (85, 118 e 117 dias, respectivamente para *C. ensiformis*, *C. juncea* e *Indigofera* sp). Isto indica que a taxa de mineralização do nitrogênio contido nos adubos verdes é maior do que a da matéria seca dos resíduos.

Este fenômeno não tem sido reportado em estudos de decomposição dos resíduos de adubos verdes no solo e, é possível que as variações normalmente encontradas no tempo de

meia vida de espécies leguminosas utilizadas para estes fins, obedecam a diferenças na velocidade de liberação de N e/ou decomposição dos talos e folhas, separadamente, prevalecendo a taxa de decomposição da parte da planta que tenha maior participação na matéria seca total.

Associando-se o total de nitrogênio acumulado pelas diferentes partes das plantas após 150 dias de cultivo e, suas respectivas taxas de mineralização, obtém-se as Figuras 9 a 11, e nelas é possível constatar que somente *C. ensiformis* acumulou mais nitrogênio nas folhas (110 kg ha^{-1}) que nos talos (65 kg ha^{-1}). *Indigofera* sp e *C. juncea* apresentaram nas folhas e talos, respectivamente, 60 e 65; 80 e 120 kg ha^{-1} de nitrogênio.

Para culturas econômicas que apresentem ciclo curto ou uma maior demanda de nitrogênio inicialmente, espécies como *C. ensiformis*, que possui grande parte de seu nitrogênio retido nas folhas (que são mais facilmente decomponíveis que os talos), são mais indicadas. Para culturas que têm ciclo de cultivo mais longo, ou sua maior demanda de N mais tarde, espécies que produzem mais talos, como *C. juncea*, possivelmente apresentarão os melhores resultados na prática da adubação verde.

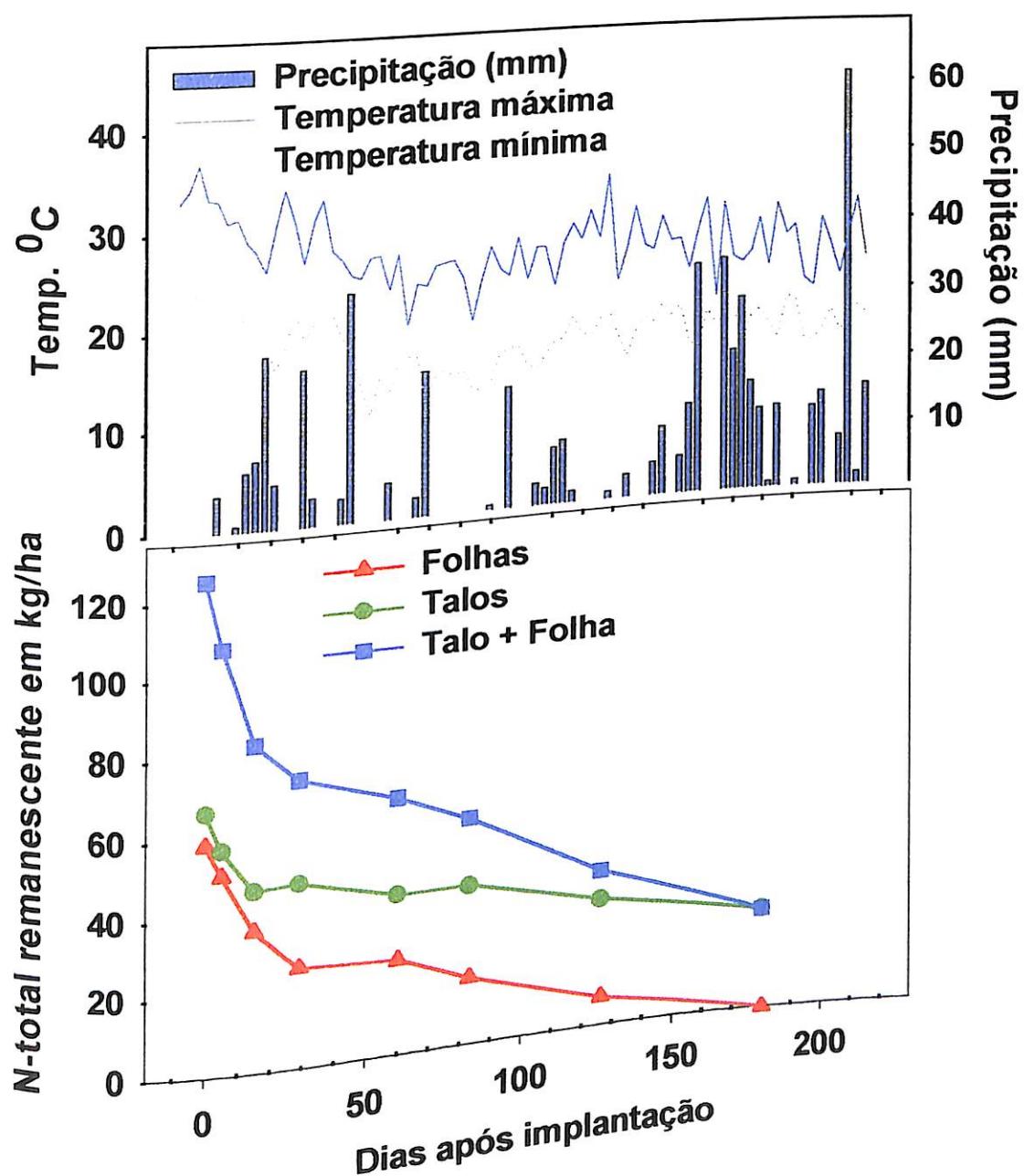


Figura 9. N-total remanescente (kg ha^{-1}) na matéria seca das folhas, talos e parte aérea total de *Indigofera* sp.

