

JOSÉ VALDEMIR TENÓRIO DA COSTA

**ADUBAÇÃO VERDE E NITROGÊNIO NO
DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE CANA-PLANTA**

**RECIFE
PERNAMBUCO - BRASIL
2009**

JOSÉ VALDEMIR TENÓRIO DA COSTA

**ADUBAÇÃO VERDE E NITROGÊNIO NO
DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE CANA-PLANTA**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós – Graduação em Ciência do Solo, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

**RECIFE
PERNAMBUCO - BRASIL
2009**

JOSÉ VALDEMIR TENÓRIO DA COSTA

**ADUBAÇÃO VERDE E NITROGÊNIO NO
DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE CANA-PLANTA**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós – Graduação em Ciência do Solo, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador

Prof. Mario de Andrade Lira Junior, Ph.D.

Co – Orientadores

Prof. Fernando José Freire, Dr.

Prof. Gilson Moura Filho, Dr.

**RECIFE
PERNAMBUCO - BRASIL
2009**

Ficha catalográfica
Setor de Processos Técnicos da Biblioteca Central – UFRPE

Costa, José Valdemir Tenório da
Adução verde e nitrogênio no desenvolvimento e produção
de cana-planta / José Valdemir Tenório da Costa – 2009.
99 f. : il., tabs.

Orientador: Mario de Andrade Lira Junior
Tese (Doutorado em Ciência do Solo) –
Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departa-
mento de Agronomia.
Inclui bibliografia.

CDD

1. Microbiologia do solo
2. Rhizobium
3. Adubo verde
4. Fixação biológica de nitrogênio
5. cana-de-açúcar
 - I. Lira Júnior, Mario de Andrade
 - II. Título

ADUBAÇÃO VERDE E NITROGÊNIO NO DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE CANA-PLANTA

JOSÉ VALDEMIR TENÓRIO DA COSTA

Tese defendida e aprovada em 11 de março de 2009 pela banca examinadora:

Orientador: _____

Prof. Ph.D. Mario de Andrade Lira Junior
DEPA/UFRPE

Examinadores:

Prof. Dr. Gilson Moura Filho (UFAL)

Prof. PhD José Carlos Batista Dubeux Junior (UFRPE – DZ)

Dr^a. Márcia do Vale Barreto Figueiredo (IPA/CARHP)

Prof. Dr. Gustavo Pereira Duda (UFRPE-UAG)

ORAÇÃO DE UM ALUNO

Deus, nosso pai, quero falar contigo sobre a minha vida. Há tantas coisas por fazer e aprender! Eu quero estar preparado para as minhas responsabilidades na construção de um mundo melhor. Senhor, faça com que os meus estudos me ajudem a descobrir a natureza das coisas, mas, sobretudo a arte de viver e de conviver,

Ajude-me, então, a usar a inteligência para compreender principalmente as pessoas. Fortifica-me à vontade para que eu assuma a minha formação com persistência e honestidade, sem temer os obstáculos e os sacrifícios.

Não permitas que a busca de diplomas, promoções e lucros tirem do meu coração a alegria de servir com desinteresse e de me doar por amor. Cristo, que o teu Evangelho seja a minha luz e terei a certeza de que não vou me enganar na conquista da verdadeira realização e felicidade.

Amém!

Deus não quer que subamos a montanha da vida a sós. Toda a nossa experiência nos ensina que temos um grande amigo invisível, mas muito real, que espera o momento em que nós cômnicos da nossa fraqueza nos voltamos para Ele, em busca da proteção e auxílio que Ele nos quer dar.

E também ofereço este trabalho ao mais humilde dos brasileiros que, através de seus impostos ajudou a patrocinar os meus estudos, sem, todavia, poder optar em oferecê-los a seus filhos!

A Deus e a estes trabalhadores ofereço este trabalho.

Papai obrigado por sonhar que teus filhos podiam aprender um pouco mais.

Papai, com saudades, minha eterna gratidão por sua luta e também pelas lições de trabalho, honestidade, bondade, senso de justiça e de amor para com todos nós. Sempre preocupado em fazer o bem e nunca esperar nada em troca por tudo que fazia a todos. Pena que o senhor não pode esperar por esse momento.

Ao senhor (in memoriam) meu amado pai e a minha amada mãe, a meus irmãos e irmãs que me ensinaram mais do que eu jamais pude aprender e pelo exemplo de pessoas humanas que são com amor.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus que em todos os momentos ilumina os caminhos que percorremos, em busca do bem estar comum e de um futuro promissor.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco e em especial ao Programa de Pós – Graduação em Ciência do Solo pela aceitação, infra-estrutura e formação profissional oferecida pelo quadro de professores e funcionários.

A Usina Coruripe por todo apoio oferecido para que este trabalho fosse realizado. A FAPEAL Fundação de Amparo a Pesquisa no Estado de Alagoas e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelas bolsas concedidas.

Ao meu orientador, Prof. Ph.D. Mario de Andrade Lira Junior, por ter me acolhido como seu orientando, pela sua disponibilidade e boa vontade, qualidades essenciais em um orientador. Agradeço por ter me dado liberdade para crescer como aluno e como profissional e me incentivado a percorrer o caminho árduo e, por vezes, doloroso de decisões que precisava tomar em minha vida. Obrigado pelo respeito com que lapidou as minhas idéias e pela confiança em mim depositada: respeito e confiança, características que nortearam esses anos de convivência.

Aos Co-orientadores Professores Drs. Gilson Moura Filho e Prof. Dr. Fernando José Freire pela amizade e dedicação com a pesquisa.

Ao Prof. Dr. Gilson Moura Filho da Universidade Federal de Alagoas pelas orientações, estímulos e amizade inestimável como orientador de iniciação científica durante a graduação e co-orientador do doutorado e como amigo ao longo de todos esses anos.

Agradecimento especial aos professores: Dr. Gilson Moura Filho (UFAL), Ph.D José Carlos Batista Dubeux Junior (UFRPE – DZ), Dr^a. Márcia do Vale Barreto Figueiredo (IPA/CARHP), Dr. Gustavo Pereira Duda (UFRPE-UAG), que me honraram com sua presença na banca examinadora desta tese.

Ao Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo Prof. Dr. Clístenes Williams Araújo do Nascimento por ser um excelente professor e pela exemplar administração.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo pelos ensinamentos transmitidos ao longo do curso.

Aos funcionários do Programa de Pós-Graduação em Ciência do solo Maria do Socorro dos Santos Santana (Socorro), Severino dos Ramos Basto (Seu Noca) e

Josué Camilo de Melo por estarem sempre prontos a nos atender e pelo carinho e apoio.

Ao Dr. Marcio Wanderley de Paiva Diretor Agrícola da Usina Coruripe por todo apoio oferecido e pela oportunidade a mim dada na empresa.

Ao Engenheiro Agrônomo Cícero Augusto Bastos de Almeida, Gerente Agrícola da Usina Coruripe - Matriz por todo o apoio e investimento em minha formação desde que eu era estagiário do 1º ano do curso de Agronomia depositado em mim confiança e incentivo ao longo de formação até o momento que passei a fazer parte da equipe de administração da Usina Coruripe – matriz e pelos ensinamentos diários de como ser um grande profissional e pela paixão renovada diariamente pela pesquisa.

Aos Coordenadores do Departamento de Irrigação Engenheiro Agrônomo Pedro José Pontes Carnaúba Usina Coruripe – Matriz e Luiz Carlos Ramos Ferreira – Filial Iturama por todo apoio e amizade ao longo dos anos.

Ao amigo Luiz Carlos Ramos Ferreira por todo incentivo, compreensão e amizade durante esta trajetória que teve início na graduação e se estendendo até a conclusão da pós-graduação (doutorado), apoiando o nosso trabalho de todas as maneiras possíveis. Entendendo muitas vezes minha ansiedade em todas as grandes etapas que passei ao longo dos estudos, minha tagarelice nos momentos de empolgação e por me ouvir falar sempre que estive por lá sobre como os estudos de pesquisa são importantes e sempre concordava, apoiava e dava sua opinião.

Aos Coordenadores: Engenheiro Agrônomo Laércio Vitorino da Silva (Fitossanidade), José Alberto Alves Toledo (Motomecanização), Sebastião Guimarães (Mão de Obra), João Bueno (Fornecimento de matéria prima) pela forma como me receberam na empresa, apoio e amizade.

Aos supervisores: Eraldo Pereira Barros Junior (Desenvolvimento Agrícola) e Sebastião Mizael Duarte (Mecanização Agrícola) pela amizade e dedicação ao trabalho.

Aos Técnicos: Luiz Carlos e Silva, Ronaldo Paulino da Silva, Diogo Alberto da Silva Tavares e Edson Mario do Departamento de Mecanização e Desenvolvimento Agrícola por todo apoio e colaboração com o trabalho e ao Trabalhador rurícola José de Castro Lessa por toda a dedicação com o nosso trabalho.

A Engenheira Agrônoma: Valdelane Tenório da Silva por todo apoio e colaboração com o trabalho.

A Engenheira Agrônoma: Leila Cruz da Silva pela amizade desde que éramos bolsistas de iniciação científica.

Meus sinceros agradecimentos aos meus pais Afonso Ferreira da Costa (in memoriam) e Dolores Tenório da Costa por terem sempre me apoiado e incentivado na busca de um futuro promissor.

Aos meus irmãos e irmãs: José, Afonso, Claudemir, Adson, Zelita, Zenita, Renilda, Ivanilda, Lenilda, Cristiane, Taciane e Lindinalva que sempre me apoiaram e incentivaram as minhas decisões, e aos meus sobrinhos e sobrinhas, tios e tias pelo carinho e amizade.

Ao amigo e irmão Luiz Henrique Paulino da Silva pela amizade, companheirismo e convivência harmoniosa durante os anos que morei em Recife.

Aos amigos Clayton Albuquerque de Sousa, Marcela Campanharo e Fabiana Aparecida da Silva Araújo pela convivência e amizade com vocês minha vida ai na UFRPE foi bem mais fácil.

Aos funcionários da Usina Coruripe que participaram e apoiaram este trabalho que aqui não foram citados.

Aos amigos de iniciação científica da Universidade Federal de Alagoas Gutemberg de Almeida Costa, Cícero Gomes dos Santos e Leila Cruz da Silva pela amizade, carinho e convivência.

SUMÁRIO

<i>DEDICO</i>	<i>II</i>
<i>AGRADECIMENTOS</i>	<i>III</i>
<i>SUMÁRIO</i>	<i>VI</i>
<i>LISTA DE FIGURAS</i>	<i>VIII</i>
<i>LISTA DE TABELAS</i>	<i>XI</i>
<i>RESUMO GERAL</i>	<i>XII</i>
<i>OVERALL ABSTRACT</i>	<i>XIV</i>
<i>REVISÃO GERAL</i>	<i>1</i>
<i>CAPÍTULO 1</i>	<i>16</i>
<i>INOCULAÇÃO DE CROTALARIA SPECTABILIS PARA ADUBO VERDE EM TABULEIRO COSTEIRO DE ALAGOAS</i>	<i>16</i>
<i>RESUMO</i>	<i>16</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>17</i>
<i>INTRODUÇÃO</i>	<i>18</i>
<i>MATERIAL E MÉTODOS</i>	<i>20</i>
<i>RESULTADOS E DISCUSSÃO</i>	<i>23</i>
<i>CONCLUSÕES</i>	<i>27</i>
<i>AGRADECIMENTOS</i>	<i>28</i>
<i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	<i>28</i>
<i>CAPÍTULO 2</i>	<i>33</i>
<i>DECOMPOSIÇÃO E LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES DA PARTE AÉREA DA CROTALARIA SPECTABILIS COM OU SEM APLICAÇÃO DE HERBICIDA</i>	<i>33</i>
<i>RESUMO</i>	<i>33</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>34</i>
<i>INTRODUÇÃO</i>	<i>35</i>
<i>MATERIAL E MÉTODOS</i>	<i>37</i>
<i>RESULTADOS E DISCUSSÃO</i>	<i>39</i>

	VII
CONCLUSÕES	49
AGRADECIMENTOS	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
CAPÍTULO 3	57
CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE CANA EM ARGISSOLO AMARELO NA REGIÃO DE CORURIFE-ALAGOAS	57
RESUMO	57
ABSTRACT	58
INTRODUÇÃO	59
MATERIAL E MÉTODOS	60
RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
CONCLUSÕES	75
AGRADECIMENTOS	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1. Número de nódulos por hectare (NN/ha) da *Crotalaria spectabilis* para cada tratamento avaliado aos 90 dias após a emergência. 25

Figura 2. Massa seca dos nódulos em gramas por hectare da *Crotalaria spectabilis* para cada tratamento avaliado aos 90 dias após a emergência. 26

Figura 3. Análise de Nitrogênio em grama por hectare realizados nos nódulos de *Crotalaria spectabilis* para cada tratamento avaliado aos 90 dias após a emergência. 27

Capítulo 2

Figura 1. Precipitação pluvial e temperatura média a cada dez dias para o período de Setembro de 2006 a Setembro de 2007, Fazenda Santo Antonio A, Usina Coruripe, Alagoas. 37

Figura 2. Massa seca remanescente da parte aérea da *Crotalaria spectabilis* em (g) em função de cada época amostrada e dos tratamentos aplicados com e sem herbicida. 40

Figura 3. Teor de N remanescente em (dag/kg) da parte aérea da *Crotalaria spectabilis* em função de cada época amostrada e dos tratamentos aplicados com e sem herbicida. 41

Figura 4. Teor de P remanescente em (dag/kg) da parte aérea da *Crotalaria spectabilis* em função de cada época amostrada e dos tratamentos aplicados com e sem herbicida. 42

Figura 5. Teor de K mineralizado da massa seca remanescente em (dag/kg) da parte aérea da *Crotalaria spectabilis* com e sem herbicida. 43

Figura 6. Teor de Ca remanescente em (dag/kg) da parte aérea da *Crotalaria spectabilis* em função de cada época amostrada e dos tratamentos aplicados com e sem herbicida. 44

Figura 7. Teor de Mg remanescente em (dag/kg) da parte aérea da *Crotalaria spectabilis* em função de cada época amostrada e dos tratamentos aplicados com e sem herbicida. 45

Figura 8. Teor de S mineralizado da massa seca remanescente em (dag/kg) da parte aérea da *Crotalaria spectabilis* com e sem herbicida. 46

Figura 9. Teor de B remanescente em (mg/kg) da parte aérea da *Crotalaria spectabilis* em função de cada época amostrada e dos tratamentos aplicados com e sem herbicida. 46

Figura 10. Teor de Cu (mg/kg) da parte aérea da *Crotalaria spectabilis* em função de cada época amostrada e dos tratamentos aplicados com e sem herbicida. 47

Figura 11. Teor de Fe remanescente em (mg/kg) da parte aérea da *Crotalaria spectabilis* em função de cada época amostrada e dos tratamentos aplicados com e sem herbicida. 48

Figura 12. Teor de Mn remanescente em (mg/kg) da parte aérea da *Crotalaria spectabilis* em função de cada época amostrada e dos tratamentos aplicados com e sem herbicida. 48

Figura 13. Teor de Zn mineralizado da massa seca remanescente em (dag/kg) da parte aérea da *Crotalaria spectabilis* com e sem herbicida. 49

Capítulo 3

Figura 1. Precipitação pluvial e temperatura média a cada dez dias para o período de Setembro de 2006 a Setembro de 2007, Fazenda Santo Antonio A, Usina Coruripe, Alagoas. 60

Figura 1. Número de plantas da cana – de – açúcar por metro linear em função dos tratamentos com adubo verde sem N (1A), com N (1B) ou sem adubação verde (1C), mas fertilizado com N. 67

Figura 2. Altura das plantas de cana-de-açúcar (cm) em função dos tratamentos com adubo verde sem N (2A), com N (2B) ou sem adubação verde (2C), mas fertilizado com N. 69

Figura 3. Diâmetro do colmo das plantas de cana-de-açúcar (mm) em função dos tratamentos com adubo verde sem N (3A), com N (3B) ou sem adubação verde (3C), mas fertilizado com N. 71