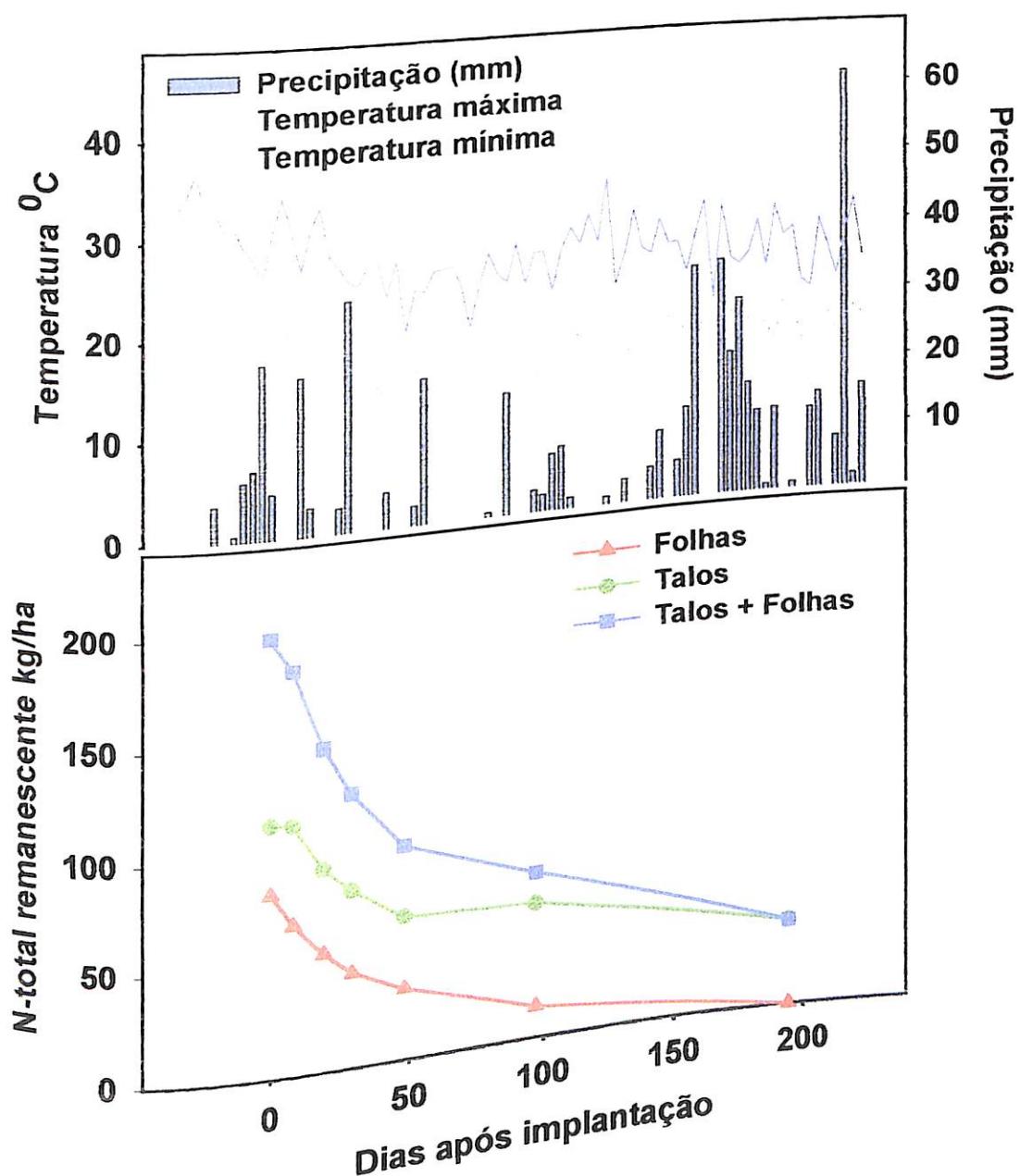


Figura 10. N-total remanescente (kg ha^{-1}) na matéria seca das folhas, talos e parte aérea total de *Crotalaria juncea*.

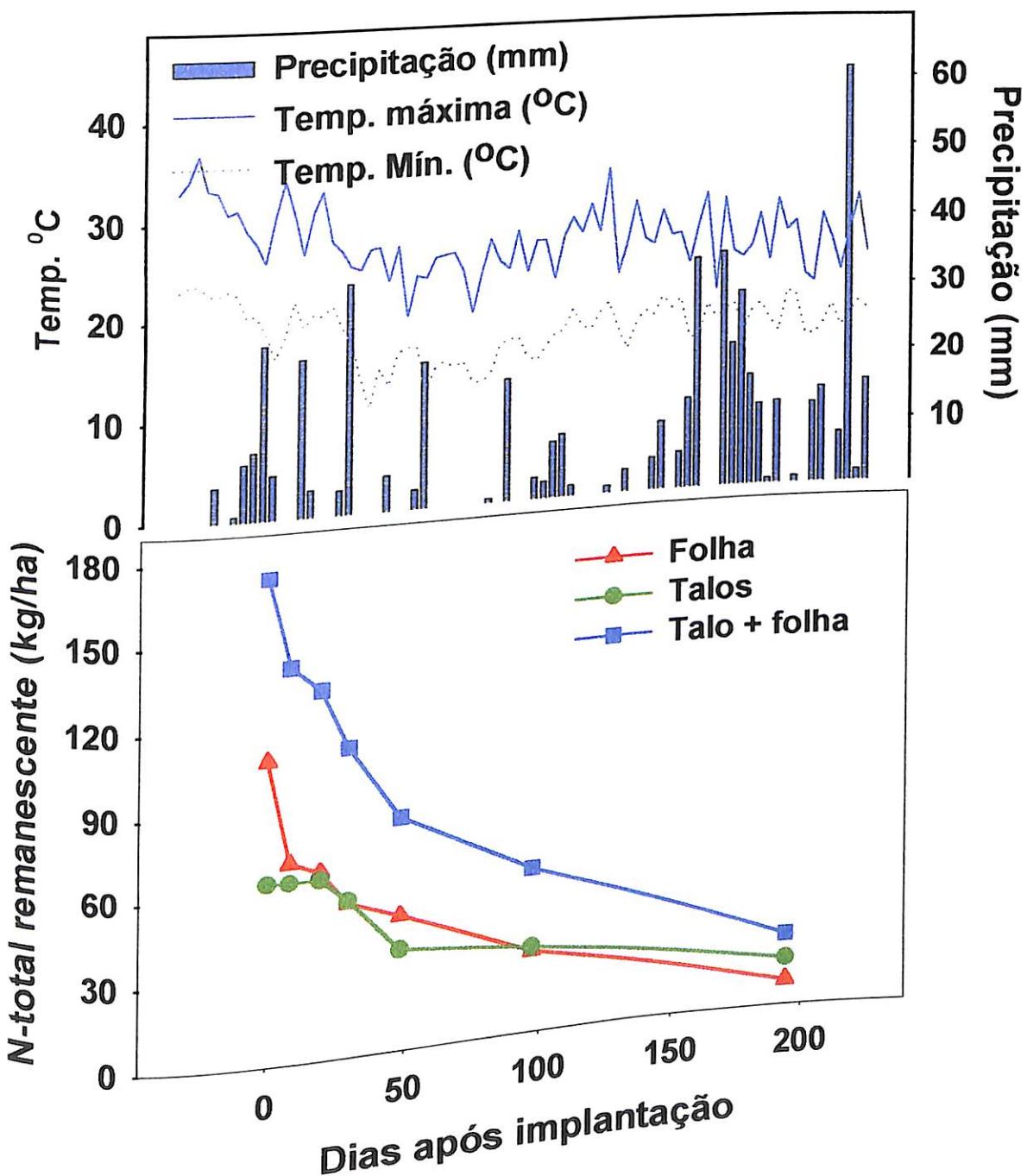


Figura 11. N-total remanescente (kg ha^{-1}) na matéria seca das folhas, talos e parte aérea total de *Canavalia ensiformis*.

9.4. Produção de colmos e acúmulo de nitrogênio na cultura de cana-de-açúcar.

Os resultados de rendimento de colmos e matéria seca de cana-de-açúcar nos diferentes tratamentos de adubação verde, não foram estatisticamente diferentes entre si (Tabelas 26 e 27), no entanto, houve uma tendência da adubação verde em favorecer a produção de colmos entre 5% (3 t ha^{-1}) (*Indigophera* sp) e 17% (10 t ha^{-1}) (*C. juncea* plantada em agosto). Esses resultados são similares aos obtidos por Cardoso (1956) e também por Cáceres & Alcarde (1995). É provável que a baixa resposta da cana ao fertilizante nitrogenado e à adubação verde, seja devido à contribuição da FBN nesta cultura (Lima *et al.*, 1987; Urquiaga *et al.*, 1992; Yoneyama *et al.*, 1997). Embora, até então, não se encontre relatos sobre o potencial de FBN desta cultivar na literatura, os resultados deste trabalho indicam que ela é capaz de receber altas contribuições desta fonte.

Tabela 26. Produção de colmos frescos (t ha^{-1}) de cana planta (11 meses), cultivada após adubação verde em pré-plantio.

Tratamentos	Produção de colmos frescos (t ha^{-1})
<i>Crotalaria juncea</i>	65,1a
<i>C. juncea</i> cortada no plantio da cana	67,6a
<i>Canavalia ensiformis</i>	63,3a
<i>Indigophera</i> sp.	60,9a
Sem leguminosa, com $50 + 50 \text{ kg ha}^{-1}$ de N	65,6a
Sem leguminosa e sem nitrogênio	57,9a
Coeficiente de Variação (%)	20

Em cada coluna os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p=0,05$).