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

Tabela 1. Análise química do solo Argissolo Amarelo Distrocoeso fragipânico em duas profundidades (0-10 e 10-20 cm) antes e depois da aplicação dos tratamentos. 21

Tabela 2. Teste de médias para as variáveis número de plantas por metro quadrado (NP/m²), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR) em gramas, número de nódulos (NN), massa seca dos nódulos (MSN) em miligramas determinados em 10 plantas da *Crotalaria spectabilis* em função da idade das plantas. 23

Tabela 3. Teste de médias para as variáveis número de plantas por metro quadrado (NP/m²), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) em gramas, números de nódulos (NN), massa seca dos nódulos (MSN), determinados em 10 plantas da *Crotalaria spectabilis* em função dos tratamentos aplicados. 24

Capítulo 3

Tabela 1. Análise química do solo Argissolo Amarelo Distrocoeso fragipânico em duas profundidades (0-10 e 10-20 cm). 62

Tabela 2. Definição dos elementos que fizeram parte da composição dos tratamentos que foram: estirpes de rizóbios (recomendadas e nativas), crotalária (presente ou ausente), N (presente ou ausente), adicionais (presente ou ausente) e legenda de tratamentos. 64

Tabela 3. Análises de produtividades agrícolas e tecnológicas da cana – de – açúcar para os tratamentos analisados. 74

RESUMO GERAL

Os experimentos foram realizados na Usina Coruripe, a 75 m acima do nível do mar com coordenadas 10°08'31"S e 36°18'16,3"O, em Coruripe (AL), para: avaliar a eficiência simbiótica de rizóbios nativos e introduzidos pela inoculação com estirpes de *Bradyrhizobium* sp. na *Crotalaria spectabilis*, assim como a aplicação foliar de molibdênio e/ou mistura comercial de micronutrientes na FBN; avaliar as taxas de decomposição e liberação de nutrientes da fitomassa da parte aérea da crotalaria e o efeito do herbicida glifosato no processo de decomposição e liberação de nutrientes; e avaliar taxas de crescimento, desenvolvimento e produção da variedade de cana-de-açúcar RB 92579 em cana-planta. Para o primeiro experimento o delineamento experimental utilizado foi o em blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram na inoculação de sementes de *Crotalaria spectabilis* avaliando-se três estirpes de rizóbios recomendadas para produção comercial de inoculantes (BR 2003, BR 2811 e SEMIA 6156), bem como plantas não-inoculadas recebendo ou não molibdênio ou mistura comercial de micronutrientes. Foram realizadas 3 avaliações a cada 30 dias após a semeadura em cada parcela. As variáveis determinadas foram: número de plantas por m² (NP), número de nódulos (NN), massa seca de nódulos (MSN), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR). As variáveis MSPA, MSR, NN e MSN só foram determinados nas avaliações realizadas aos 60 e 90 dias e os teores de N nos nódulos (TNN) na avaliação realizada aos 90 dias. Para essas variáveis o material coletado foi levado para estufa de circulação forçada de ar a temperatura de 65 °C, até massa seca constante e em seguida pesado. A população rizobiana estabelecida apresentou-se com potencial similar às atualmente recomendadas para produção de MSPA, mas as três estirpes recomendadas apresentaram maior número médio de nódulos do que os tratamentos não inoculados, com ou sem complemento com micronutrientes, bem como maior teor de nitrogênio nos nódulos. Os resultados de nodulação indicam que novos trabalhos com micronutrientes são recomendáveis, no que tange à nodulação e fixação biológica de nitrogênio sob condições de campo. O segundo experimento foi realizado com material do primeiro sendo feito o acompanhamento da decomposição e liberação de nutrientes da fitomassa pré-seca da parte aérea da *Crotalaria spectabilis* com e sem aplicação de glifosato. A massa seca remanescente da parte aérea da *Crotalaria spectabilis* que recebeu herbicida apresentou maior velocidade de decomposição e maior redução

nos teores para a maioria dos elementos estudados neste trabalho em comparação com o material que não recebeu aplicação de herbicida. No terceiro experimento, o delineamento experimental utilizado também foi o em blocos ao acaso com quatro repetições. Além dos tratamentos aplicados na crotalaria cultivada como adubo verde no primeiro experimento, foram adotados os tratamentos sem adubação verde com 0, 30, 60, 90 e 120 kg de N/ha, Crotalaria + Gesso + 0 N, Crotalaria + Gesso + 60 N totalizando 20 tratamentos. O máximo perfilhamento ocorreu aos 60 DAP. A diferença na altura das plantas já podia ser notada a partir dos 120 DAP, com destaque para: CrotNat+60N, CrotSemia6156+60N, CrotBR2811+60N, CrotMix+60N, 30 kg de N, CrotNat+60N+AF(micro). Para o DC ocorreu diferença significativa para os tratamentos com nitrogênio com valores que variaram de 12 a 14 mm aos 60 DAP e de 22 mm a 27 mm aos 120 DAP. Para a produção de fitomassa total aos 360 DAP os destaques foram CrotMix+0N, Crotgesso+0N, CrotBR2003+0N e para os tratamentos com N os destaques foram: CrotMix+60N, 120 kg de N, CrotNat+60N e CrotBR2811+60N. O tratamento CrotNat+60N destacou-se na produtividade agrícola com 189 toneladas de cana por hectare (TCH) seguido pelos tratamentos: Crotgesso+60N e CrotNat+60N+AF(micro) que tiveram produtividades acima de 180 toneladas por hectare. O tratamento CrotNat+60N+AF(micro) se destacou pelo rendimento industrial com 25,449 TAH, sendo estes resultados superiores à média nacional.

OVERALL ABSTRACT

The experiments were done in Usina Coruripe, 75 m above sea level, at coordinates 10°08'31"S and 36°18'16"W, in Coruripe (AL), to: evaluate symbiotic efficiency of native and inoculants' *Bradyrhizobium* strains in *Crotalaria spectabilis*, as well as molybdenum leaf application or commercial micronutrient mix in BNF; evaluate decomposition and nutrient release rates of above-ground *crotalaria* material and the effect of glyphosate on this decomposition process; and to evaluate growth rates, development and yield of RB 92579 sugarcane crop for the first crop. The first experiment was on a randomized block design, with four replicates. Treatments were inoculation of *Crotalaria spectabilis* seeds with three rhizobial strains recommended for commercial inoculants production (BR 2003, BR 2811 and SEMIA 6156), as well as uninoculated plants receiving or not molybdenum or commercial micronutrient mix. Three evaluations were done every 30 days from 30 days after seeding in each plot. Variables determined were: plant number per m² (NP), nodule number (NN), nodule dry mass (MSN), aboveground dry mass (MSPA), root dry mass (MSR). MSPA, MSR, NN and MSN were determined only on the 60 and 90 days evaluations and nodule N content (TNN) only on the 980 days evaluation. For these variables, collected material was taken to forced air circulation ovens at 65 °C, until constant dry mater and weighed. Established rhizobial population had similar potential to that of recommended strains for aboveground plant biomass, but the three recommended strains had higher nodule number than the uninoculated treatments, with or without micronutrient, as well as higher nodule nitrogen content. Nodulation results indicate that new micronutrients work is advisable, for nodulation and nitrogen fixation under field conditions. The second experiment was conducted with material from the first to follow decomposition and nutrient release of aboveground *Crotalaria spectabilis* material, with or without glyphosate application. Above ground remaining dry matter of plants receiving herbicide had higher decomposition and nutrient release rates for most nutrients studied in this work, comparing to material without herbicide application. For the third experiment, the experimental design was also the randomized block, with four replicates. Besides the treatments applied to *Crotalaria spectabilis* green manure in the first experiment, the treatments 0, 30, 60, 90 and 120 kg N/ha without green manure, *Crotalaria* + Gesso + 0 N, *Crotalaria* + Gesso + 60 N were used, totaling 20 treatments. Maximum ratoonage was at 60 DAP. Plant height differences could be noted from 120 DAP, with higher results for CrotNat+60N,

CrotSemia6156+60N, CrotBR2811+60N, CrotMix+60N, 30 kg of N and CrotNat+60N+AF(micro). For DC there was a significant difference for the treatments with supplemental N with values from 12 to 14 mm at 60 DAP and from 22 mm to 27 mm at 120 DAP. For total phytomass yield at 360 DAP the highest results were for CrotMix+0N, Crotgesso+0N, CrotBR2003+0N and for N supplied treatments CrotMix+60N, 120 kg de N, CrotNat+60N e CrotbR2811+60N. The highest agricultural yield was for CrotNat+60N with 189 metric tons per hectare (TCH) followed by Crotgesso+60N and CrotNat+60N+AF(micro) which also had yields above 180 TCH. Treatment CrotNat+60N+AF(micro) had the highest industrial yield at 25,449 TAH, with results higher than the national average.

REVISÃO GERAL

A agricultura brasileira durante séculos foi caracterizada pela queimada dos restos vegetais e excessiva mobilização do solo. Essa situação resultou na aceleração da degradação do solo, redução das produtividades das culturas e às vezes da manutenção do homem no campo. A expansão da área ocupada pela agricultura tem acarretado o surgimento de áreas que, após alguns anos de uso, podem se degradar e, muitas vezes, são abandonadas por se tornarem improdutivas. A recuperação das áreas degradadas pode ser feita através da adubação verde, buscando não apenas a reposição dos elementos como o nitrogênio, o fósforo e o potássio, como também a melhoria das propriedades físicas do solo, como a permeabilidade e a estabilidade de agregados, aumentando a resistência à erosão (Wood, 1991; Trivelin et al., 1997).

Na exploração agrícola de longo prazo é de grande importância a utilização de sistemas de produção que priorizem a conservação do solo, onde a adubação verde se destaca, por formar cobertura vegetal sobre o solo. A sua efetividade depende da seleção de espécies para o cultivo em sucessão ou antecipação que proporcionem diversidade botânica ao sistema (Spehar, 2001).

A eficácia do uso da adubação verde está relacionada, dentre outros fatores, com a quantidade e qualidade de resíduos produzidos pelas plantas de cobertura e com a persistência destes sobre o solo (Gonçalves & Ceretta, 1999). Com isso deverá haver a manutenção e, ou, incremento dos teores de matéria orgânica, melhorando a disponibilidade de nutrientes para as culturas subseqüentes (Reicoscky & Forcella, 1998), além de outros benefícios, tais como: a redução da erosão do solo (Carvalho et al., 1990), a melhoria nos atributos físicos dos solos (Carpenedo & Mielniczuck, 1990, Torres et al., 2005), a elevação dos teores de N total (Souza & Mello, 2000), o acúmulo de P (Muzilli, 1981) e o aumento da disponibilidade de P, K, Ca e Mg (Calegari et al., 1992) superficialmente no solo. Segundo Kluthcouski (1998) e Menezes (2002) uma quantidade de 5 a 6 toneladas por hectare de resíduos orgânicos sobre o solo é considerada adequada por proporcionar uma boa taxa de cobertura de solo.

Conforme citado em diversos trabalhos como benefícios da adubação verde, pode-se citar ainda a fixação biológica do nitrogênio; aumento do teor de matéria orgânica no solo; reciclagem de nutrientes que estão em camadas mais profundas

do solo; redução da infestação de plantas invasoras; melhoria da porosidade do solo, favorecendo a infiltração e retenção de água; fornecimento de cobertura morta, protegendo o solo contra chuvas fortes que provocam erosão; descompactação do solo, devido ao aumento do teor de matéria orgânica; aumento da atividade microbiana no solo; recuperação dos solos degradados; controle de nematóides fitoparasitos; e controle das plantas espontâneas (Osterroht. 2002).

Entre as espécies empregadas na adubação verde, as da família das leguminosas se destacam por formarem associações simbióticas com bactérias fixadoras de N_2 , resultando aporte de quantidades expressivas deste nutriente ao sistema solo-planta (Perin et al., 2003), contribuindo com a nutrição das culturas subseqüentes (Andreola et al., 2000; Zotarelli, 2000).

Outra característica importante das leguminosas é a baixa relação C/N, quando comparada a plantas de outras famílias. Este aspecto, aliado à grande presença de compostos solúveis, favorece sua decomposição e mineralização por microrganismos do solo e a reciclagem de nutrientes (Zotarelli, 2000). O emprego de leguminosas para adubação verde e cobertura do solo, em virtude de suas múltiplas utilidades, pode contribuir para a sustentabilidade dos solos. Essas plantas podem aumentar o teor de matéria orgânica e a retenção de água do solo (Janzen & Schaalje, 1992; Griffith et al., 1986), fixar o nitrogênio atmosférico e reduzir a contaminação dos aquíferos por nitratos (Bohlool et al., 1992). Pode ainda, melhorar a estrutura do solo (Latif et al., 1992), controlar doenças (Osunlaja, 1990), nematóides e ervas daninhas, fornecer lenha, alimentos (Calegari et al., 1992b) e medicamentos. É recomendável usar espécies de plantas fixadoras de nitrogênio com sistema radicular profundo e abundante, espécies capazes de aproveitar os fertilizantes residuais das culturas comerciais (Iapar, 1995). Para se obter melhores resultados com a adubação verde é preciso conhecer as plantas utilizadas como adubo verde, tanto na fase de crescimento quanto na fase de decomposição. Desta forma, pode-se escolher a melhor seqüência de plantas para compor um bom esquema de rotação de cultura com adubação verde.

Outro efeito benéfico desta prática nas características químicas do solo diz respeito à reciclagem de nutrientes (Costa, 1993). Quando se utilizam plantas que expandem seu sistema radicular para horizontes profundos do solo como adubos verdes, elas absorvem nutrientes das camadas subsuperficiais do solo. Após o corte dessas plantas, ocorre então a liberação gradual dos nutrientes para a camada superficial, através da decomposição dos resíduos, tornando-os disponíveis para

culturas subseqüentes. Como conseqüência, obtêm-se um aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) do solo, o que traz maior retenção de nutrientes junto às partículas do solo, reduzindo perdas por lixiviação (Kiehl, 1985). A partir da decomposição dos resíduos vegetais pode ocorrer uma diminuição no efeito tóxico do alumínio. Isto porque durante a decomposição dos resíduos, são produzidos ácidos orgânicos capazes de complexar íons Al presentes na solução do solo, reduzindo desta forma o alumínio tóxico do solo (Liu & Hue, 1996).

A presença de material orgânico fornecido pelos adubos verdes favorece a atividade dos organismos do solo (Kirchner et al., 1993), já que seus resíduos servem como fonte de energia e nutrientes. Além disso, a manutenção da cobertura vegetal permite reduzir as oscilações de umidade e térmica, criando condições que favorecem o desenvolvimento dos organismos do solo. Por sua vez, a maior atividade biológica do solo aumenta a reciclagem de nutrientes, o que permite inclusive um melhor aproveitamento dos fertilizantes aplicados ao solo (Pankhurst & Lynch, 1994).

A adubação verde é uma prática viável e promissora, pois os resultados acumulados pelos agricultores e pelas pesquisas comprovam sua eficiência na cobertura e proteção do solo, na diminuição da infestação de nematóides e na melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo. No entanto, os resultados experimentais disponíveis ainda são bastante insuficientes, haja vista o grande número de espécies vegetais com potencial de uso como adubo verde, ainda não avaliadas sob as distintas condições edafoclimáticas brasileiras (Calegari et al. 1992).

Apesar da importância da adubação verde, essa prática é ainda pouco utilizada e estudada necessitando-se, assim de informações básicas como: espécies mais adequadas, característica fenológicas e exigência dessas espécies. Atualmente, dentre as diversas leguminosas usadas para adubação verde destaca-se a *Crotalaria spectabilis* como sendo uma das espécies mais promissoras (Amabile, 1996).