Tabela 27. Produção de matéria seca ($t\ ha^{-1}$) de cana planta (11 meses), cultivada após adubação verde em pré-plantio.

Tratamentos	Matéria seca ($t\ ha^{-1}$)			
	Colmos	Palha	Bandeira	Total
<i>Crotalaria juncea</i>	19,6a	7,7a	3,6a	30,9a
<i>C. juncea</i> cortada no plantio de cana	20,5a	9,7a	3,7a	33,9a
<i>Canavalia ensiformis</i>	19,6a	7,9a	3,7a	31,2a
<i>Indigofera sp</i>	18,3a	7,6a	3,4a	29,3a
S/ leguminosa com 50 +50 kg ha^{-1} de N	19,9a	7,1a	3,5a	30,5a
S/ leguminosa e sem nitrogênio	18,0a	8,2a	3,7a	29,9a
Coeficiente de Variação (%)	19	22	17	18

Em cada coluna os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p=0,05$).

No que diz respeito ao N-total acumulado pela parte aérea das plantas, embora os valores de matéria seca (Tabela 27) sejam similares, pode-se dizer que houve uma tendência da *Crotalaria juncea* cortada imediatamente antes do plantio da cana, em favorecer a acumulação de nitrogênio nas plantas de cana em cerca de 20%, quando comparada com a testemunha absoluta, e cerca de 11%, quando comparada com a testemunha nitrogenada (Tabela 28).

Como o solo em estudo é extremamente arenoso, é possível que, a eficiência de recuperação de N-fertilizante pelas plantas de cana, tenha sido baixa. Desta forma, práticas como a adubação verde, que libera o nitrogênio mais lentamente para as plantas, parece ser uma maneira mais eficiente de se aplicar este nutriente nesses solos, além de possibilitar o favorecimento de suas características químicas e físicas pela incorporação de material orgânico. Miyasaka *et al.* (1984) trabalhando em conjunto com agricultores na região de Guairá, SP, constataram que a incorporação da palha seca ou fresca das leguminosas apresentaram os mesmos resultados sobre a produção de milho. Neste experimento, a

incorporação dos resíduos vegetais ainda verdes, tiveram uma tendência a apresentar os melhores resultados tanto na produção de colmos, como no acúmulo de nitrogênio. Considerando-se as condições climáticas e as características do solo da região, é possível que a maior parte do N contido nos adubos verdes cortados em abril e incorporados somente em outubro, tenha sido perdido, diminuindo portanto, sua contribuição às plantas de cana.

Tabela 28. N-total acumulado (kg ha^{-1}) pela cultura de cana-de-açúcar, cultivada após adubação verde em pré-plantio. Cana planta (11 meses).

Tratamentos	Colmo	N-total acumulado (kg ha^{-1})		
		Palha	Bandeira	Total
<i>Crotalaria juncea</i>	41,5a	28,5a	24,2a	94,2a
<i>C. juncea</i> cortada no plantio de cana	61,5a	26,6a	34,7a	122,8a
<i>Canavalia ensiformis</i>	49,5a	28,1a	26,4a	104,0a
<i>Indigofera sp</i>	46,0a	26,4a	27,7a	100,1a
S/ leguminosa com 50 +50 kg ha^{-1} de N	56,3a	27,2a	26,2a	109,7a
S/ leguminosa e sem nitrogênio	47,9a	31,2a	23,0a	102,1a
Coeficiente de Variação (%)	46	17	26	29

Em cada coluna os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p=0,05$).

9.5. Contribuição da FBN para as plantas de cana-de-açúcar

Os resultados da abundância natural de ^{15}N da parte aérea das plantas de cana-de-açúcar indicam existir pequenas diferenças entre os valores de delta ^{15}N , nas diferentes partes da planta (Tabela 29). Estas variações não têm sido constatadas em outros trabalhos (Resende *et al.* - Dados não publicados) e, neste caso, parecem estar relacionadas com os tratamentos aplicados. Na testemunha, os valores foram bastante homogêneos e baixos quando comparados com os demais e, no tratamento onde havia *Crotalaria juncea*, foram

encontrados os maiores resultados. É possível, que de alguma forma, os resíduos de *C. juncea* tenham promovido uma maior mineralização do nitrogênio nativo do solo, e este N, com maior enriquecimento de ^{15}N , tenha passado a ser a principal fonte deste nutriente para a cultura de cana, promovendo portanto, valores de $\delta^{15}\text{N}$ mais altos que nos demais tratamentos.

Tabela 29. Valores de abundância natural de ^{15}N em diferentes partes das plantas de cana-de-açúcar cultivadas após adubação verde em pré-plantio.

Tratamentos	Valores de $\delta^{15}\text{N}$ (%)			
	Colmo	Palha	Bandeira	Ponderado
<i>Crotalaria juncea</i>	5,43a	3,01a	3,13a	3,90a
<i>C. juncea</i> cortada no plantio da cana	4,00ab	1,92a	3,14a	3,16a
<i>Canavalia ensiformis</i>	3,86ab	1,74a	2,62a	2,99a
<i>Indigofera sp</i>	2,71b	2,42a	2,97a	2,72a
S/ leguminosa com 50 +50 kg.ha ⁻¹ de N	3,23ab	2,80a	3,32a	3,16a
S/ leguminosa e sem nitrogênio	2,55b	2,14a	2,53a	2,46a
Coeficiente de Variação (%)	31	77	29	32

Em cada coluna os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p=0,05$).

A partir dos resultados encontrados com a variação de $\delta^{15}\text{N}$ nas plantas de cana-de-açúcar, e utilizando o milho e o sorgo como testemunhas, foi possível quantificar a contribuição da FBN para a cultura de cana (Tabela 30). Constata-se que esta contribuição oscilou entre 10 e 44%, quando o sorgo foi usado como testemunha e 27 e 55%, quando a testemunha utilizada foi o milho. Estes resultados foram similares para todos os tratamentos, entretanto, a testemunha teve tendência a apresentar as maiores contribuições. É possível que a baixa disponibilidade de N do solo, tenha estimulado a FBN, neste caso.

Estes valores de contribuição da FBN para a cultura de cana-de-açúcar, estão de acordo com os apresentados por diversos autores, utilizando outras metodologias (Lima *et al.*, 1987; Urquiaga *et al.*, 1992; Yoneyama *et al.*, 1997). No trabalho de Yoneyama *et al.* (1997), estes autores também trabalharam com a técnica de abundância natural de ^{15}N e, avaliando diversos sítios no Brasil, Japão e Filipinas encontraram variações, dependendo da testemunha utilizada, da ordem de 0 até 76% de nitrogênio nas plantas, derivados da FBN.

Pelos resultados obtidos com a técnica de $\delta^{15}\text{N}$, a cultivar RB 72-454, além de apresentar características tecnológicas excelentes e já bem conhecidas, apresentou alto potencial em receber quantidades significativas de nitrogênio através da FBN. Esta última característica não vem sendo descrita na literatura.

Tabela 30. Contribuição (%) da fixação biológica de nitrogênio na nutrição de plantas de cana-de-açúcar, determinado pela técnica de abundância natural de ^{15}N utilizando-se como testemunhas o sorgo e o milho.