A espécie *Crotalaria spectabilis* é da família das leguminosas, conhecida como crotalária, guizo-de-cascavel e chocalho-de-cascavel (Calegari et al., 1992). É originária da Índia (Monegat, 1991), sendo uma espécie adaptada às diversas regiões do Brasil (Campelo Júnior & Santos, 2001). Entre as vantagens da utilização desta leguminosa como adubo verde, destaca-se o grande potencial de produção de massa verde, fácil e abundante nodulação com espécies de rizóbios. Apresenta alto

potencial de fixação biológica de nitrogênio sendo o aporte ao sistema solo-planta estimado entre 100 e 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N (Lovera, 2003), que é de fácil incorporação ao solo e decomposição. Além disso, a crotalaria é de crescimento rápido suficiente para vencer a competição com as ervas daninhas, mas não é invasora da cultura seguinte (Arantes et al., 1995). É utilizada como planta melhoradora do solo e em sistemas de rotação de culturas, sendo também bastante efetiva no impedimento da multiplicação das populações de nematóides (Calegari et al., 1992).

A decomposição do material vegetal adicionado ao solo é um processo relacionado com diversos fatores como composição química dos resíduos vegetais, e temperatura, umidade, pH e teor de nutrientes do solo (Lynch, 1986). Dentre esses fatores, merece destaque à composição química dos resíduos. A relação entre as quantidades de carbono e nitrogênio (relação C/N), além dos teores de lignina e polifenóis influenciam a mineralização e a disponibilidade de N para as culturas consorciadas ou em rotação. A decomposição dos resíduos é uma variável importante na ciclagem de nutrientes, e o conhecimento de sua dinâmica é fundamental para a compreensão do processo. Poucos estudos de campo, envolvendo a perda de massa e a liberação de nutrientes pela decomposição de resíduos, foram desenvolvidos, e menos ainda são aqueles com enfoque na dinâmica de distribuição de nutrientes nos vários compartimentos do sistema resíduo da cultura-solo ao longo do tempo. O conhecimento da ciclagem dos nutrientes resultará em sua utilização mais eficiente pelas culturas e na redução dos impactos negativos ao ambiente (Holtz 1995).

A velocidade de decomposição dos resíduos culturais determina o tempo de permanência da cobertura morta na superfície do solo. Quanto mais rápida for a sua decomposição, maior será a velocidade de liberação dos nutrientes, diminuindo, entretanto, a proteção do solo. Por outro lado, quanto mais altos forem os conteúdos de lignina e a relação C/N nos resíduos, tanto mais lenta será a sua decomposição (Floss, 2000). Podem-se agrupar as espécies em duas classes, uma de decomposição rápida (leguminosas) e outra de decomposição lenta (gramíneas), sendo bem aceito um valor de relação C/N próximo a 25 como referência de separação entre elas (Wieder & Lang 1982).

Nas duas últimas décadas, foram realizados diversos trabalhos com plantas de cobertura de solo tanto no Brasil como em outros países, procurando-se caracterizar a decomposição e a liberação de N de seus resíduos culturais (Wagger,

1989; Ranells & Wagger, 1992; Da Ros, 1993; Ranells & Wagger, 1996). Esses estudos evidenciaram que as leguminosas, especialmente quando usadas como culturas solteiras, foram rapidamente decompostas após o seu manejo. A elevada taxa de decomposição das leguminosas, resultante da baixa relação C/N de seus resíduos culturais, também contribui para diminuir a sua eficiência na manutenção da umidade e na proteção do solo contra a erosão (Derpsch et al., 1985). A permanência dos resíduos vegetais na superfície do solo é de fundamental importância para a manutenção do sistema produtivo. Isso reforça a preocupação de produzir resíduos vegetais com decomposição mais lenta, o que significa manter o resíduo sobre o solo por maior período de tempo (Ceretta et al. 2002).

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 e 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). Urquiaga & Zapata (2000) consideraram que, para uma adequada avaliação do comportamento dos adubos verdes, seria importante estudar-se a contribuição de cada uma das principais partes das plantas. A importância deste fato se dá pelas diferenças encontradas nos teores de nutrientes e de compostos de fácil decomposição (que influenciam diretamente na velocidade de liberação de nutrientes), que variam sensivelmente entre as partes da planta. Como exemplo, têm-se que as folhas geralmente apresentam um maior teor de nitrogênio 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 decomposição (meia vida, $t_{1/2}$) deste material, porém, de magnitude pouco conhecida. Na literatura, poucos estudos vem sendo realizados no sentido de medir-se, separadamente, a taxa de decomposição das folhas e talos dos resíduos de plantas utilizadas na adubação verde (Resende, 2000; Perin et al., 2004).

Em algumas regiões produtoras de cana-de-açúcar do Brasil, ainda que de forma pouco expressiva, são plantadas leguminosas (adubação verde) no período que antecede o plantio da cana. Esta prática tem os objetivos 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, à cultura da cana-de-açúcar.

Verifica-se, na literatura, que grande número de experimentos com cana-planta não apresentaram resposta em produtividade ao nitrogênio, o que se têm atribuído às perdas por lixiviação do N-fertilizante; ao vigor do sistema radicular da cana-planta comparada ao de soqueiras; às condições climáticas, como temperatura e pluviosidade; à melhoria da fertilidade do solo após a reforma dos canaviais, associada à calagem, ao preparo mecânico e à incorporação de restos da cultura anterior, à fixação biológica do N atmosférico (Carnaúba, 1989; Urquiaga, 1992; Orlando Filho et al., 1999).

Foi comprovado que várias cultivares de cana são capazes de obter grandes contribuições de N derivado da fixação biológica de nitrogênio associada à cultura (Lima et al., 1987; Urquiaga et al., 1989; 1992). As bactérias que se destacam na FBN para a cana-de-açúcar são: *Azospirillum* spp, *Herbaspirillum seropedicae*, *Herbaspirillum rubrisubalbicans*, *Burkholderia* sp e *Gluconacetobacter diazotrophicus* que foram isoladas dos tecidos das plantas, tanto nas raízes como nos colmos e folhas (Boddey et al., 1991, 1995; Baldani et al., 1996; Reis et al., 2000; Reis Júnior, 2000; Sevilla & Kennedy, 2000; Kennedy & Islam, 2001; Kennedy et al., 2004). Estas bactérias possuem características favoráveis, que levam a acreditar que sejam as principais responsáveis pelas altas taxas de FBN associadas a cultura de cana-de-açúcar (Baldani et al., 1997), chegando a fixar até 150 kg ha⁻¹ de N (Kennedy et al., 2004).

Apesar da baixa resposta à adubação nitrogenada, a cana-de-açúcar acumula entre 100 e 200 Kg de N ha⁻¹ por cultivo (Sampaio et al., 1984), sendo que virtualmente todo este nitrogênio é exportado através da colheita de colmos e queima do palhico (Oliveira et al., 1994). Estes dados indicam que o cultivo contínuo de cana-de-açúcar deveria diminuir as reservas de N do solo, e uma conseqüente diminuição da produtividade da cultura, o que não é observado no Brasil, mesmo considerando o seu cultivo por décadas, ou mesmo séculos. Estas observações levaram a descoberta da existência de contribuições significativas do processo de FBN realizado por bactérias diazotróficas para a cultura canavieira, através de pesquisas realizadas na Embrapa Agrobiologia (Urquiaga et al., 1992).

A eliminação do uso de fertilizantes nitrogenados em culturas utilizadas para a produção de biocombustíveis, como a cultura da cana-de-açúcar, representa a meta-

chave a ser atingida, na busca de um balanço energético mais positivo. O programa brasileiro do Proálcool, e recentemente o programa Biodiesel buscam a substituição do uso maciço de derivados de petróleo por biocombustíveis derivados da cana-de-açúcar e de oleaginosas tropicais, respectivamente. Por séculos, a cana-de-açúcar é cultivada no Brasil, caracteristicamente recebendo baixas aplicações de fertilizantes nitrogenados. Por este motivo, as variedades de cana-de-açúcar aqui desenvolvidas podem ter sido selecionadas indiretamente para associações com bactérias diazotróficas, apresentando o potencial de obter contribuições da FBN em altas quantidades, sendo a cultura não-leguminosa que apresenta as maiores contribuições. Variedades brasileiras cultivadas sem limitação de outros nutrientes como fósforo e molibdênio, além de irrigação, podem obter mais de 150 Kg N ha⁻¹ por ano através da FBN (Urquiaga et al., 1992).

Nesse contexto os objetivos deste trabalho foram: a) Avaliar a eficiência simbiótica de rizóbios nativos e introduzidos pela inoculação com estirpes de *Bradyrhizobium* sp. Isoladamente e em mistura na *Crotalaria spectabilis*, assim como a aplicação foliar de molibdênio e/ou mistura comercial de micronutrientes na FBN. b) Avaliar as taxas de decomposição e liberação de nutrientes da fitomassa da parte aérea e do sistema radicular em subsuperfície da *Crotalaria spectabilis* e o efeito do herbicida glifosato no processo de decomposição e liberação de nutrientes. c) avaliar taxas de crescimento, desenvolvimento e produção da variedade de cana-de-açúcar RB 92579 em cana-planta na região de Coruripe - Alagoas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREOLA, F. COSTA, L.M.; OLSZEWSKI, N.; JUCKSCH, I. A cobertura vegetal de inverno e a adubação orgânica e, ou, mineral influenciando a sucessão feijão/ milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa. v.24. p. 867-874, 2000.

AMABILE, R. F. Comportamento de adubos verdes em épocas de semeadura nos cerrados do Brasil Central. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 123 f.1996.

ARANTES, E. M.; CARVALHO Jr, A. G. de; MORAES, L. F. **Principais leguminosas utilizadas como adubo verde**. Cuiabá: EMPAER-MT, 13 p. 1995.

BALDANI V L D. Efeito da inoculação de *Herbaspirillum* spp. no processo de colonização e infecção de plantas de arroz e ocorrência e caracterização parcial de uma nova bactéria diazotrófica. **Tese** (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo), Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 234 f. 1996.

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**, v. 29, p. 911-922. 1997.

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

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.

BOHLOOL, B.B.; J.K. LADHA; D.P. GARRITY; T. GEORGE. Biological nitrogen fixation for sustainable agriculture: a perspective. **Plant and Soil**. v.141, p. 1-11. 1992.

CALEGARI, A.; FERRO, M.; GRZESIUK, F. & JACINTO JUNIOR, L. Plantio direto e rotação de culturas: experiência em Latossolo Roxo/1985–1992. Paraná, **COCAMAR/ZENECA Agrícola**, 64p, 1992.

CALEGARI, A.; A. MONDARDO; E.A. BULISANI; M.B.B. DA COSTA; S. MIYASAKA; T.J.C. AMADO. Aspectos gerais da adubação verde. In: **Costa, M.B.B. da. Adubação verde no sul do Brasil**. Rio de Janeiro: AS-PTA. p.1-55. 1992b.

CAMPELO JÚNIOR, J.H.; SANTOS, V.S. Limitações fotoperiódicas ao cultivo da crotalaria em Mato Grosso. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia 12. e Reunião Latino Americana de Agrometeorologia, 3., 2001, Fortaleza, **Resumos...**, Fortaleza: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia - Fundação Cearense de Meteorologia. p. 789-790. 2001.

CARNAÚBA, B.A.A. Eficiência de utilização e efeito residual de uréia-15N em cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), em condições de campo. **Tese** (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 193p. 1989.

CARPENEDO, V., MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p.99-105, 1990.

CERETTA, C.A. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, p.49-54, 2002.

COSTA, M.B.B. **Adubação verde no sul do Brasil**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 346p. 1993.

DA ROS, C.O. Plantas de inverno para cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto. **Dissertação** (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 85p. 1993.

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; HEINZMANN, F.X. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.20, p.761-773, 1985.

FLOSS, E. Benefícios da biomassa de aveia ao sistema de semeadura direta. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 57, p. 25-29, 2000.

GONÇALVES, C.N. & CERETTA, C.A. Plantas de cobertura de solo antecedendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v. 23, p. 307-313, 1999.

GRIFFITH, D.R.; J.V. MANNERING; J.E. BOX. Soil and moisture management with reduced tillage. In: M.A. Sprague; G.B. Triplett (Eds.). No-tillage and surface-tillage agriculture: **the tillage revolution**. New York; Wiley. p.19-57. 1986.

HOLTZ, G.P. Dinâmica da decomposição da palhada e a distribuição do carbono, nitrogênio e fósforo numa rotação de culturas sob plantio direto na região de Carambeí/PR. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, **Dissertação** (Mestrado). 129p. 1995.

IAPAR. **Recomendações técnicas para a cultura do trigo no Paraná**. Londrina: IAPAR, (Circular, 86). 98p. 1995.

JANZEN, H.H.; G.B. SCHAALJE. Barley response to nitrogen and nonnutritional benefits of legume green manure. **Plant and Soil**. v. 142, p.19-30. 1992.

KENNEDY, I.R.; ISLAM, N. The current and potential contribution of asymbiotic nitrogen fixation to nitrogen requirements on farms: a review. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Victoria, v.41, p.447-457, 2001.

KENNEDY, I. R.; CHOUDHURY, A. T. M. A.; KECSKÉS, M. A. Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth

promotion be better exploited. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 36, p.1229-1244. 2004.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Ceres, 492p. 1985.

KIRCHNER, M.J.; WOLLUM, A.G.; KING, L.D. Soil microbial populations and activities in reduced chemical input agroecosystems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.57, n.5, p.1289-1295, 1993.

KLUTHCOUSKI, J. Efeito de manejo em alguns atributos de um latossolo roxo sob cerrado e nas características produtivas de milho, soja, arroz e feijão, após oito anos de plantio direto. Piracicaba: Esalq – USP, **Tese** (Doutorado em Agronomia) - ESALQ/USP. Piracicaba. 179 p. 1998.

LATIF, M.A.; G.R. MEHUYS; A.F. MCKENZIE; I. ALLI; M.A. FARIS. Effects of legumes on soil physical and quality in maize crop. **Plant and Soil** v. 140, p. 15-23. 1992.

LOVERA, B. T. F. Estabelecimento do amendoim forrageiro (*Arachis pintoi*) cv. Amarillo em associação com milho (*Zea mays*). 2003. 56 f. **Dissertação** (Mestrado em Zootecnia - Pastagem) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2003.

LIMA, E.; BODDEY, R.M.; DÖBEREINER, J. Quantification of biological nitrogen fixation associated with sugar cane using a ¹⁵N aided nitrogen balance. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.19, p.165-170, 1987.

LIU, J.; HUE, N.V. Ameliorating subsoil acidity by surface application of calcium fulvates derived from common organic materials. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.21, n.4, p.264-270, 1996.

LYNCH, J.M. **Biotecnologia do solo**. São Paulo: Manole, 209p. 1986.

MENEZES, L. A. S. Alterações de propriedades químicas do solo em função da fitomassa de plantas de cobertura. Goiânia: UFG, **Dissertação** (Mestrado) – UFG – Goiânia. 73 p. 2002.

MONEGAT, C. **Plantas de cobertura do solo: características e manejo em pequenas propriedades**. Chapecó: Ed. do Autor, 337p. 1991.

MUZILLI, O. Princípios e perspectivas de expansão. In: Plantio direto no Estado do Paraná. Londrina, **IAPAR**, p.11- 70. 1981.

OLIVEIRA, O. C.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Burning cane: the long term effects. **International Sugar Journal**, v. 96, p. 272-275. 1994.

OLIVEIRA, L.A.A.; VIANA, A.R.; RIBAS FILHO, S.B. Efeito da rotação com soja na cultura da cana-de-açúcar. Rio de Janeiro: PESAGRO-RIO, **PESAGRO-RIO**. (Comunicado Técnico, 239). 4p. 1997.

ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A.A.; BELTRAME, J.A.; LAVORENTI, N.A. Doses, fontes e formas de aplicação de nitrogênio em cana-de-açúcar. **STAB- Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.17, n.4, p.39-41, 1999.

OSUNLAJA, S.O. Effect of organic soil amendments on the incidence of stalk rot maize. **Plant and Soil**. V.127 p. 237-241. 1990.

OSTERROHT, M.V. O que é a adubação verde: princípios e ações. **Agroecologia**, v.14, p. 9-11. 2002.

PANKHURST, C.E.; LYNCH, J.M. The role of the soil biota in sustainable agriculture. In: PANKHURST, C.E.; DOUBE, B.M.; GUPTA, V.V.S.R.; GRACE, P.R., eds. **Soil Biota: Management in sustainable farming systems**. Victoria: CSIRO, p.3-9. 1994.

PERIN, A.; GUERRA, J.G.M.; TEIXEIRA, M.G. Cobertura do solo e acumulação de nutrientes pelo amendoim forrageiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.791-796, 2003.

PERIN, A. SANTOS, R. H. S.; URQUIAGA. S.; GUERRA. J. G. M.; CECON. P. R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por

adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.39, n.1, p. 35-40, 2004.

RANELLS, N.N.; WAGGER, M.G. Nitrogen release from crimson clover in relation to plant growth stage and composition. **Agronomy Journal**, v.84, p.424-430, 1992.

RANELLS, N.N. & WAGGER, M.G. Nitrogen release grass and legume cover crop monocultures and bicultures. **Agronomy Journal** . 88:777-782, 1996.

REICOSKY, D.C. & FORCELLA, F. Cover crop and soil quality interactions in agroecosystems. J. **Soil Water Conserv.**, 53:224-229, 1998.

REIS, V.M.; BALDANI, J.I.; BALDANI, V.L.D.; DOBEREINER, J. Biological dinitrogen fixation in gramineae and palm trees. **Critical Reviews in Plant Science**, Boca Reton, v.19, p.227-247. 2000.

REIS JÚNIOR, F.B.; REIS, V.M., URQUIAGA, S.; DÖBEREINER, J. "Influence of nitrogen fertilisation on the population of diazotrophic bacteria *Herbaspirillum* spp. and *Acetobacter diazotrophicus* in sugar cane (*Saccharum* spp.)." **Plant and Soil**, Dordrecht, v.219, p.153-159, 2000.

RESENDE, A.S. A fixação biológica de nitrogênio (FBN) como suporte da produtividade e fertilidade nitrogenada dos solos na cultura de cana-de-açúcar: uso de adubos verdes. **Dissertação** (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 123 p. 2000.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H.; BETTANY, J. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar. I. Eficiência na utilização de uréia (^{15}N) em aplicação única ou parcelada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.19. p.943-949. 1984.

SEVILLA, M.; KENNEDY, C., Genetic analysis of nitrogen fixation and plant-growth stimulating properties of *Acetobacter diazotrophicus*, an endophyte of sugarcane. In: TRIPLETT, E.W. (Ed.) , *Prokaryotic Nitrogen Fixation: a model system for the analysis of a biological process*. **Wyomdham, Horizon Scientific**, p. 737–760. 2000.

SOUZA, W.J.O.; MELO, W.J. Teores de nitrogênio no solo e nas frações da matéria orgânica sobre diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, 24:885-896, 2000.

SPEHAR, C. R. Avaliação de espécies para a diversificação de safrinha no cerrado. **Jornal Direto no Cerrado**, ano 6, n. 20, p. 8, 2001.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J. C.; FABIAN, A. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29: p. 609-618, 2005.

TRIVELIN, P.C.O.; BENDASSOLLI, J.A.; OLIVEIRA, M.W. Potencialidade da mistura de aquamônia com vinhaça na fertilização de canaviais colhidos sem despalha a fogo. Parte I: Estabilidade química da mistura. **STAB**. Açúcar, Álcool e Subprodutos, v. 16, n. 2, p. 26-29, 1997.

URQUIAGA, S.; BOTTEON, P.B.L.; BODDEY, R.M. Selection of sugar cane cultivars for associated biological nitrogen fixation using ¹⁵N-labelled soil. In: SKINNER, F. A.; BODDEY, R.M.; FENDRIK, I. Nitrogen Fixation with Non-legumes. Dordrecht, Kluwer, (**Developments in Plant and Soil Sciences**, 35). p. 311-319.1989.

URQUIAGA, S.; CRUZ, K.H.S.; BODDEY, R.M. Contribution of nitrogen fixation to sugar cane: nitrogen-15 and nitrogen balance estimative. **Soil Science American Journal**, Madison v.56, p.105-114, 1992.

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

WAGGER, M.G. Time of desiccation effects on plant composition and subsequent nitrogen release from several winter annual cover crops. **Agronomy Journal**, v.81, p.236-241, 1989.

WIEDER, R.K. & LANG, G.E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. **Ecology**, 63:1636-1642, 1982.

WOOD, A.W. Management of crop residues following green harvesting of sugarcane in North Queensland. **Soil & Tillage Research**, v.20, p.69-85, 1991.

ZOTARELLI, L. Balanço de nitrogênio na rotação de culturas em sistema de plantio direto e convencional na região de Londrina - PR. **Dissertação** (Mestrado) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 134p. 2000.

CAPÍTULO 1

INOCULAÇÃO DE CROTALARIA SPECTABILIS PARA ADUBO VERDE EM TABULEIRO COSTEIRO DE ALAGOAS

Costa, J.V.T.¹; Lira Junior, M. A.^{2,3}; Figueiredo, M. V. B.⁴; Dubeux Junior, J. C. B²

RESUMO

O experimento foi realizado na Usina Coruripe, a 75 m acima do nível do mar com as coordenadas 10°8'31"S e 36°18'16"O no município de Coruripe (AL). O delineamento experimental utilizado foi o em blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram na inoculação de sementes de *Crotalaria spectabilis* avaliando-se três estirpes de rizóbio recomendadas para produção comercial de inoculantes (BR 2003, BR 2811 e SEMIA 6156), bem como plantas não-inoculadas recebendo ou não molibdênio ou mistura comercial de micronutrientes. Foram realizadas 3 avaliações a cada 30 dias após a semeadura em cada parcela. As variáveis determinadas foram: número de plantas por m² (NP), número de nódulos (NN), massa seca de nódulos (MSN), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR). As variáveis MSPA, MSR, NN e MSN só foram determinados nas avaliações realizadas aos 60 e 90 dias, e os teores de N nos nódulos (TNN) na avaliação realizada aos 90 dias. Para a avaliação dessas variáveis o material coletado foi levado para estufa de circulação forçada de ar a temperatura de 65 °C, até massa seca constante, e em seguida pesado. A população rizobiana estabelecida apresentou-se com potencial similar às atualmente recomendadas para produção de inoculante para *Crotalaria spectabilis* para produção de MSPA, mas as três estirpes recomendadas apresentaram maior número médio de nódulos do que os tratamentos não inoculados, com ou sem

¹ Engenheiro Agrônomo, Dr em Agronomia - Ciência do Solo. Coordenador do Departamento de Mecanização e Desenvolvimento Agrícola da Usina Coruripe - Matriz. jose.costa@usinacoruripe.com.br

² Professor Adjunto da UFRPE, bolsista do CNPq. mario.lira@depa.ufrpe.br; dubeux@dz.ufrpe.br

³ Autor para contato. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia, Av. D. Manoel de Medeiros S/N. Dois Irmãos, Recife, PE. 52171-900. mario.lira@depa.ufrpe.br

⁴ Pesquisadora do IPA/CARHP, bolsista do CNPq. marcia@ipa.br

complemento com micronutrientes, bem como maior teor de nitrogênio nos nódulos. Os resultados de nodulação indicam que novos trabalhos com micronutrientes são recomendáveis, no que tange à nodulação e fixação biológica de nitrogênio sob condições de campo.

Palavras-chave: rizóbios, fixação biológica do nitrogênio, estirpes, micronutrientes

ABSTRACT

The experiment was conducted at Usina Coruripe, at 75 m above sea level, with coordinates 10°8'31"S and 36°18'16"W in Coruripe (AL). The experiment was conducted in a randomized block design with four replicates and treatments were inoculation of *Crotalaria spectabilis* seeds evaluating three rhizobial strains recommend for commercial inoculant production (BR 2003, BR 2811 and SEMIA 6156), as well as uninoculated plants receiving or not molibdenium or a commercial micronutrient mix. Three evaluations were done every 30 days after seed for each plot. Measured variables were: plant number per m²; nodule number (NN); nodule dry mass (MSN); shoot dry mass (MSPA); root dry mass (MSR). Variables MSPA, MSR, NN and MSN were determined only at 60 and 90 days, while nodule N content (TNN) at the 90 days evaluation. For these evaluations, the collected material was taken to a circulating air oven at 65 C, until constant mass was achieved and weighed. The established rhizobial population had potential similar to that of the strains currently recommended for use in inoculants production for *Crotalaria spectabilis* for shoot production, but the three recommended strains had higher average nodule number than the uninoculated treatments, with or without micronutrient complement, as well as higher nitrogen content on the nodules. Nodulation results indicate new works with micronutrients are advisable, in what concerns nodulation and biological nitrogen fixation under field conditions.

Keywords: rhizobia, biological nitrogen fixation, strains, micronutrients

INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar é responsável por uma parcela expressiva do produto interno bruto, gera divisas com a exportação de cachaça, álcool e açúcar, possibilita o uso de uma fonte de energia renovável, e é uma atividade de intensa geração de empregos (Gomes, 2003). Dentre os mais diversos produtos agrícolas destinados à industrialização, a cana-de-açúcar destaca-se pela tradição, pela relevância socioeconômica, pela sua função energética e pela distribuição geográfica por todo o País (Freire, 2001).

Os solos de grande parte das áreas agrícolas que poderão ser incorporadas para o plantio da cultura apresentam acidez elevada, baixa capacidade de retenção de cátions (CTC), elevada fixação de fósforo e baixos teores de bases trocáveis (Tomaz et al., 2003). O acúmulo de nutrientes pela cana-de-açúcar, dentre outros fatores, é um dos aspectos importantes que influenciam a manutenção da produtividade, especialmente em solos de baixa fertilidade natural. Para manter a sustentabilidade do ambiente explorado é necessário escolher cultivares que apresentem elevada eficiência de absorção e utilização dos nutrientes aplicados aos solos e fazer uso de práticas que preservem as características do solo, tais como a utilização da rotação de cultura principalmente com leguminosas (Silva, 2002).

A principal vantagem do emprego de espécies leguminosas na adubação verde é reduzir a necessidade de uso de fertilizante nitrogenado, pois essas plantas fixam nitrogênio do ar, através de simbiose com rizóbios, enriquecendo o solo com esse nutriente (Silva, 2002). Outra contribuição para a fertilidade do solo é mantê-lo sob cobertura vegetal (viva ou morta) na maior parte do ano (Gouveia & Almeida, 1997), já que manter a superfície do solo permanentemente coberta por materiais vegetais em fase vegetativos ou como resíduos é, efetivamente, o manejo mais recomendado para proteção e conservação do solo (Alvarenga, 1995).

A interação entre leguminosas e rizóbio é um exemplo de associação biológica intensamente estudada, cujos benefícios para a sustentabilidade agrícola são reconhecidos devido ao processo de Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN). Além dos fatores edafo-climáticos, esse processo é também influenciado pelas características genótípicas do macro e microsimbionte e modulado por uma intensa troca de sinais moleculares, refletindo nas diferentes respostas em relação a faixa hospedeira, especificidade e eficiência simbiótica (Hartwig, 1998). Conhecendo esses fatores que atuam no processo de FBN é importante a definição da faixa

hospedeira que é bastante variável entre as espécies de rizóbio e leguminosa, mas de modo geral tem sido observada especificidade simbiótica entre as espécies (Smith & Goodman, 1999). O genótipo da planta, por exemplo, pode desempenhar um papel essencial na seleção do microssimbionte (Demezas et al., 1995; Paffetti et al., 1998).

Outro fator que influencia a fixação biológica de nitrogênio é a disponibilidade de alguns elementos como molibdênio, co-fator das enzimas nitrato redutase e a nitrogenase (Taiz & Zeiger, 2004). Já o cobalto é um elemento químico necessário para a síntese da cobalamina (Vitamina B₁₂), que participa dos passos metabólicos para a formação da leghemoglobina. Esta enzima é importante na FBN pela alta afinidade com o oxigênio, que permite sua concentração nos nódulos impedindo a inativação da enzima nitrogenase (Favarin & Marini, 2000).

Apesar da importância do cobalto no processo de fixação simbiótica do N₂, existem dúvidas a respeito da necessidade de sua aplicação para se obter elevado rendimento de grãos de soja (Marcondes & Caires, 2005). Há evidências de respostas positivas da aplicação de cobalto na fixação biológica do N₂ e na produtividade das leguminosas quando a planta está bem suprida de molibdênio (Campo & Hungria, 2002), mas os trabalhos da literatura não têm demonstrado que isso seja verdadeiro (Solomonson, & Barber 1990; Galvão, 1991; Campo & Lantmann, 1998).

Comumente, espécies de leguminosas tropicais são capazes de nodular com uma ampla faixa de rizóbios, contribuindo para FBN nessas regiões. Por outro lado, a introdução de inoculantes contendo rizóbios eficientes, é dificultada, pois as estirpes nativas são, em geral, muito competitivas e de baixa eficiência na fixação do N₂ (Santos, 2005). Assim, estratégias que avaliem a composição e a contribuição para a FBN por estirpes de rizóbio do solo em que se pretende introduzir o inoculante, são de grande importância (Zilli, 2001).

Devido à existência de uma grande diversidade de espécies nativas de bactérias fixadoras de nitrogênio, que o fazem em baixo grau de eficiência, é necessária a obtenção de estirpes de rizóbio de alta qualidade, capazes de sobreviver e competir pela fixação eficiente do nitrogênio atmosférico na leguminosa alvo (Martins et al., 2003). Neste sentido, é de grande importância a avaliação do potencial de estirpes nativas, com conseqüente seleção das mais adaptadas às regiões de alta temperatura como a região nordeste.

Os objetivos deste trabalho foram avaliar a eficiência simbiótica de rizóbios nativos e introduzidos pela inoculação com estirpes de *Bradyrhizobium* sp. isoladamente e em mistura na *Crotalaria spectabilis*, assim como a aplicação foliar de molibdênio e/ou mistura comercial de micronutrientes na FBN.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Usina Coruripe, a uma altitude de 75 m acima do nível do mar com coordenadas 10°8'31"S e 36°18'16"O, no município de Coruripe (AL). A temperatura média é 27°C com média das máximas de 32°C e das mínimas de 21°C, e com média da umidade relativa do ar máxima de 95% e mínima de 65%. A precipitação pluvial média anual é de 1500 mm.

O solo onde foi conduzido o experimento está classificado como Argissolo Amarelo Distrocoeso fragipânico, Textura média (leve), muito argilosa, Fase relevo suave ondulado (SiBCS, 2006). Foram feitas amostragens nas camadas de 0-10, 10-20 cm, para determinar os atributos químicos de acordo com a metodologia da Embrapa (1997), cujos resultados são apresentados na Tabela 1. Na amostragem de solo realizada foram coletadas 12 amostras simples por parcela nas camadas de 0-10 e de 10-20 cm. As amostras simples foram coletadas na área útil das parcelas. As amostras simples de cada camada foram reunidas em uma amostra composta, sendo o solo destorroado e passado em peneira com malha de 4 mm, para remover raízes e fragmentos de palha. Após homogeneização retirou-se uma subamostra que foi utilizada para as determinações químicas de acordo com a metodologia da Embrapa (1997).

No preparo do solo, 60 dias antes da semeadura, foi realizada calagem com calcário dolomítico conforme método da saturação por bases elevando a saturação do solo a 60%, na dose de 1,5 t ha⁻¹. Em seguida foi feita uma gradagem e após uma semana subsolagem mecânica na profundidade de 55 cm com subsolador de 5 hastes com rolo nivelador marca Stara.

Em 15 de maio de 2006 foi implantado o experimento com o semeio das sementes de *Crotalaria spectabilis*. As sementes foram inoculadas de acordo com a metodologia descrita por Hungria (1994).

Tabela 1. Análise química do solo Argissolo Amarelo Distrocoeso fragipânico em duas profundidades (0-10 e 10-20 cm) antes e depois da aplicação dos tratamentos.