Tratamentos	Contribuição da FBN para cana			
	Sorgo como testemunha ¹	Milho como testemunha ²	%	kg ha ⁻¹ de N
<i>Crotalaria juncea</i>	10 a	09 b	27 a	25 b
<i>C. juncea</i> cortada no plantio da cana	28 a	34 ab	41 a	50 a
<i>Canavalia ensiformis</i>	31 a	32 ab	44 a	46 a
<i>Indigofera sp</i>	38 a	38 ab	49 a	49 a
Sem leguminosa com 50 +50 kg ha ⁻¹ de N	28 a	31 ab	41 a	45 a
Sem leguminosa e sem nitrogênio	44 a	45 a	54 a	55 a
Coeficiente de Variação (%)	76	57	43	39

¹ Em cada coluna os valores médios seguidos pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste Tukey, ($p=0,05$).
² O valor de $\delta^{15}\text{N}$ do milho foi de 5,35.
¹ O valor de $\delta^{15}\text{N}$ do sorgo foi de 4,36;

10. CONCLUSÕES

Para as condições em que foi realizado este trabalho, pode-se concluir que:

- A fixação biológica de nitrogênio contribuiu com mais de 50% do N-total acumulado pelas leguminosas em todas as condições do estudo, o que indica o potencial de uso dessas espécies para suprir a demanda de N da cana;
- As folhas das leguminosas em estudo apresentaram, de modo geral, tempo de meia vida três vezes menor que os talos, enquanto o $t_{1/2}$ do nitrogênio contido nos adubos verdes foi bem menor que o da matéria seca. Neste contexto, recomenda-se considerar a taxa de liberação de nitrogênio nas diferentes partes das plantas para se definir a espécie e a época mais adequada de se efetuar a adubação verde;
- A adubação verde com leguminosas em pré-plantio de cana-de-açúcar apresentou uma tendência em aumentar a produção de colmos entre 7 - 18%;
- A cultivar de cana RB 72-454 obteve em média, no tratamento controle, aproximadamente 50% de todo o nitrogênio acumulado em seus tecidos, derivado da FBN associada a esta cultura.
- A adubação verde de maneira geral, comportou-se como uma importante e complementar fonte de N ao sistema solo-planta, necessitando de mais experimentação

para que seja possível encontrar o espaçamento, as espécies e a densidade de plantio ideais das leguminosas, para otimização do manejo.

11. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através de todos os trabalhos que se têm encontrado na literatura, é fácil perceber que, infelizmente, ainda não foi possível explorar todo o potencial e todos os benefícios da adubação verde para que se consiga obter colheitas melhores em qualidade e maiores em quantidade, aproveitando melhor os elementos encontrados na natureza, sem degradar ainda mais o ecossistema. Porém, para que seja possível difundir mais esta prática e explorar ao máximo este potencial, seria necessário um maior nível de profissionalização do setor, buscando a redução dos preços das sementes de leguminosas utilizadas na adubação verde, assim como desenvolver maquinários especializados para o plantio intercalar, não somente na cultura de cana-de-açúcar, como em outras com o mesmo potencial de exploração. Estas questões não dizem respeito apenas a viabilidade técnica e econômica da adubação verde, mas também é uma questão cultural, e o setor sucroalcooleiro apresenta grande resistência em adotar algumas tecnologias mais inovadoras.

Os resultados deste estudo são bastante promissores e, vislumbram a possibilidade, de mesmo em cultivares de cana eficientes para a FBN, associar-se a adubação verde com

leguminosas e desta forma, reduzir ou mesmo eliminar, a adubação com fertilizantes nitrogenados na cultura.

Para que a adubação verde com plantas da família Leguminosae possa ser aplicada em escalas crescentes nos próximos anos, necessita-se de mais experimentação. Assim, o aparecimento e a demanda crescente por produtos de origem orgânica vêm contribuir em muito para o desenvolvimento de pesquisas, visando atender, inicialmente, este mercado e, num futuro próximo, possivelmente fazer uso da adubação verde em larga escala.

Na cultura de cana-de-açúcar esta prática se encaixa perfeitamente na produção de açúcar orgânico, uma vez que diversos autores vêm demonstrando a importância de algumas espécies de leguminosas utilizadas como adubos verdes para o controle de nematóides, seu potencial para utilização de nutrientes de camadas mais profundas, seus efeitos no controle de ervas invasoras, além, é claro, do alto potencial de fixar nitrogênio do ar. Sendo assim, este conjunto de fatores positivos, nos permite especular a viabilidade de, ao invés de deixar-se a vegetação espontânea se desenvolver, que normalmente não apresenta todas estas vantagens, plantar-se leguminosas, para que seja possível explorar o potencial destas plantas ao máximo. Com o aumento da colheita de cana crua, pode-se também especular-se sobre o uso da adubação verde intercalar com leguminosas visando favorecer a decomposição da palhada de cana e consequentemente atender com mais eficiência a maior demanda inicial de N pela cana.

Na verdade, considerando-se que no Brasil, a grande expansão do plantio direto só veio surgir cerca de 25 anos após sua introdução aqui, e, só foi viabilizado após a entrada da indústria tecnológica através do desenvolvimento de maquinários especializados e herbicidas seletivos, o uso da adubação verde em larga escala provavelmente é uma questão

de tempo, uma vez que sua comprovada eficiência como fonte de N aos sistemas agrícolas é uma realidade e deve ser melhor aproveitada, de maneira consciente e racional.

12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFAIA S.S., JACQUIN F. & GUIRAD G. Transformation on nitrogen fertilizers in Brazilian Amazonia soils. **ASRR**, New York, 9:335-340, 1995.
- ALFAIA S.S. Destino de adubos nitrogenados marcados com ^{15}N em amostras de dois solos da Amazônia Central. **R. bras. Ci. Solo**, Viçosa, 21:379-385, 1997.
- ALVES B.J.R. RESENDE C.DE P., RESENDE A.S., BODDEY A.S. & URQUIAGA S. Uso da incubação *in situ* no estudo da mineralização do N do solo: Uma possibilidade para a estimativa da contribuição da FBN em condições de campo. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, Viçosa, Minas Gerais, 1995.
- ALVES B.J.R. Aplicação da técnica de análise de solutos nitrogenados da seiva para a quantificação da fixação biológica de nitrogênio em *Desmodium ovalifolium* CV. Itabela. Seropédica. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 150p. Tese de Doutorado, 1996.
- ALVES D.S. Sistemas de informação geográfica. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO**, 1, São Paulo. **Anais**. São Paulo, USP, p.66-78, 1990.

AMADO T.J.C., ALMEIDA E.X. & MATOS A.T.de. Determinação da cobertura do solo por adubos verdes. Florianópolis, EMPASC, 1987. 6p. (Pesquisa em Andamento, 78)

ANDRADE, L.A.B. Efeitos da incorporação de *Crotalaria juncea* L. sobre algumas características do solo e do desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Tese de Mestrado, 1982.

ARRUDA F.B. Determinações da cobertura do solo durante o ciclo das culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, 8(1): 145-50, 1984

AZEREDO D.F., BOLSANELLO J., WEBER, H. E VIEIRA J.R. Nitrogênio em cana-planta, doses e fracionamento. **STAB** 4: 26-32, 1986.

BALDANI, J.I.; BALDANI, V.L.D.; SAMPAIO, M.J.A.M. & DÖBEREINER, J. Characterization of *Herbaspirillum seropedicae* gen. nov., sp. Nov., a root associated nitrogen-fixing bacterium. **International Journal of Systematic Bacteriology**, Washington, v.36, p. 86-93, 1986.

BALDANI, J.I.; CARUSO, L.; BALDANI, V.L.D.; GOI, S.R. & DÖBEREINER, J. Recent advances in BNF with non-legume plants. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.29, p. 911-922, 1997.

BALDANI, J.I.; POT, B.; KIRCHHOF, G.; FALSEN, E.; BALDANI, V.L.D.; OLIVARES, F.L.; HOSTE, B.; KERSTERS, K.; HARTMANN, A.; GILLIS, M. & DÖBEREINER, J. Emended description of *Herbaspirillum*; Inclusion of *[Pseudomonas] rubrisubalbicans*, a mild plant pathogen, as *Herbaspirillum rubrisubalbicans* comb. Nov.; and classification of a group of clinical isolates (EF

Group1) as Herbaspirillum species 3. **International Journal of Systematic Bacteriology**, Washington, v.46, n^o 3, p. 802-810, 1996.