Profundidade (cm)	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	CTC (t)	CTC (T)	V	MO	Zn	Fe	Mn	Cu	B
	H ₂ O	mg/dm ³			cmolc/dm ³				%	dag/Kg	mg/dm ³						
Antes 00-10	6,1	25	78	1,50	0,70	0,00	2,60	2,48	2,27	5,08	48	1,29	3,9	49,5	6,2	0,8	0,4
Antes 10-20	5,5	27	50	1,10	0,50	0,10	3,20	1,76	1,17	4,96	35	0,78	3,5	132,5	5,3	0,5	0,4
Depois 00-10	6,2	35	72	1,97	1,14	0,00	2,73	3,30	3,30	6,46	53	1,46	7,0	156,3	12,3	2,6	0,5
Depois 10-20	6,1	38	62	1,67	1,03	0,01	3,16	2,86	2,88	6,02	47	1,36	6,4	194,9	10,3	2,3	0,5

pH em água - Relação 1:2,5, P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Extrator Mehlich¹, Ca - Mg - Al - Extrator: KCl - 1 mol/L, H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0, B - Extrator água quente, SB = Soma de Bases Trocáveis, CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva, CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0, V = Índice de Saturação de Bases, Mat. Org. (MO) - Oxidação: Na₂Cr₂O₇ 4N + H₂ SO₄ 10N. Determinados no Laboratório de Análise de Solos Viçosa Ltda.

O delineamento foi o de blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos consistiram na inoculação de sementes de *Crotalaria* avaliando-se três estirpes de *Bradyrhizobium spp* a mistura destas 3 estirpes recomendadas para produção comercial de inoculante para este gênero sendo a BR 2003 e BR 2811 fornecidas pelo Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia (CNPABb – Embrapa) e SEMIA 6156 fornecida pela FEPAGRO (Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Sul) em comparação com as nativas do local do experimento para os tratamentos não inoculados, com ou sem suplementação de micronutrientes.

As parcelas foram formadas por quatorze linhas com 20 m de comprimento e 7 m de largura com espaçamento de 0,50 m entre si, com média de 20 sementes semeadas por metro linear. A área da parcela foi 140 m², e a área útil foi 100 m², correspondendo às 10 linhas centrais, ficando 1 m em cada lateral da parcela considerada bordadura.

Foram realizadas 3 avaliações a cada 30 dias. As variáveis foram: número de plantas por m² (NP), número de nódulos (NN), massa seca de nódulos (MSN), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) e o teor de N nos nódulos (TNN) aos 90 dias pelo método micro Kjeldahl, segundo Malavolta et al. (1997). As variáveis MSPA, MSR, NN e MSN só foram determinados nas avaliações realizadas aos 60 e 90 dias. Para a avaliação dessas variáveis o material coletado em campo foi acondicionado em sacos de papel identificados e levados para estufa de circulação forçada de ar a temperatura de 65 °C, até massa seca constante, e em seguida pesado.

A análise estatística foi conduzida utilizando o Guided Data Analysis Procedure do SAS (SAS Institute, 1999) para determinação de eventuais “outliers” e transformações requeridas para obedecer aos requisitos da análise de variância, seguida por uso do GLM Procedure também do SAS. O modelo utilizado é o misto para medições repetidas no tempo, com seleção do modelo de covariância com base no AIC. Foi também realizado teste de medias entre as variáveis analisadas. Para as variáveis em que houve efeito significativo do tratamento, foi realizado o teste de Tukey, a 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ocorreu efeito significativo em relação aos tratamentos avaliados para NP, MSPA e MSR, mas não para NN e MSN. Para a idade das plantas ocorreu efeito significativo para todas as variáveis que foram analisadas. Os resultados obtidos neste trabalho confirmam diferenças na eficiência de diferentes estirpes de rizóbios em promover benefícios à planta hospedeira corroborando resultados encontrados em trabalhos de pesquisadores como (Santillana et al., 1998; Carvalho & Stamford, 1999; Fernandes & Fernandes, 2000).

Os resultados de massa seca dos nódulos (MSN), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), número de plantas (NP), números de nódulos (NN) da *Crotalaria spectabilis* em função da idade das plantas (Tabela 2) indicam que, conforme poderia ser esperado, todas as variáveis apresentaram desenvolvimento ao longo do tempo, com exceção do NP com menor resultado aos 60 dias do que aos 30 dias, o que não se repetiu na avaliação que foi feita aos 90 dias. É provável que isto tenha sido um artifício da amostragem, que foi conduzida pelo método de quadrantes, e talvez tenha sido pouco eficaz para esta variável com a cultura plantada em linhas.

Tabela 2. Teste de médias para as variáveis número de plantas por metro quadrado (NP/m²), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR) em gramas, número de nódulos (NN), massa seca dos nódulos (MSN) em miligramas determinados em 10 plantas da *Crotalaria spectabilis* em função da idade das plantas.

Idade (dias)	(NP/m ²)	MSPA (g)	MSR (g)	NN	MSN (mg)
30	58,49b				
60	44,78c	30,83b	3,16b	158,34b	0,31b
90	68,83a	89,87a	11,96a	279,50a	0,53a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância

O maior NP foi observado para a mistura das estirpes de plantas e o menor NP foi o tratamento nativa + molibdênio, enquanto a maior MSPA foi com o

tratamento nativa + micronutrientes seguido pelo tratamento Semia 6156, sendo os menores resultados apresentados pelos tratamentos mistura e BR 2003 (Tabela 3).

Estes resultados demonstram que tratamentos que apresentaram maior NN e maior MSN apresentaram melhores resultados com relação à MSPA como os tratamentos Semia 6156, nativa, nativa + molibdênio corroborando com os resultados encontrados em diversos trabalhos (Peres & Vidor, 1980; Santillana et al., 1998; Carvalho & Stamford, 1999; Fernandes & Fernandes, 2000) que confirmam diferenças na eficiência de maior NN e MSN de estirpes de rizóbios em promover benefícios a diferentes plantas hospedeiras. Já para a MSR quem apresentou melhor resultado foi o tratamento nativa + micronutrientes, seguido pelos tratamentos nativa e nativa + molibdênio. Os demais apresentaram resultados inferiores.

Tabela 3. Teste de médias para as variáveis número de plantas por metro quadrado (NP/m²), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) em gramas, números de nódulos (NN), massa seca dos nódulos (MSN), determinados em 10 plantas da *Crotalaria spectabilis* em função dos tratamentos aplicados.

Tratamentos	(NP/m ²)	MSPA (g)	MSR (g)	NN	MSN (mg)
SEMIA 6156	62,62ab	55,94b	6,00ab	231,19	0,40
BR 2811	50,07b	51,26ab	5,58b	232,94	0,39
BR 2003	62,03ab	44,82c	6,03ab	191,88	0,40
Mistura (das estirpes)	73,64a	45,32c	5,01b	226,50	0,46
Nativa (estirpes)	55,21ab	51,75b	6,53ab	219,88	0,40
Nativa+Molibdênio	48,13b	51,64b	6,19ab	194,19	0,48
Nativa+Micronutrientes	48,26ab	71,93a	8,16a	235,88	0,37

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância

Na Figura 1 pode ser observado o número de nódulos por hectare (NN/ha) da *Crotalaria spectabilis* para cada tratamento avaliado aos 90 dias após a emergência e constatando-se que nesta data Semia 6156 apresentou maior NN/ha seguido pela mistura das três estirpes (Semia 6156, BR 2811 e BR 2003) recomendadas para a *Crotalaria spectabilis*. Quem apresentou menor NN foi o tratamento com nativa + molibdênio. Verifica-se que dentre os quatro tratamentos que apresentaram maior NN três eram os que continham as estirpes recomendadas de *Bradyrhizobium* sp para a *Crotalaria spectabilis* e em quarto lugar em NN/ha ficou o tratamento nativa. Estes resultados são diferentes dos obtidos em trabalhos realizados em tabuleiros

costeiros em que a inoculação com estirpes de rizóbios em sementes de leguminosas como o feijão-de-porco, caupi e guandu, recomendadas para outras regiões do País, não apresentaram resultados expressivos em incrementos no crescimento vegetativo, nos teores de N na planta e na nodulação das raízes em solos dos tabuleiros costeiros (Barreto & Fernandes, 1998; Bohrer & Hungria, 1998).

Mesmo as estirpes recomendadas sendo de outras localidades, não foi observada resposta inferior para o número médio de nódulos, indicando que as estirpes recomendadas conseguiram colonizar efetivamente as raízes na presença dos rizóbios nativos já estabelecidos no solo, com exceção do tratamento BR 2003 que foi superior apenas ao tratamento nativa + molibdênio. Leguminosas como *Crotalaria spectabilis*, feijão-de-porco, caupi e guandu apresentam caráter promíscuo com relação à nodulação, podendo várias estirpes nativas se associar às raízes, dificultando a introdução de estirpes que sejam recomendadas para a cultura, mas que foram selecionadas em outras regiões com diferentes características edafoclimáticas. Isto é relatado com freqüência em resultados de trabalhos como os de Thies et al., (1991ab) que relataram ter obtido uma relação inversa entre a resposta à inoculação e tamanho da população de rizóbios nativos no solo quando trabalhou com estirpes de rizóbios recomendados em comparação com nativos.

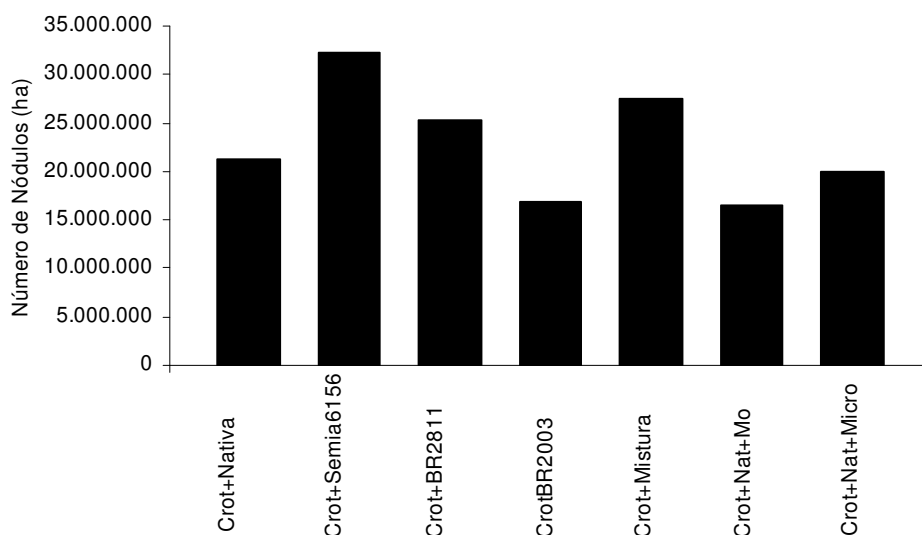


Figura 1. Número de nódulos por hectare (NN/ha) da *Crotalaria spectabilis* para cada tratamento avaliado aos 90 dias após a emergência.

Os tratamentos que apresentaram maior MSN aos 90 DAE foram Semia 6156, mistura das três estirpes recomendadas (Semia 6156, BR 2811 e BR 2003) e

nativa (Figura 2), com os menores resultados apresentados por nativa + micro e BR 2003. É importante frisar que os tratamentos complementados com molibdênio ou micronutriente não apresentaram efeito superior às estirpes recomendadas, para NN ou MSN, mesmo sabendo que o molibdênio influencia a fixação biológica de nitrogênio por ser co-fator das enzimas nitrato redutase e a nitrogenase (Taiz & Zeiger, 2004) e o cobalto participa dos passos metabólicos para a formação da leghemoglobina (Favarin & Marini, 2000). Resultados estes semelhantes foram obtidos para o NN. Embora Campo & Hungria (2002) tenham relatado resultados positivos evidenciado da aplicação de cobalto na fixação biológica do N_2 e na produtividade das leguminosas quando a planta está bem suprida de molibdênio, (Campo & Hungria, 2002), tanto os nossos resultados quanto os encontrados em diversos trabalhos (Solomonson, & Barber 1990; Galvão, 1991; Campo & Lantmann, 1998) não encontraram esta vantagem.

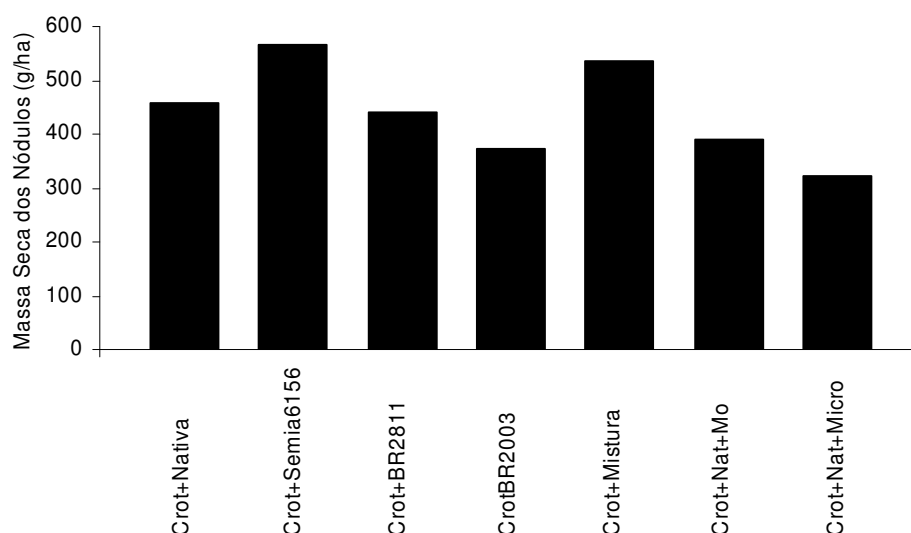


Figura 2. Massa seca dos nódulos em gramas por hectare da *Crotalaria spectabilis* para cada tratamento avaliado aos 90 dias após a emergência.

Para o teor de N nos nódulos determinados aos 90 dias verifica-se que ocorreu diferença significativa entre os tratamentos indicando que as estirpes apresentam potencial de fixação do nitrogênio diferentes, embora o mesmo não tenha ocorrido para o nitrogênio total nos nódulos (NTN). O maior conteúdo de nitrogênio nos nódulos foi para Semia 6156 (Figura 3), seguido por três tratamentos que apresentaram resultados próximos que foram mistura das três estirpes recomendadas (Semia 6156, BR 2811 e BR 2003), BR 2811 e BR 2003. Esses

resultados mesmo sendo bem próximos apresentaram diferenças significativas entre si e em comparação com os demais. Estes resultados são considerados positivos e significativos quando observamos esse efeito para o NN, MSN e a quantidade de N fixado biologicamente, o que também foi observado em trabalhos de Döbereiner et al. (1966), Santos (1987), Bohrer & Hungria (1998) cujos resultados foram considerados como correlação positiva e significativa em seus trabalhos. Assim como observado para número e massa seca de nódulos, os menores resultados também foram observados para os tratamentos sem inoculação, com ou sem aplicação de micronutrientes ou molibdênio.

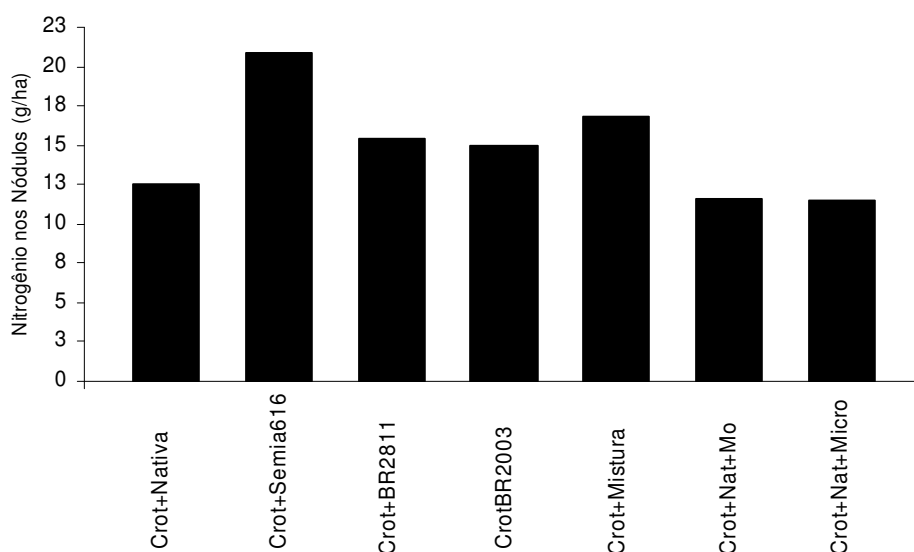


Figura 3. Análise de Nitrogênio em grama por hectare realizados nos nódulos de *Crotalaria spectabilis* para cada tratamento avaliado aos 90 dias após a emergência.

CONCLUSÕES

A população rizobiana estabelecida apresentou-se produção de biomassa semelhante às obtidas pelas estirpes atualmente recomendadas para produção de inoculante para *Crotalaria spectabilis*, embora com menor nodulação.

Os resultados de nodulação indicam que novos trabalhos com micronutrientes são recomendáveis, no que tange à nodulação e fixação biológica de nitrogênio sob condições de campo.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal Rural de Pernambuco pela oportunidade de poder ter realizado o curso de Mestrado e Doutorado. A Usina Coruripe por todo apoio oferecido para que este trabalho fosse realizado. A FAPEAL Fundação de Amparo a Pesquisa no Estado de Alagoas e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelas bolsas concedidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, R.; COSTA, L. M.; MOURA FILHO, W.; RAZZI, A. J. Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. Brasília. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.20, n.2, p. 175-185. 1995.

BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F. Recomendação de leguminosas para adubação verde em solos dos tabuleiros costeiros. Aracaju: **Embrapa-CPACT**, (Comunicado Técnico, 28). 5 p. 1998.

BOHRER, T. R. J.; HUNGRIA, M. Avaliação de cultivares de soja quanto à fixação biológica do nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 6, p. 937-952, jun. 1998.

CAMPO, R.J.; LANTMANN, A.F. Efeitos de micronutrientes na fixação biológica do nitrogênio e produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.8, p.1245-1253, 1998.

CAMPO, R.J.; HUNGRIA, M. Importância dos micronutrientes na fixação biológica do N₂. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.98, p.6-9, 2002.

CARVALHO, F. G.; STAMFORD, N. P. Fixação do N₂ em leucena (*Leucaena leucocephala*) em solo da região semi-árida brasileira submetido à salinização. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, p. 237-243, 1999.

DEMEZAS, D. H.; REARDON, T. B.; STRAIN, S. R.; WATSON, J. M.; GIBSON, A. H. Diversity and genetic structure of a natural population of *Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolii* isolated from *Trifolium subterraneum* L. **Molecular Ecology**, v. 4, n. 2, p. 209-220. 1995.

DÖBEREINER, J.; ARRUDA, N. B.; PENTEADO, A. F. Avaliação da fixação do nitrogênio em leguminosas pela regressão do N total das plantas sobre o peso de nódulos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 1, p. 233-237, 1966.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solos. 2. ed. Rio de Janeiro: **Embrapa - CNPS**, 212 p. 1997.

FAVARIN, J.L.; MARINI, J.P. Importância dos micronutrientes para a produção de grãos. In: SOCIEDADE NACIONAL DA AGRICULTURA, 2000. Disponível em: **www.sna.com.br**. On line. Acesso em: 10/2008.

FERNANDES, M. F.; FERNANDES, R. P. M. Seleção inicial e caracterização parcial de rizóbios de tabuleiros costeiros quando associados ao guandu. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, p. 321-327, 2000.

FREIRE, F. J. Sistema para cálculo de balanço nutricional e recomendação de corretivos e fertilizantes para cana-de-açúcar. 2001. 87 f. **Tese** (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

GALRÃO, E.Z. Micronutrientes e cobalto no rendimento da soja em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.15, p.117-120, 1991.

GOMES, J. F. F. Produção de colmos e exportação de macronutrientes primários por cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). **Dissertação** (Mestrado Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 65 f. 2003.

GOUVEIA, R. F.; ALMEIDA, D. L. de. Avaliação das características agronômicas de sete adubos verdes de inverno no município de Paty do Alferes (RJ). Comunicado técnico, **EMBRAPA**, n.20. p.7. 1997.

HARTWIG, U. A. The regulation of symbiotic N₂ fixation: a conceptual model of N feedback from the ecosystem to the gene expression level. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 1, p. 92-120, 1998.

Hungria, M.; Vargas, M.A.T.; Suhet, A.R. & Peres, J.R.R. Fixação biológica do nitrogênio em soja. In: Araujo, R.S. & Hungria, M., eds. Microorganismos de importância agrícola. Brasília, **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. p.9-89, 1994

TOMAZ, M. A.; SILVA, S. R.; SAKIYAMA, N. S.; MARTINEZ, H. E. P. Eficiência de absorção e uso de cálcio, magnésio e enxofre por mudas enxertadas de *Coffea arabica*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 885-892, 2003.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: **Potafos**, 319p. 1997.

MARCONDES, J.A.P; CAIRES, E.F. Aplicação de molibdênio e cobalto na semente para cultivo da soja. **Bragantia**. Campinas, v.64, n.4. 2005.

MARTINS, L. M. V.; XAVIER, G. R.; RANGEL, F. W.; RIBEIRO, J. R. A.; NEVES, M. C. P.; MORGADO, L. B.; RUMJANEK, N. G. Contribution of biological nitrogen fixation to cowpea: a strategy for improving grain yield in the semi -arid region of Brazil. **Biology and Fertility of Soil**, v. 38, p. 333-339, 2003.

PAFFETTI, D.; DAGUIN, F.; FANCELLI, S.; GNOCCHI, S.; LIPPI, F.; SCOTTI, C.; BAZZICALUPO, M. Influence of plant genotype on the selection of nodulating *Sinorhizobium meliloti* strains by *Medicago sativa*. **Antonie van Leeuwenhoek**, v. 73, p. 3–8, 1998.

PERES, J. R. R.; VIDOR, C. Seleção de estirpes de *Rhizobium japonicum* e competitividade por sítios de infecção nodular em estirpes de soja. **Agrochimica Sulrio grandense**, Santa Maria, v. 16, p. 205-219, 1980.

SANTILLANA, N.; FREIRE, J. R. J.; SÁ, E. L. S.; SATO, M. Avaliação de estirpes de rizóbios para a produção de inoculantes para trevo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, p. 231-237, 1998.

SANTOS, D. R. Seleção de estirpes de *Bradyrhizobium* sp. para fixação de dinitrogênio em caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), em solos salinizados do semi-árido. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 98 f. 1987.

SANTOS, C.E.R.S.; STAMFORD, N.P.; FREITAS, A.D.S.; VIEIRA, I.M.M.B.; SOUTO, S.M.; NEVES, M.C.P., RUMJANEK, N.G. Efetividade de rizóbios isolados de solos da região Nordeste do Brasil na fixação do N₂ em amendoim (*Arachis hypogaea* L.). **Acta Scientiarum**, v.27, n.2, p.301-307, 2005.

SAS INSTITUTE. **The SAS System for Windows**. CD-ROM for Windows 32-bits. 1999.

SMITH, K. P.; GOODMAN, R. M. Host variation for interactions with beneficial plant-associated microbes. **Annual Reviews of Phytopathology**, v. 37, p. 473–491, 1999.

SILVA, J. A. A.; VITTI, G. C.; STUCHI, E. S. Reciclagem e incorporação de nutrientes ao solo pelo cultivo intercalar de adubos verdes em pomar de laranja pêra. **Revista Brasileira de Fruticultura**. vol.24, n. 1, p.225-230. 2002.

Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**. 306 p. 2006.

SOLOMONSON, L.P., BARBER, M.J. Assimilatory nitrate reductase: functional properties and regulation. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**. v.41, p.225-253, 1990.

TAIZ, L., ZEIGER, E. Fisiologia Vegetal. 3^a Ed. versão em Português **ARTMED Editora**, 719p. 2004.

THIES, J. E.; BOHLOOL, B. B.; SINGLETON, P. W. Subgroups of the cowpea miscellany: symbiotic specificity within *Bradyrhizobium* spp. for *Vigna unguiculata*, *Phaseolus lunatus*, *Arachis hipogaea* and *Macroptilium atropurpureum*. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 57, p. 1540-1545, 1991a.

THIES, J. E.; SINGLETON, P. W.; BOHLOOL, B. B. Influence of the size of indigenous rhizobial populations on establishment and symbiotic performance of introduced rhizobia on field-grown legumes. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 57, p. 19-28, 1991b.

ZILLI, J. L. E. Caracterização e seleção de estirpes de rizóbio para inoculação de caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] em áreas do cerrado. **Dissertação** (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 137 p. 2001.

CAPÍTULO 2

DECOMPOSIÇÃO E LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES DA PARTE AÉREA DA *CROTALARIA SPECTABILIS* COM OU SEM APLICAÇÃO DE HERBICIDA

Costa, J.V.T.⁵; Lira Junior, M. A.^{6,7}; Dubeux Junior, J. C. B⁶.; Moura Filho.G⁸

RESUMO

O experimento foi realizado na Usina Coruripe, a uma altitude de 75 m acima do nível do mar com as coordenadas de 10°8'31"S e 36°18'16"O, no município de Coruripe (AL). A temperatura média da região é 27°C com média das máximas de 32°C e a média das mínimas de 21°C e médias da umidade relativa máxima e mínima do ar de 95% e 65%. A precipitação média anual é de 1500 mm. O experimento foi conduzido em um Argissolo Amarelo Distrófico Fragipânico. A *Crotalaria spectabilis* foi cultivada por 90 dias em seguida esse material foi coletado e separado em parte aérea e sistema radicular. Este experimento teve como objetivo avaliar as taxas de decomposição e liberação de nutrientes da fitomassa pré-seca da parte aérea da *Crotalaria spectabilis* em diferentes épocas de incubação em subsuperfície com e sem aplicação de herbicida (glifosato) baseada na técnica de bolsas de decomposição de resíduos. A análise de variância para a massa seca remanescente indicou a interação dupla entre herbicida e idade que foi altamente significativa ($P < 0,0001$). Para o N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe e Mn a interação dupla foi significativa, mas não para os teores de Cu e Zn que, no entanto apresentou significância para os efeitos principais herbicida e idade ($P < 0,0001$). A massa seca remanescente da parte aérea da *Crotalaria spectabilis* que recebeu herbicida

⁵ Engenheiro Agrônomo, Dr em Agronomia - Ciência do Solo. Coordenador do Departamento de Mecanização e Desenvolvimento Agrícola da Usina Coruripe - Matriz. jose.costa@usinacoruripe.com.br

⁶ Professor Adjunto da UFRPE, bolsista do CNPq. mario.lira@depa.ufrpe.br; dubeux@dz.ufrpe.br

⁷ Autor para contato. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia, Av. D. Manoel de Medeiros S/N. Dois Irmãos, Recife, PE. 52171-900. mario.lira@depa.ufrpe.br

⁸ Professor Associado da UFAL, gmf@fapeal.br

apresentou maior velocidade de decomposição e maior mineralização para a maioria dos elementos estudados neste trabalho em comparação com o material da massa seca remanescente que não recebeu aplicação de herbicida. O que evidenciou que a aplicação do herbicida glifosato na *Crotalaria spectabilis* acelerou a decomposição da massa seca remanescente e maior mineralização dos elementos N, K, Ca, Mg, S, Cu, Mn presentes neste material.

Palavras-chave: Crotalária, nitrogênio, herbicida

ABSTRACT

The experiment was conducted at Usina Coruripe, at 75 m above sea level, with coordinates 10°8'31"S and 36°18'16"W in Coruripe (AL). Average temperature on the region is 27 C, with averages for maximum and minimum of 32 and 21 C, and averages of maximum and minimum air relative umidity of 95 and 65%. Average annual precipitation is 1500mm. The experiment was conducted in a Argissolo Amarelo Distrófico Fragipânico. *Crotalaria spectabilis* was cultivated for 90 days, following which the material was harvested and separated in aerial part and root system. The experiment followed decomposition and liberation of nutrients from these parts, with or without herbicide (glyphosate) application, based on the litter bag technique. Analysis of variance for the remaining dry matter indicated significant ($P<0.0001$) triple interaction between plant part, herbicide and age. For N content, there was a significant ($P=0.02$) triple interaction, but not for P content ($P=0.93$), which had significant interactions for plant part and herbicide ($P=0.02$) and plant part and age ($P<0.01$). Observed CVs were low, with low random variation. Remaining dry mass after herbicide application presented higher mineralization, and faster nutrient reduction for most elements, in comparison with the material without herbicide.

Key words: crotalaria, nitrogen, herbicide

INTRODUÇÃO

Normalmente o solo permanece desprovido de vegetação por vários meses quando da renovação do canavial. Como é freqüente a ocorrência de elevadas precipitações pluviométricas neste período a erosão pode ser um problema severo. (Caceres & Alcarde, 1995). Com a expansão da cultura canvieira e a incorporação de novas áreas, geralmente de baixa fertilidade, para a produção de açúcar e energia renovável é de fundamental importância recuperar e manter a fertilidade para alcançar produções econômicas. Portanto, os adubos verdes podem ter potencialmente um papel de destaque como condicionadores do solo, fornecedores de nutrientes, nitrogênio no caso de leguminosas, além de exercer controle contra nematóides e plantas daninhas (Caceres & Alcarde, 1995, Oliveira et al., 1997), além da manutenção dos teores de matéria orgânica (Reicoscky & Forcella, 1998, Torres et al. 2005), redução da erosão do solo (Carvalho et al., 1990), melhoria nos atributos físicos dos solos (Carpenedo & Mielniczuck, 1990), elevação dos teores de N total (Souza & Mello, 2000) e o aumento da disponibilidade de P, K, Ca e Mg (Calegari et al., 1992, 1993) superficialmente no solo.

A *Crotalaria spectabilis* é uma das espécies recomendadas para adubação verde em áreas de renovação dos canaviais tanto pela produção de fitomassa como pela grande fixação de nitrogênio (Calegari et al. 1993).

A eficácia da adubação verde está relacionada, dentre outros fatores, com a quantidade e qualidade de resíduos produzidos pelas plantas de cobertura e com a persistência destes sobre o solo (Gonçalves & Ceretta, 1999). A dinâmica da decomposição de resíduos vegetais depende da natureza do material, do volume de produção de biomassa, do manejo da cultura de cobertura, da fertilidade e do pH do solo, da qualidade e quantidade dos nutrientes orgânicos disponíveis e de condições climáticas como a pluviosidade e temperatura (Bôer et al. 2008). Esses fatores, isolados ou em conjunto podem influenciar a atividade biológica do solo.

Para que um adubo verde seja eficaz no fornecimento de nutrientes, deve haver sincronia entre os nutrientes liberados pelos resíduos da planta de cobertura e a demanda da cultura de interesse comercial. Se houver alta taxa de mineralização dos nutrientes contidos nas espécies utilizadas como adubo verde antes do crescimento logarítmico da cultura, pode haver perdas por lixiviação. Por outro lado,

se a mineralização ocorrer após esse período a cultura não será beneficiada (Stute & Posner, 1995).

A soma de muitos fatores caracteriza a velocidade de decomposição dos resíduos depositados no solo. A atuação de macro e microrganismos, as características do material orgânico que determinam sua degradabilidade, e as condições edafoclimáticas da região (Correia & Andrade, 1999). Sob as mesmas condições de clima e solo, a velocidade de decomposição dos resíduos e a liberação de nutrientes são influenciadas por características químicas como o teor de N (Constantinides & Fownes, 1994, Aita & Giacomini, 2003, Nóbrega et al 2004), relação C:N (Jama & Nair, 1996), teor de lignina e relação lignina:N (Matta Machado et al., 1994; McDonagh et al., 1995, Rheinheimer et al., 2000), teor de polifenóis e relação polifenóis:N (Palm & Sanchez, 1991) e relação (lignina + polifenóis):N (Handayanto et al., 1994, Espindola et al., 2006).

O manejo dos resíduos culturais, em superfície ou incorporados ao solo, resulta em diferentes velocidades de decomposição. Todavia, não existe consenso na literatura com relação ao melhor método para avaliação desta decomposição, sendo a concentração de N e as relações C/N e lignina/N sugeridas por alguns autores (Mellilo et al., 1982; Berg, 1986).

Muitos autores avaliam a decomposição por meio da incubação de material vegetal com solo, em laboratório ou no campo, sendo esta taxa estimada pela perda de peso decorrente da liberação de carbono na forma de CO₂ (Holtz, 1995; Silva et al., 1997; Schunke, 1998, Torres et al. 2005).