BERNARDES L.M.C. Tipos de clima do Estado do Rio de Janeiro. **Revta. Bras. Geogr.** 1: 58-60, 1952.

BODDEY R.M. E DÖBEREINER J. Nitrogen fixation associated with grasses and cereals. In: Current Developments in Biological Nitrogen Fixation. (Subba Rao, N.S., ed) New Delhi, Oxford & IBH Publishing Co. pp 277-313, 1984.

BODDEY R.M. Methods for quantification of nitrogen fixation associated with gramineae. **CRC Crit. Rev. Plant Sci.** 6:209-266, 1987.

BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S.; REIS, V. & DÖBEREINER, J.. Biological nitrogen fixation associated with sugar cane. **Plant & Soil**. 137:111-117, 1991.

BODDEY, R.M.; ALVES, B.J.R. & URQUIAGA, S. Quantificação da fixação biológica de nitrogênio associada a plantas utilizando o isótopo ¹⁵N. In: **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**, eds. Hungria, M. & Araújo, R.S. EMBRAPA-CNPaf, pp 471-494, 1994.

BODDEY R.M.; DE OLIVEIRA, O.C. URQUIAGA, S.; REIS, V. OLIVARES, F.L.; BALDANI, V.L.D. & DÖBEREINER, J. Biological nitrogen fixation associated with sugar cane and rice: contributions and prospects for improvement. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 90, p. 195 – 209, 1995.

BODDEY R.M. Biological nitrogen fixation in sugar cane: A key to energetically viable biofuel production. **Critical Reviews in Plant Science**, 14 (3) 263-279, 1995.

BOHM, G.M. Impactos da poluição dos veículos automotores na saúde humana e meio ambiente. **FIESP/CIESP**, São Paulo, 1986.

BRASIL F., MACEDO R., TARRÉ R., FERREIRA E., RESENDE A.S., ALVES B.J.R. & URQUIAGA S. Efeito da liteira de leguminosa na decomposição da liteira de *Panicum maximum* e na liberação de N, P e K para o solo. **Resumos da XXIII reunião Brasileira de fertilidade do solo e nutrição de plantas, FertBio, 11 a 16 de outubro de 1998, Caxambu, MG.** P.742, 1998.

BREMNER J.M Inorganic nitrogen. IN: Nitrogen fixation by free-living microrganisms. D.P. Stewart ed. International Biological Programme. V6, p. 249-258. Cambridge Univ. Press., New York, 1965.

BREMNER, J.M.; MULVANEY, C.S. Nitrogen total. In: PAGE, A.L., ed. **Methods of soil analysis.** 2.ed. Madison: Soil Science Society of America. Part 2. P. 595-624, 1982.
BURRIS R.H. The acetylene reduction technique. In: Nitrogen fixation by free-living microrganisms. D.P. Stewart ed. International Biological Programme. V.6, p. 249-258. Cambridge Univ. Press., New York, 1975.

CÁCERES N. T. & ALCARDE J.C. Adubação verde com leguminosas em rotação com cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **STAB**, Maio-junho, Vol.13, Nº. 5, 1995.
CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E.A.; WILDNER, L.P.; COSTA, M.B.B.; ALCÂNTARA, P.B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T.J.C. **adubação verde no sul do Brasil.** Rio de Janeiro: AS-PTA, 346p., 1992.

CANA-DE-AÇÚCAR, Proálcool procura seu caminho para sobreviver. A Granja, Porto Alegre, v. 53, nº 581, p. 12-17, 1997.

CARDOSO, E.M. **Contribuição para o estudo de adubação verde dos canaviais.** Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1956. Tese de doutoramento.

- CARUSO, L.V. & BALDANI, J.I.. Monitoring the survival of endophytic diazotrophic bacteria in soil using Lac-Z fusion. In: **International Symposium on Sustainable Agriculture for the tropics: The Role of BNF**, Programme and abstracts, p. 108-109, Angra dos Reis, Rio de Janeiro, Brasil, 1995.
- CASAGRANDE A.A. Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar. Jaboticabal, FUNEP, 1991. 157p.
- CASTRO F.S. Las quemas como práctica agrícola y sus efectos. Fed. Nac. Cafet., Colômbia, **Bol. Tec.** 2, 18p., 1970.
- CAVALCANTE V.A. E DÖBEREINER J. A new acid-tolerant nitrogen-fixing bacterium associated with sugar cane. **Plant Soil** 108: 23-31, 1988.
- COJHO, E.H.; REIS, V.M.; SCHENBERG, A.C.G. & DÖBEREINER, J. Interactions of *Acetobacter diazotrophicus* with an amylolytic yeast in nitrogen-free batch culture. **FEM Microbiol. Lett.** V. 106, p. 341-346, 1993.
- CRESTANA S., GUIMARÃES M.F., JORGE L.A.C., TOZZI C.L., TORRE A., VAZ C.M.P. & RALISCH R. Avaliação do crescimento de raízes e morfologia do solo auxiliada por processamento de imagens. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 23, Porto Alegre. **Programa e Resumos**, p.130, 1991.
- CRESTANA S., GUIMARÃES M.F., JORGE L.A.C., RALISCH R., TOZZI C.L., TORRE A. & VAZ C.M.P. Avaliação da distribuição de raízes no solo auxiliada por processamento de imagens digitais. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 18: 365-371, 1994.
- CRUZ A.F. & MARTINS M.A. Transferência de nitrogênio entre plantas interconectadas por fungos micorrízicos arbusculares (FMAS). **R. bras. Ci. Solo**, Viçosa, 21: 559-565, 1997.

- CRUZ, L.M.; TEIXEIRA, K.R.S. & BALDANI, J.I. Expressão fenotípica de estirpes de *Acetobacter diazotrophicus* contendo o gene nif A de *Azotobacter vinelandii*. In: 20^a Reunião Anual de Genética de Microrganismos, Sociedade Brasileira de Genética, Piracicaba, São Paulo. Anais, v.20, p.116, 1995.
- DEMÉTRIO R., GUERRA J.G.M., SANTOS G.A., ALMEIDA D.L., DE-POLLI H. & CAMARGO F.A.O. Absorção de nitrogênio do solo pelo milho influenciada pela adição de diferentes resíduos de culturas. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.33, n.4, p.481-486, 1998.
- DE BANO L.F. The relationship between heat treatment and water repellency in soils. In: **Soil Water Repellency Symposium Proceedings**. pp 265-280. Univ. California, Riverside, CA, 1969.
- DE – POLLI H. & CHADA S.S. Adubação verde incorporada ou em cobertura na produção de milho em solo de baixo potencial de produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, p.287-293, 1989.
- DÖBEREINER J. Influência da cana-de-açúcar na população de Beijerinckia do solo. **R. Brasil. Biol.** 19: 251-258, 1959.
- DÖBEREINER J. History and new perspectives of diazotrophs in association with non-leguminous plants. **Symbiosis**, Rehovot, v. 13, p. 1-13, 1992.
- DÖBEREINER J. Nitrogen-fixing bacteria of the genus Beijerinckia Derx in the rhizosphere of sugar cane. **Plant Soil** 15: 211-216, 1961.
- DÖBEREINER J. E RUSCHEL A.P. Uma nova espécie de Beijerinckia. **R. Biol. (São Paulo)** 1: 261-272, 1958.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, SNLCS, 1979.

ESPÍNDOLA J.A.A., ALMEIDA D.L., GUERRA J.G.M., SILVA E.M.R. & SOUZA F.A.

Influência da adubação verde na colonização micorrízica e na produção de batata doce.

Pesq. Agropec. Bras., Brasília, v.33, n.3,p.339-347, 1998.

GILLIS M., KERTERS K., HOSTE B., JANSENS D., KROPPENSTEDT R.M.,

STEPHAN M.P., TEIXEIRA K.R.S., DÖBEREINER J. AND DELEY J. Acetobacter diazotrophicus sp. nov. a nitrogen fixing acetic acid bacterium associated with sugar

cane. **Int. J. Syst. Bacteriol.** 39:361-364, 1989.

GARCÍA DE SALOMONE, I. & DÖBEREINER, J. Maize genotype effects on the response to *Azospirillum* inoculation. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 21,

p.193-196, 1996.

GILLER K.E. & WILSON K.J. Nitrogênio fixation in tropical cropping systems.

Wallingford: CAB International, 1991. 313p.

GLÓRIA, N. & ORLANDO FILHO, J. Aplicação de Vinhaça: Um resumo e discussões sobre o que foi pesquisado. **Rev. Álcool e Açúcar**, ano v.16 pp 32-39, 1984.

GOSWAMI, N.N.; PRASAD, R.; SARKAR, M.C.; & SINGH, S. Studies on the effect of green manuring in nitrogen economy in a rice-wheat rotation using a ¹⁵N technique. **J. Agric. Sci., Camb.** V.111, pp.413-417, 1988.

GRIER C.C. Wild fire effects on nutrient distribution and leaching in a coniferous ecosystem. **Can. J. Forest. Res.** 5:559-607, 1975.

GRACIOLLI, L.A.; FREITAS, J.R. DE & RUSCHEL, A.P. Bactérias fixadoras de nitrogênio nas raízes, caules e folhas de cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.) Revista

Microbiológica, São Paulo, v.14, p. 191-196, 1983.

IBGE - Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, Sistema IBGE de recuperação automática – **SIDRA**, 1999.

JONG VAN LIER Q.DE, SPAROVEK G. & VASQUES FILHO J. Análise de imagens utilizando um “Scanner”manual: Aplicações em Agronomia. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 17:479-482, 1993.

JORGE, L.A.C. & CRESTANA, S. SIARCS 3.0: Novo aplicativo para análise de imagens digitais aplicado a ciência do solo. In: **XIII Congresso Latino Americano de Ciência do Solo**, CD-Rom - Águas de Lindóia, São Paulo, Brasil, 1996.

JUNK G. & SVEC H.J. The absolute abundance of the nitrogen isotopes in the atmosphere and compressed gas from various sources. **Geochim. Cosmochim. Acta**. 14: 234-243, 1958.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres. 492p., 1985.

KLUTHCOUSKI, J.C. Leucena: Alternativa para a pequena e média agricultura.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão**. Circular técnica nº 6.

23p. 1980.

LIMA E., BODDEY R.M. E DÖBEREINER J. Quantification of biological nitrogen fixation associated with sugar cane using a ¹⁵N aided nitrogen balance. **Soil Biol. Biochem.** 19: 165-170, 1987.

LOPES P.R.C. **Relações da erosão do solo com tipos e quantidades de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1984. 116p. Tese de Mestrado.

- LOURENÇO A.J., SARTINI H.J. E SANTAMARIA M. O uso do fogo orientado em pastagens de capim Jaraguá (Hyparrhenia rufa) consorciado com uma mistura de leguminosas. **Anais XIII Reun. Soc. Bras. Zootec.** pp. 366-367, 1976.
- MACEDO, I.C.; & KOLLER, H.W. Balanço de energia na produção de cana-de-açúcar e álcool nas usinas cooperadas em 1996. **International Report**, Centro Tecnológico da Copersucar, Piracicaba, 23p. 1997.
- MACHADO, E.C. Fisiologia de produção de cana-de-açúcar, cultivo e utilização. S.B. Paranhos, **Fundação Cargill**, Campinas, p. 56-80, 1987.
- MANHÃES M S. & CRUZ FILHO, D.F. Avaliação dos rendimentos de leguminosas para adubação verde na zona canavieira do Estado de São Paulo. **Saccharum**, São Paulo, v.3, n.25, p.40-44, 1983.
- McCLURE P.R., ISRAEL D.W. & VOLK R.J. Transport of nitrogen in xylem of soybean plants. **Plant Phisiol.** 66: 720-725, 1980.
- MEEKS J.C., WOLK C.P., SCHILLING N., SHAFFER P.W., AVISSAR Y. & CHIEN W.S. Initial organic products of fixation of (^{13}N) dinitrogen by roots nodules of soybean (*Glycine max*) **Plant Physiol.** 61: 980-987, 1978.
- MES, M.; VON HAUSEN, S.S. & VAN GYLSWYK, N.O. A comparative study of the growth and yield of a number of crotalaria species suitable for green -manuring. **South African Journal of Science.** V.53, n^o 6, pp.181-185, 1957.
- MES, M.; VON HAUSEN, S.S. & VAN GYLSWYK, N.O. A comparative study of the nitrogen content of a number of crotalaria species suitable for green -manuring. **South African Journal of Science.** V.53, n^o 6, pp.185-189, 1957.

MIYASAKA, S.; CAMARGO, O.A.; CAVALERI, P.A.; GODOY, I.J., WERNER, J.C.; CURI, S.M.; NETO, F.L.; MEDINA, J.C.; CERVELLINI, G.S.; BULISANI, E.A. Adubação Orgânica, Adubação Verde e Rotação de Culturas no Estado de São Paulo. Fundação Cargill, campinas, 138p., 1984.

NADAGOUDAR, B.S.; KENCHAIAH, K.; SHANKARAIAH, C.; RAMA KRISHNA, D.V.; LOKESHWARAPPA, G.V. & VIJAYAMMA, R. Leguminous intercrops for sugarcane. In: **42nd Annual Convention of the sugar technologists' association of India**. Kanpur, p. 47-53, 1978.

NASCIMENTO P.C. & LOMBARDI NETO F. Razão de perdas de solo sob cultivo de três leguminosas. **R. Bras. Ci. Solo**, 23: 121-125, 1999.

OLIVARES, F.L. **Taxonomia, ecologia e mecanismos envolvidos na infecção e colonização de plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum* sp. Híbrido) por bactérias endofíticas do gênero *Herbaspirillum***. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1997. Tese de doutorado.

OLIVEIRA L.A.A., VIANA A.R. & RIBAS FILHO S.B. **Efeito da rotação com soja na cultura da cana-de-açúcar**. PESAGRO-RIO, Comunicado técnico 239. Dezembro pp 1-4, 1997.

OLIVEIRA, O.C. **Quantificação da fixação biológica de nitrogênio em arroz (*Oryza sativa*, L.) inundado**. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1994.

Tese de mestrado.
ORLANDO-FILHO J., HAAG H.P. E ZAMBELLO E. JR. Crescimento e absorção de macronutrientes pela cana-de-açúcar, variedade CB 41-76 em função de idade em solos do Estado de São Paulo. **Bol. Técnico N° 2**, 128p., Planalsucar, Piracicaba, SP, 1980.

PAULA, M.A. DE; REIS, V.M. & DÖBEREINER, J. Interactions of *Glomus clarum* and *Acetobacter diazotrophicus* in infection of sweet potato (*Ipomea batata*), sugar cane (*Saccharum* spp.) and sweet sorghum (*Sorghum bicolor*). **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 11, p.111-115, 1991.

PEREIRA, L.R.; VIEIRA, C.; SEDIYAMA, C.S.; CARDOSO, A.A. Comportamento de cultivares e misturas de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), em monocultivo e em consórcio com o milho. **Revista Ceres**, Viçosa. V.30, n°168, p.150-172, 1983.