Como comumente o manejo de adubos verdes implica na aplicação de herbicida não-seletivo de ação sistêmica, como o glifosato, este fator também deve ser avaliado quanto a seus possíveis efeitos, Já que a morte relativamente lenta das plantas provoca atraso no processo de decomposição dos resíduos vegetais (Ahrens, 1994). Dessa forma, a oferta de nutrientes dos restos vegetais de plantas mortas por herbicidas e mantidas em pé tende a ser menos intensa, mediante taxa de decomposição biológica menor (Calonego et al, 2005).

O objetivo deste trabalho foi avaliar as taxas de decomposição e liberação de nutrientes da fitomassa da parte aérea da *Crotalaria spectabilis* e o efeito do herbicida glifosato no processo de decomposição e liberação de nutrientes.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em áreas de cultivo da Usina Coruripe, a uma altitude de 75 m com as coordenadas 10°08'31"S e 36°18'16"O, em Coruripe (AL). A temperatura média da região é 27°C com média das máximas de 32°C e a média das mínimas de 21°C e médias da umidade relativa máxima e mínima do ar de 95% e 65%. A precipitação média anual é de 1500 mm.

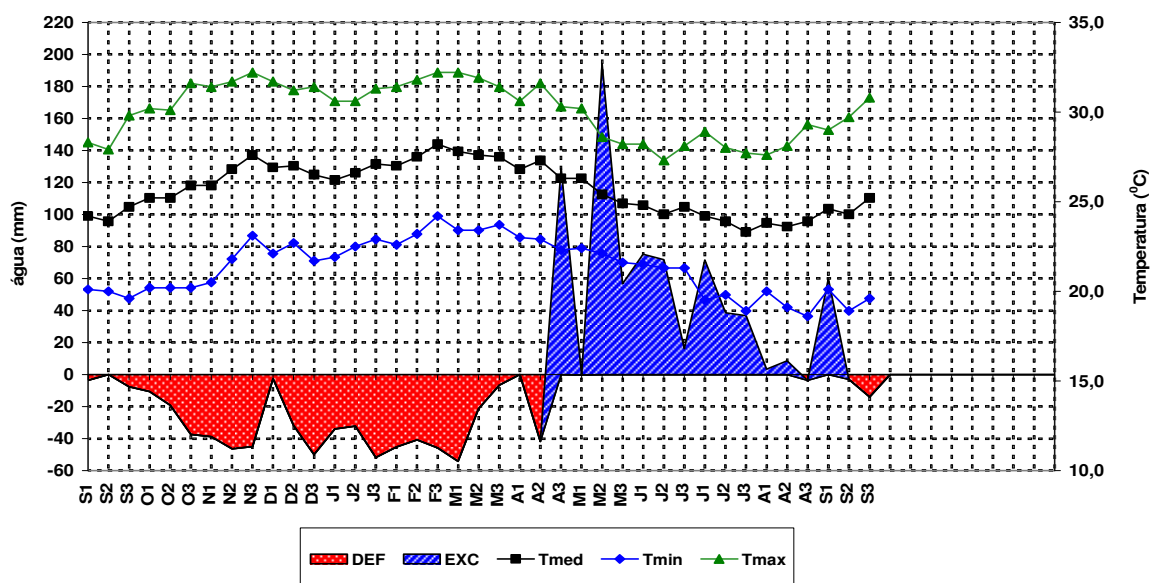


Figura 1. Precipitação pluvial e temperatura média a cada dez dias para o período de Setembro de 2006 a Setembro de 2007, Fazenda Santo Antonio A, Usina Coruripe, Alagoas.

O solo está classificado como Argissolo Amarelo Distrocoeso fragipânico, Textura média (leve), muito argilosa, Fase relevo suave ondulado (SiBCS, 2006).

A *C. spectabilis* foi cultivada por 90 dias e nesta data foi coletada na área experimental a primeira parte do material que não recebeu aplicação de herbicida glifosato. Em seguida foi coletada a parte aérea e acondicionada em sacos de papel identificados e levados para estufa de circulação forçada de ar a temperatura de 65 °C, para obtenção da massa pré-seca, e em seguida pesado. Após a coleta do material foi feita aplicação mecanizada com um aplicador de herbicida Case modelo Patriot 350 serie 350039 na dose de 3 L/ha de glifosato e vazão de aplicação da

calda de 150 litros por hectare, conforme a faixa de recomendação de 1,5 a 6,0 L/ha⁻¹ (Andrei, 2005).

Três dias após a aplicação foi coletado o material que recebeu herbicida para avaliação dos efeitos na velocidade de decomposição e liberação de nutrientes da fitomassa da parte aérea, tratado de forma idêntica à anterior.

Com o material coletado foi realizado um experimento em que foi feito o acompanhamento da decomposição e liberação de nutrientes da fitomassa pré-seca da parte aérea da *C. spectabilis* com e sem aplicação de glifosato baseada na técnica de bolsas de decomposição de resíduos descrita por Thomas & Asakawa (1993) e Rezende et al. (1999).

Foram confeccionadas bolsas de tafta 100% poliamida de 30 cm x 30 cm para acondicionamento da fitomassa da parte aérea e do sistema radicular. Foram pesados e acondicionados em cada bolsa 30 gramas de fitomassa pré-seca da parte aérea de plantas que receberam ou não herbicida. As bolsas foram distribuídas na área experimental a 15 cm de profundidade, em um total de 160 unidades. A profundidade utilizada foi definida levando-se em consideração que quando é realizado o sulcamento direto sobre a *Crotalaria spectabilis* parte das plantas ficam enterradas a uma profundidade média de 15 cm. Os tratamentos utilizados foram formados por um arranjo fatorial entre: 8 datas de incubação (0, 2, 8, 16, 32, 64, 128, 230 dias de incubação), com ou sem aplicação do glifosato, com 5 repetições.

Cada bolsa foi identificada por um piquete de madeira contendo uma placa metálica presa à extremidade superior com a identificação da amostra (data de incubação). Após o período de incubação, as bolsas foram recolhidas da área experimental. Em seguida foi determinada a fitomassa remanescente, bem como realizadas análises químicas para determinação dos teores de nutrientes remanescentes no Laboratório de Análise de Solos Viçosa Ltda. Os teores de nitrogênio total das amostras foram determinados pelo método micro Kjeldahl, segundo metodologia descrita por Malavolta et al. (1997). No extrato obtido por digestão nitroperclórica, conforme descrito por Malavolta et al. (1997), foram dosados os teores de P, por colorimetria, conforme Braga & Defelipo (1974); os teores de Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn, por espectrofotometria de absorção atômica; os de K, por fotometria de chama; os de S, por turbidimetria (Blanchar et al., 1965). O B foi extraído por incineração e determinado por colometria de curmumina, descrita por Malavolta et al. (1997).

A estimativa das taxas de decomposição e liberação de nutrientes da parte aérea com e sem herbicida foi comparada de acordo com a aproximação descrita por Rezende et al. (1999). A decomposição e liberação diária de nutrientes foram calculadas com base nas informações coletadas nas datas específicas de incubação conforme Dubeux et al. (2006).

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado com cinco repetições. As regressões foram feitas para quem teve efeito significativo envolvendo tempo. Todas as regressões foram de queda hiperbólica com três efeitos (equação 1) ou de queda exponencial dupla (equação 2). A análise de variância foi efetuada com uso de SAS, e as regressões utilizando o Sigma Plot 10.0.

$$y = y_0 + \frac{ab}{b+x}$$

Equação 1 - Queda hiperbólica com três efeitos. Y é a variável sob estudo, e x o tempo de incubação, com a, b e y_0 sendo constantes da equação. y_0 pode ser considerado como o valor para o qual os dados tendem a convergir com o tempo.

$$y = ae^{-bx} + ce^{-dx}$$

Equação 2 – Queda exponencial dupla. Y é a variável sob estudo, x é o tempo de incubação, a, b, c e d são constantes calculadas durante a regressão. a é definido como o pool de nutrientes rapidamente disponíveis, b como a taxa de decomposição destes nutrientes, c como o pool de nutrientes com decomposição mais lenta e d como a taxa de decomposição do segundo pool.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A velocidade de decomposição foi maior nos primeiros 30 dias sendo notada uma menor decomposição da parte aérea com herbicida neste período persistindo até os 90 dias onde os valores de massa seca da parte aérea com herbicida se igualaram aos valores da parte aérea sem herbicida (Figura 2), após o que houve maior decomposição da parte aérea com herbicida glifosato até a avaliação realizada aos 230 dias, com decomposição total superior. Por ocasião da última coleta, cerca de 16 gramas do material havia sido decomposto valor, ou seja, mais de 50% do material original que recebeu herbicida havia sido decomposto, evidenciando uma maior e mais rápida decomposição em comparação com o material que não havia recebido herbicida que apresentava decomposição de aproximadamente 12 gramas conforme figura 2. Silva et al. (1997) observaram valores semelhantes para crotalária e guandu.

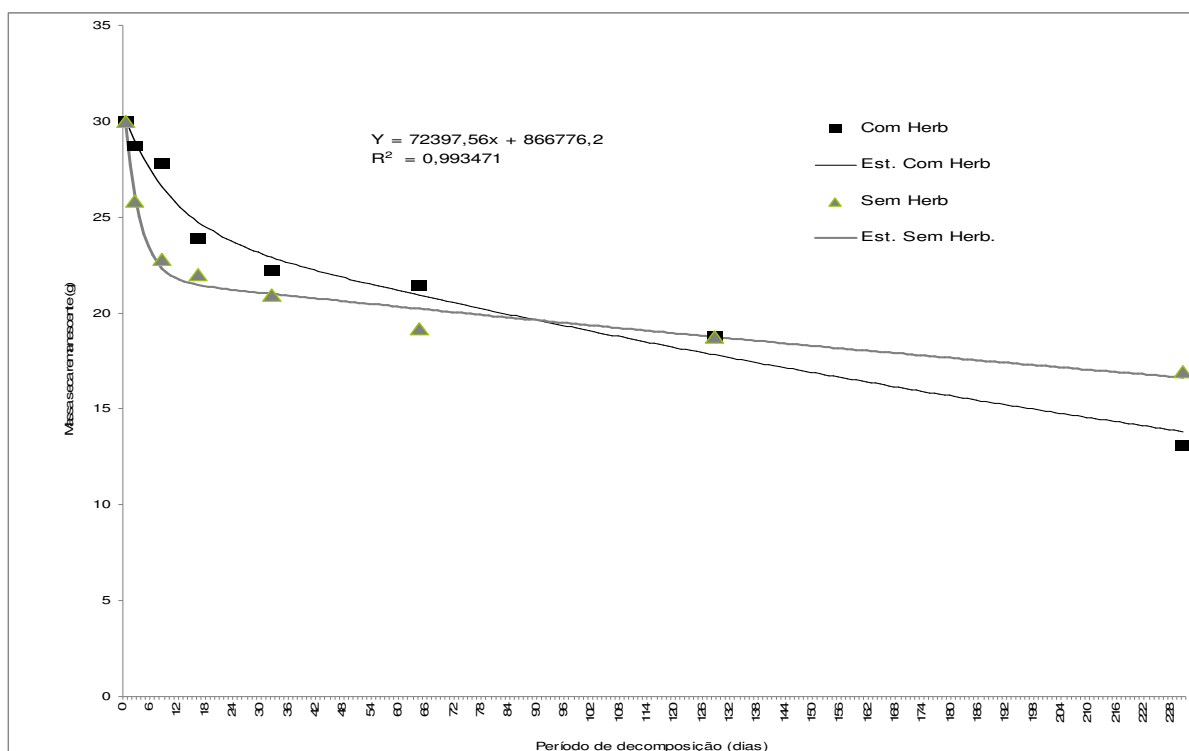


Figura 2. Massa seca remanescente da parte aérea da *Crotalaria spectabilis* em (g) em função de cada época amostrada e dos tratamentos aplicados com e sem herbicida.

A decomposição elevada obtida neste trabalho possivelmente resultou do aumento da superfície de contato do material vegetal com o solo, resultados semelhantes foram encontrados por Carvalho et al. (2008) com material incorporado. Possivelmente, esse maior contato favoreceu a ação biológica e a decomposição mais acelerada. De-Polli & Chada (1989) e Alcântara et al. (2000) também atribuíram a decomposição acelerada dos adubos verdes à incorporação de seus resíduos comparativamente à sua manutenção sobre a superfície do solo.

Observa-se que no início ocorreu rápida redução do teor de N (Figura 3), o que pode acarretar em perdas de N para o ambiente, caso não haja sincronismo entre essa liberação e a necessidade da cultura sucessora. Essa liberação ocorreu de forma mais acentuada para a parte aérea com herbicida em que aos 35 dias já era possível visualizar que mais da metade do teor de N já havia sido mineralizado, enquanto que para a parte aérea sem herbicida ocorreu liberação do N de forma mais lenta.

A parte aérea que recebeu herbicida apresentou maior mineralização inicial e ao longo das avaliações, sendo notado que aos 230 dias já havia praticamente

equilíbrio, em comparação com a parte aérea que não tinha recebido herbicida que continuava a haver liberação de forma consistente até os 230 dias. Isso pode ter ocorrido devido ao efeito de translocação do N entre o período de aplicação do herbicida e a coleta deste material para análise conforme pode ser observar essa diferença no dia 0 de avaliação em que as plantas sem herbicida apresentavam maiores teores de N conforme figura 3.

A liberação do P foi muito semelhante ao que ocorreu com o N, apresentando, inicialmente uma rápida liberação de P nas primeiras avaliações conforme figura 4 em que aos 8 dias já havia ocorrido redução de mais de 50% no teor de P e a partir desta fase inicial de rápida liberação e tendendo a uma liberação mais lenta e equilibrada nas avaliações subseqüentes, independentemente do herbicida conforme pode ser observado na figura 4. Esse P liberado da massa seca remanescente fica disponível tanto para absorção pelo sistema radicular da cultura subseqüente, quanto para imobilização em compostos minerais (Khatounian, 1999).

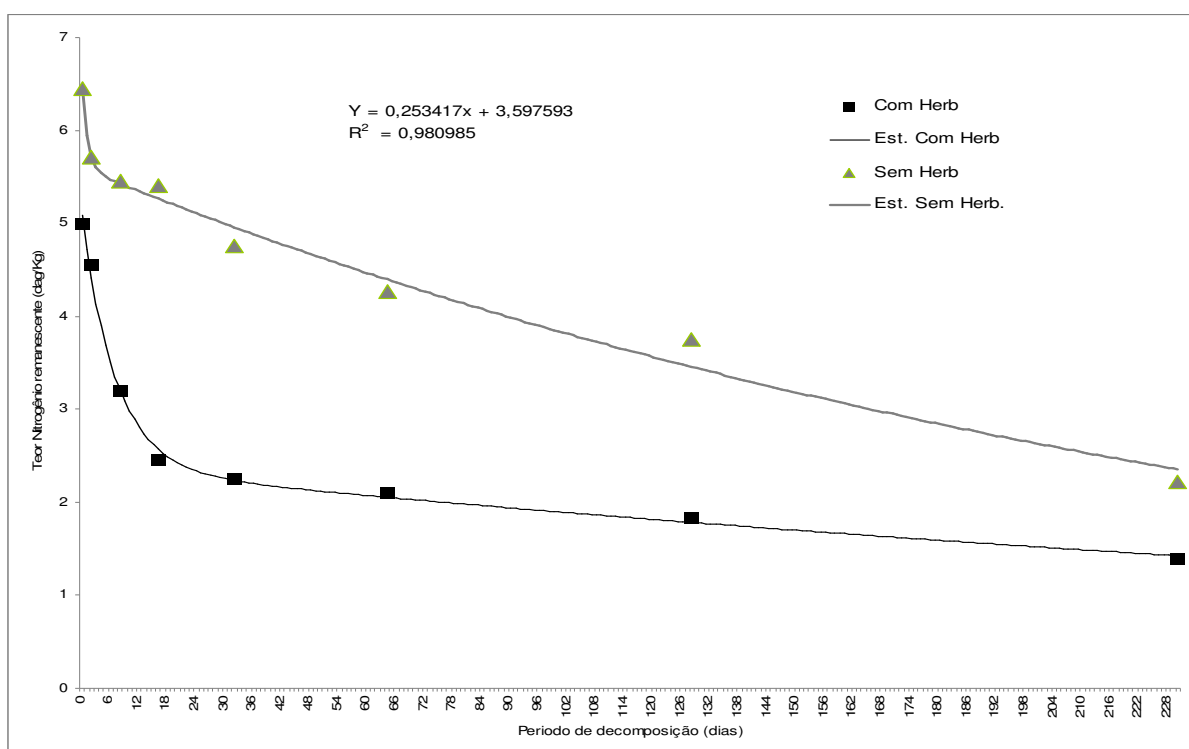


Figura 3. Teor de N remanescente em (dag/kg) da parte aérea da *Crotalaria spectabilis* em função de cada época amostrada e dos tratamentos aplicados com e sem herbicida.