PEOPLES M.B., FAIZAH A.W., RERKASEM B. & HERRIDGE D.F. Methods for evaluating nitrogen fixation by nodulated legumes in the field. **ACIAR**, Monograph N°. 11, Canberra, 1989. 76p.

PETROLEUM INDUSTRY RESEARCH. Artigo publicado na coluna de Joelmir Beting. O GLOBO, Rio de janeiro, 2 fev., 2000. p.40, c. Economia.

PIETERS, A.J. Green manuring-principles and practice - **John Wiley & Sons**, inc. New York, 1927

PURCHASE, B.S. Nitrogen fixation associated with sugar cane. **Proc. S. Afr. Sugar Technol. Assoc.**, june, pp. A3 – A6, 1980.

QUESADA D.M., XAVIER R.P., RESENDE A.S., ALVES B.J.R., BODDEY R.M., GUERRA J.G.M. & URQUIAGA S. Produção de fitomassa, cobertura do solo e decomposição de resíduos de leguminosas utilizadas como adubos verdes em consórcio com cana-de-açúcar. **Resumos da XXIII reunião Brasileira de fertilidade do solo e nutrição de plantas**, FertBio, 11 a 16 de outubro de 1998, Caxambu, MG. P.517, 1998

- RAIJ B. VAN; QUAGGIO, J.A., CANATARELLA H., FERREIRA M.E., LOPES A.S. & BATAGLIA O.C. Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas: Fundação cargill, 1987. 170p.
- RAMOS D.P., CASTRO A.F. & CAMARGO M.N. Levantamento detalhado de solos da área da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. *Pesq. Agropec. Bras.*, Sér. Agron., 8: 1-27. 1973.
- RESENDE A.S., QUESADA D.M., OLIVEIRA O.C., GONDIM A., ALVES B.J.R., RESENDE A.S., QUESADA D.M., OLIVEIRA O.C., GONDIM A., ALVES B.J.R., BODDEY R.M. & URQUIAGA S. Efeito do sistema de colheita na produtividade de cana-de-açúcar após 14 anos de cultivo. *Resumos da XXIII reunião Brasileira de fertilidade do solo e nutrição de plantas, FertBio, 11 a 16 de outubro de 1998, Caxambu, MG. P.516, 1998.*
- RESENDE A.S., SANTOS A.O, GONDIM A., XAVIER R.P., QUESADA D.M., RESENDE A.S., SANTOS A.O, GONDIM A., XAVIER R.P., QUESADA D.M., OLIVEIRA O.C., ALVES B.J.R., BODDEY R.M. & URQUIAGA S. **Efeito de 16 anos da prática da queima e aplicações de vinhaça e nitrogênio na densidade e características químicas de um solo Bruno não Cálcico, cultivado com cana-de-açúcar.** Seropédica, Documentos EMBRAPA Agrobiologia, 1999 (No Prelo)
- REIS JÚNIOR, F.B. **Influência do genótipo da planta, micropropagação e fertilização nitrogenada sobre a população de bactérias diazotróficas em cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)** Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1998.
- Tese de mestrado.
- REZENDE C. P., CANTARUTTI R.B., BRAGA J.M., GOMIDE J.A., PEREIRA J.M., FERREIRA E., TARRÉ R., MACEDO R., ALVES B.J.R., URQUIAGA S., CADISCH G., GILLER K. BODDEY R.M. Litter deposition and disappearance in

Brachiaria pastures in the Atlantic forest region of the South of Bahia, Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems** 54: 99-112, 1999.

RUSCHEL A.P., HENIS Y. E SALATI E. Nitrogen-15 tracing of N-fixation with soil-grown sugar cane seedlings. **Soil Biol. Biochem.** 7: 181-182, 1975.

RUSCHEL A.P., VICTORIA R.L., SALATI E. E HENIS Y. Nitrogen fixation in sugar cane (*Saccharum officinarum*). **Ecol. Bull. (Stockholm)** 26: 297-305, 1978.

SANTA-CECÍLIA, F.C. & VIEIRA, C. Associatedcropping of beans and maize. I. Effects of bean cultivars with different growth habits. **Turrialba**, v.28, n^o 1, pp. 19-23, 1978.

SAMPAIO E.V.S.B., SALCEDO I.H. E BETTANY J. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar. I. Eficiência na utilização de uréia (¹⁵N) em aplicação única ou parcelada. **Pesq. Agropec. Bras.** 19: 943-949, 1984.

SCIVITTARO W.B. **Utilização de nitrogênio (15N) e enxofre (35S) do adubo verde mucuna-preta pelo milho.** Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1998. Tese de doutoramento.

SHEARER, G. & KOHL, D.H. N₂ fixation in field settings: estimations based on natural ¹⁵N abundance. **Aust. J. Plant Physiol.**, 13, 699-756, 1986.

SMITH D.W. Concentrations of soil nutrients before and after fire. **Can. J. Soil Sci.** 50:17-

29, 1970

SMITH J.L. & UM M.H. Rapid procedures for preparing soiland KCl extracts for ¹⁵N analysis. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, Vol 21, No 17 & 18: 2173-2180, 1990.

SOUZA, D.F. A adubação verde e o problema dessa prática agrícola na lavoura canavieira paulista. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1953. Tese de Doutoramento.

STOCKING M.A. Assessing vegetative cover and management effects. In: LAL R. Soil erosion research methods, Ankeny. P. 163-186, 1988.

THOMAS R.J. & ASAOKAWA N.M. Decomposition of leaf litter tropical forage grasses and legumes. *Soil Biol. Biochem.* 25:1351-1361, 1993.

URQUIAGA S., BOTTEON P.B.L. E BODDEY R.M. Selection of sugar cane cultivars for associated biological nitrogen fixation using ^{15}N -labelled soil. In Nitrogen Fixation with Non-legumes. (F. Skinner, R.M. Boddey e I. Fendrik, eds) pp 311-319. Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, Holanda, 1989.

URQUIAGA S., BODDEY R.M., OLIVEIRA O.C., LIMA E. E GUIMARÃES, D.H.V. A importância de não queimar a palha na cultura de cana-de-açúcar. Seropédica : EMBRAPA-CNPBS, 12p. (EMBRAPA-CNPBS. Comunicado Técnico, 5), 1991.

URQUIAGA S., CRUZ K.H.S. E BODDEY R.M. Contribution of nitrogen fixation to sugar cane: nitrogen-15 and nitrogen balance estimates. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:105-114, 1992.

URQUIAGA S.; RESENDE, A. S. DE; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M. A importância do molibdênio na fixação biológica de nitrogênio e na nutrição nitrogenada da cultura de cana-de-açúcar. XIII Congresso Latino-Americano de Ciência do Solo, Águas de Lindóia, SP. CD-ROM, 1996.

URQUIAGA S., RESENDE A. S., QUESADA D.M., SALLES L., GONDIM A., ALVES B.J.R., BODDEY R.M. Efeito das aplicações de vinhaça, adubo nitrogenado e da

queima no rendimento de cana-de-açúcar. **XXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo.** Rio de Janeiro, 21 a 25 Julho. CD-ROM, 1997.

URQUIAGA S., RESENDE A. S., ALVES B.J.R., BODDEY R.M. & DÖBEREINER Fixação biológica de nitrogênio na cultura de cana-de-açúcar: Perspectivas. **Workshop sobre avaliação e manejo dos recursos naturais em áreas de exploração da cana-de-açúcar.** Aracajú, SE, EMBRAPA-CPATC, 11 a 13 de novembro, 126p., 1997.

URQUIAGA S., RESENDE A.S., ALVES B.J.R. & BODDEY R.M. Biological Nitrogen fixation as support for the sustainable production of sugar cane in Brazil: Perspectives. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** vol. 71, no. 3, parte II. pp 505-513, 1999.

URQUIAGA S. & ZAPATA F. Manejo eficiente de la fertilización nitrogenada de cultivos anuales en América Latina y el Caribe. Porto Alegre: Genesis, 2000, 100 p.

VALLIS I., HAYDOCK K.P., ROSS P.J. & HENZELL E.F. Isotopic studies on the uptake of nitrogen by pastures. III. The uptake of small additions of ^{15}N -labelled fertilizer by Rhodes grass and Townsville lucerne. **Aust. J. Agric. Res.** 18: 865-877, 1967.

VIEIRA, C. **Efeito da adubação verde intercalar sobre o rendimento do milho.** Escola Superior de Agricultura da Universidade Rural do Estado de Minas Gerais, 1960.

Tese de doutorado.

VIRO P.J. Effects of fire on soil. In: **Fire and Ecosystems.** (T.T. Kozlowski & C.E.

Ahlgren, eds.). **Acad. Press**, New York, 1974.

YONEYAMA, T.; MURAOKA, T.; KIM, T.H.; DACANAY, E.V. & NAKANISHI, Y. The natural ^{15}N abundance of sugarcane and neighbouring plants in Brazil, the Philippines and Miyako (Japan). **Plant and Soil** 189:239-244.tt, 1997.

WANI S.P., DART P.J. E UPADHYAYA M.N. Factors affecting nitrogenase activity (C_2H_2 reduction) associated with sorghum and millet estimated using the soil core assay. **Can. J. Microbiol.** 29:1063-1069, 1983.

WETSELAAR, R. & FARQUHAR G.D. Nitrogen losses from tops of plants. In: **Advances in agronomy**, 1980. p.263-302.

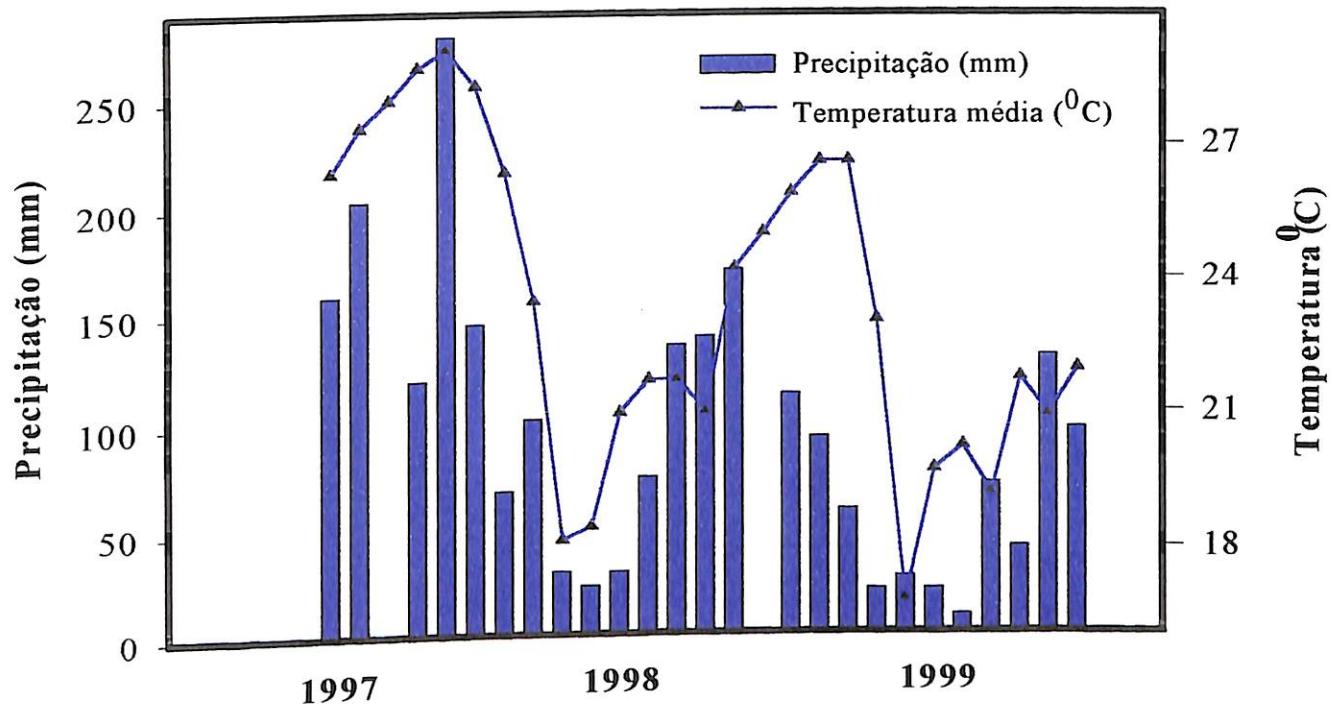
WEIER K.L. Nitrogenase activity associated with three tropical grasses growing in undisturbed soil cores. **Soil Biol. Biochem.** 12:131-136, 1980.

WUTKE, A.C.P. & ALVAREZ, R. Restauração do solo para a cultura de cana-de-açúcar. III - Período 1958-61 e considerações gerais. **Bragantia**, n^o 27, p 201-217, 1968.

ZAMBELLO J.R. E ORLANDO FILHO J. adubação da cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil. **Bol. Téc.** 3 (3):1-26, Planalsucar, Piracicaba, SP, 1981.
ZAVALIN, A.A; KANDAUROVA, T.M. & VINOGRADOVA, L.V. influence of associative nitrogen-fixing microorganisms on the provision with nitrogen of summer wheat. In: **11th International Congress on Nitrogen Fixation**, Book of Abstracts, p.72, Paris, 1997.

ZOTARELLI, L.; FERREIRA, E.; OLIVEIRA, O.C.; BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S. & ALVES, B.J.R. Limitação de nitrogênio na decomposição da matéria orgânica do solo de uma pastagem degradada de *Panicum maximum*. [abstract] In: **III SINRAD - Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas**. Ouro Preto, MG, p.118-24, 1997.

13. APENDICES



APÊNDICE 1- Dados relativos da temperatura média ($^{\circ}\text{C}$) e da precipitação (mm) do período experimental (Novembro 1997/ Novembro de 1999)

APÊNDICE 2. Características físicas do solo estudado segundo Ramos *et al.* (1973)

Horizontes	Em TFSAs			Densidades			Porosi dade (%)	Composição Granulométrica			Argila disparsa em água (%)	Fator de coagulação (Fc)	Constantes de umidade 15 atm. (%)			
	Calhaus (%)	Cascalho (%)	Terra fina (%)	Aparente (g/cm³)	Real (g/cm³)	Areia grossa (%)		Areia fina (%)	Silt (%)	Argila (%)						
Al	0-20	0	0,4	99,6	1,35	2,62	48	65,1	25,8	6,6	2,5	1,2	52	3,2	2,6	3,8
A2	20-40	0	1,3	98,7	1,41	2,65	47	63,8	27,2	7,2	1,8	1,2	33	2,2	1,2	3,0
A3	40-90	0	2,5	97,5	1,42	2,71	48	58,7	31,3	6,7	3,3	1,0	70	2,7	1,2	4,6
HB _{21tg}	90-120	-	3,0	97,0	1,73	2,64	34	50,9	22,2	11,2	15,7	10,3	34	8,6	2,9	9,2
HB _{22tg}	120-150*	-	2,5	97,5	1,71	2,62	35	46,3	19,7	6,7	27,3	27,0	11	12,6	7,8	14,4

Planossolo, série Ecologia. Hidromórfico cinzento, distrófico, A moderado, textura média.

Correspondente no sistema americano- Abruptic Arenic Ochraquult

Correspondente para o sistema da FAO/UNESCO - Dystric Planosol