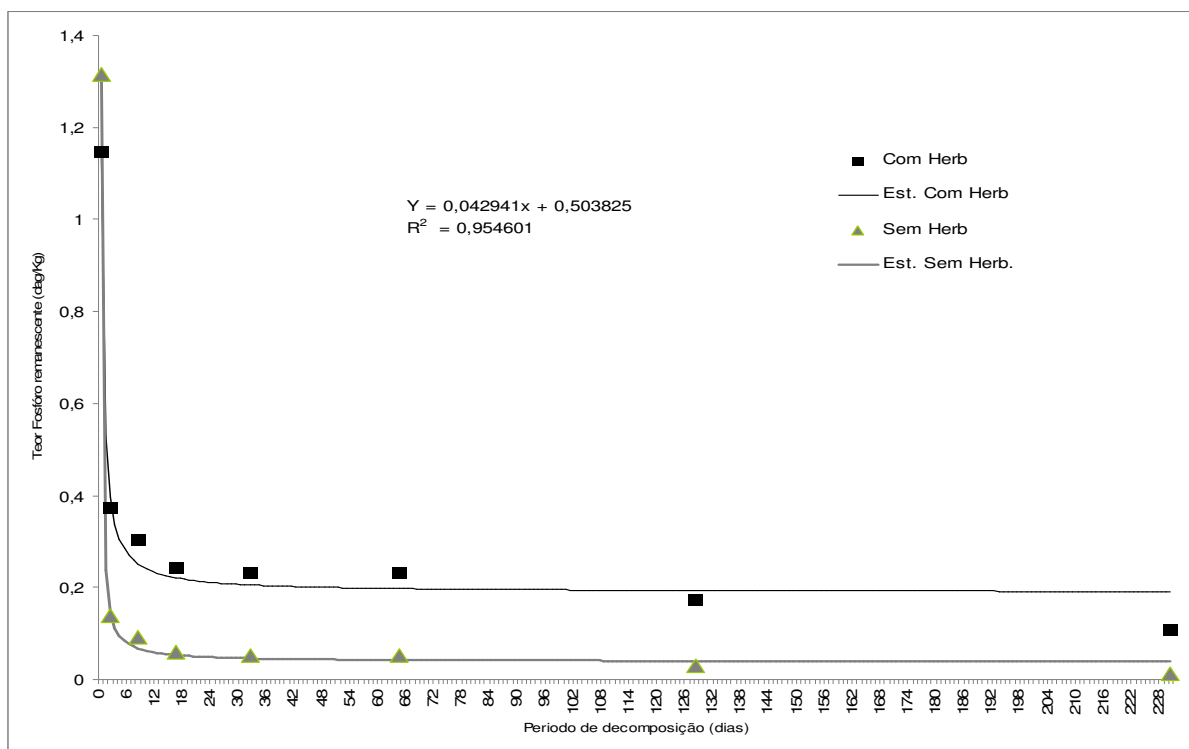


Figura 4. Teor de P remanescente em (dag/kg) da parte aérea da *Crotalaria spectabilis* em função de cada época amostrada e dos tratamentos aplicados com e sem herbicida.

Ocorreu rápida liberação do K com ou sem herbicida o que já podia ser observado nas primeiras avaliações realizadas (figura 5). Nos primeiros 30 dias, já havia ocorrido queda muito forte no teor deste nutriente indicando que pode ocorrer lixiviação desse elemento e essa forma seria um dos principais mecanismos de transferência de K para o solo, uma vez que ele não é componente estrutural de qualquer composto das plantas e a mineralização não é um pré-requisito para sua liberação (Gama-Rodrigues & Barros, 2002; Costa et al., 2005). Aos 100 dias praticamente todo o K já havia sido mineralizado da massa seca remanescente, o que também foi encontrado por Rosolem et al. (2003). A mineralização acentuada do K pode favorecer o plantio de crotalaria antecedendo o plantio de gramíneas como a cana-de-açúcar.

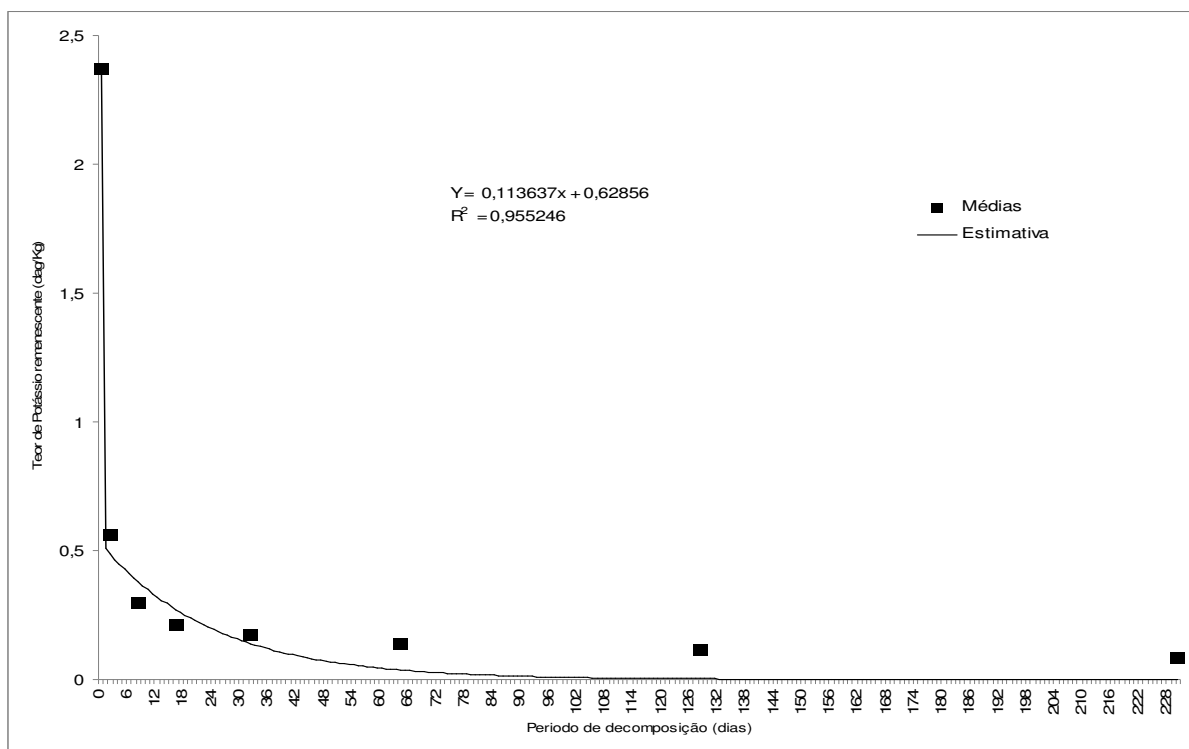


Figura 5. Teor de K mineralizado da massa seca remanescente em (dag/kg) da parte aérea da *Crotalaria spectabilis* com e sem herbicida.

Analisando a taxa de liberação de Ca verifica-se que a maior velocidade de mineralização do elemento ocorreu por volta dos 32 dias, com ou sem herbicida. De modo geral ocorreu rápida liberação de Ca inicialmente e com liberação contínua a medida que a massa seca era mineralizada. Ocorreu maior mineralização do Ca com herbicida em comparação sem herbicida. Resultados semelhantes também foram observados por Crusciol et al. (2005) avaliando a taxa de liberação dos nutrientes no nabo forrageiro. Referindo-se à liberação do cálcio, Budelman (1988) afirma que dentre os macronutrientes, a sua liberação de resíduos vegetais é a menos entendida. Essa rápida liberação inicial com estabilidade maior posteriormente pode ser devido à taxa de redistribuição do Ca ser muito pequena devido a sua baixíssima concentração no floema e, ao contrário do K, a maior parte do Ca encontrado nas plantas está em formas insolúveis (Menguel & Kirkby, 1987).

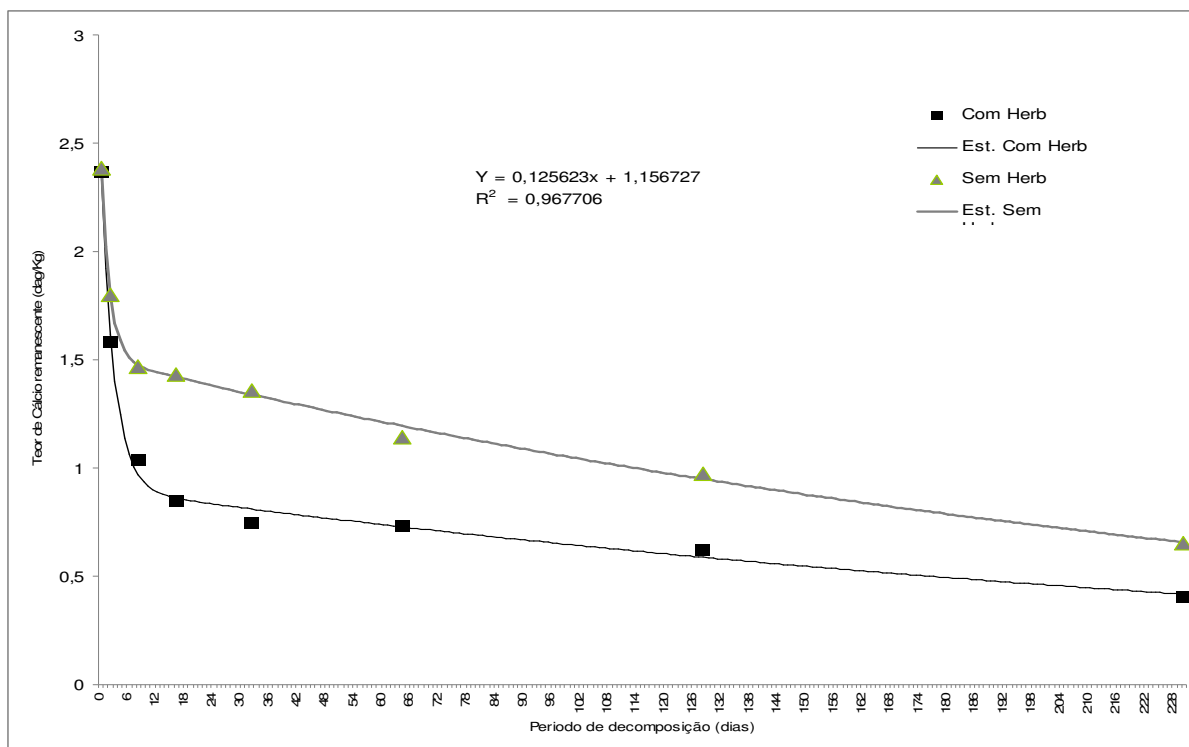


Figura 6. Teor de Ca remanescente em (dag/kg) da parte aérea da *Crotalaria spectabilis* em função de cada época amostrada e dos tratamentos aplicados com e sem herbicida.

Inicialmente ocorre uma liberação considerável de Mg até os 30 dias, com maior liberação do elemento pelas plantas que receberam herbicida, e em seguida essa liberação passa a ocorrer com menor intensidade (Figura 7). Vale salientar que o material com herbicida apresentou maior liberação inicial e final durante todo o período de avaliação. Palm & Sanchez (1990) trabalhando com *Inga edulis* e *Cajanus cajan*, e ao de Thomas & Asakawa (1993), para *Arachis pintoi* e *Centrosema acutifolium* verificaram longos períodos de imobilização do magnésio atribuído pelos autores ao fato do Mg ser componente da molécula de clorofila, podendo representar nesta forma, 10 a 20% do total de Mg das folhas das plantas.

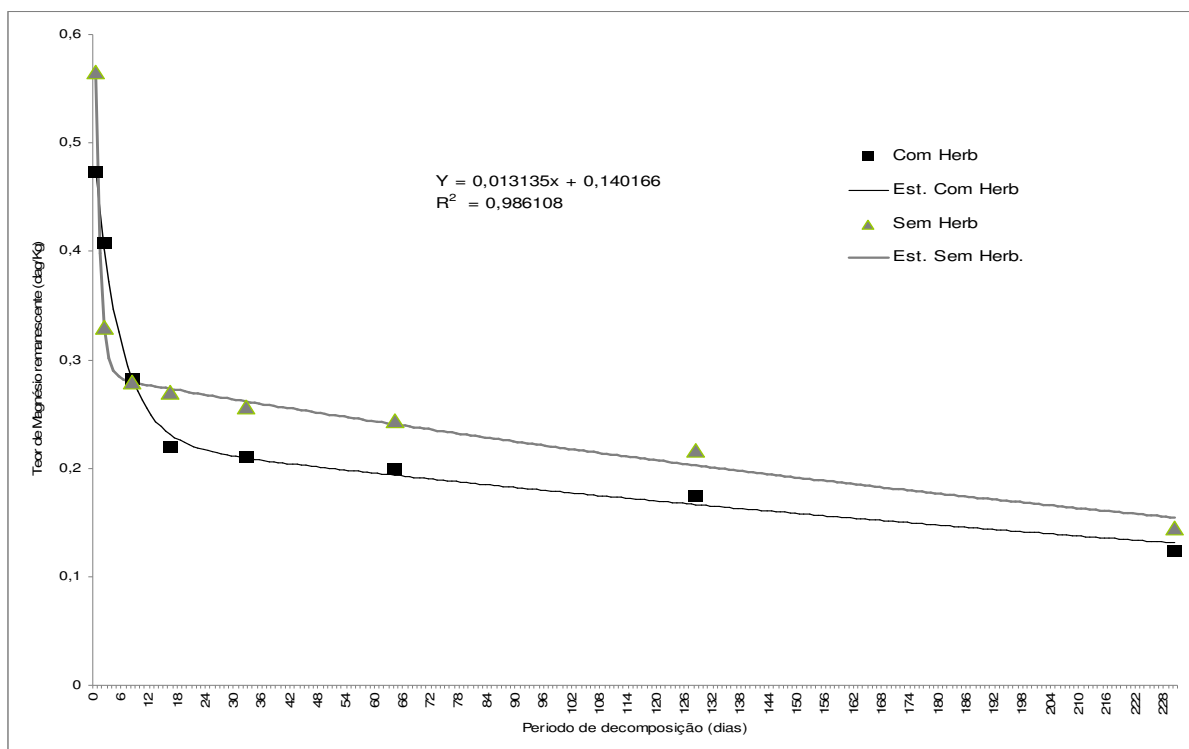


Figura 7. Teor de Mg remanescente em (dag/kg) da parte aérea da *Crotalaria spectabilis* em função de cada época amostrada e dos tratamentos aplicados com e sem herbicida.

Na figura 8 é possível visualizar a mineralização do S em que ocorreu uma acentuada liberação do elemento já nas primeiras avaliações realizadas. Para o S vale salientar que o herbicida e o período de avaliação (idade) atuaram de forma independente como efeitos principais em que ocorreu liberação rápida do elemento inicialmente e com mineralização mais lenta e consistência até a avaliação realizada aos 230 dias.

Também para o B (Figura 9), verifica-se que inicialmente ocorreu alta liberação constatada nas primeiras avaliações em que para a parte aérea com e sem herbicida já havia ocorrido em torno de 50% de liberação do B remanescente, enquanto o material que recebeu herbicida apresentou maior estabilidade no processo de mineralização do elemento ao longo do tempo.

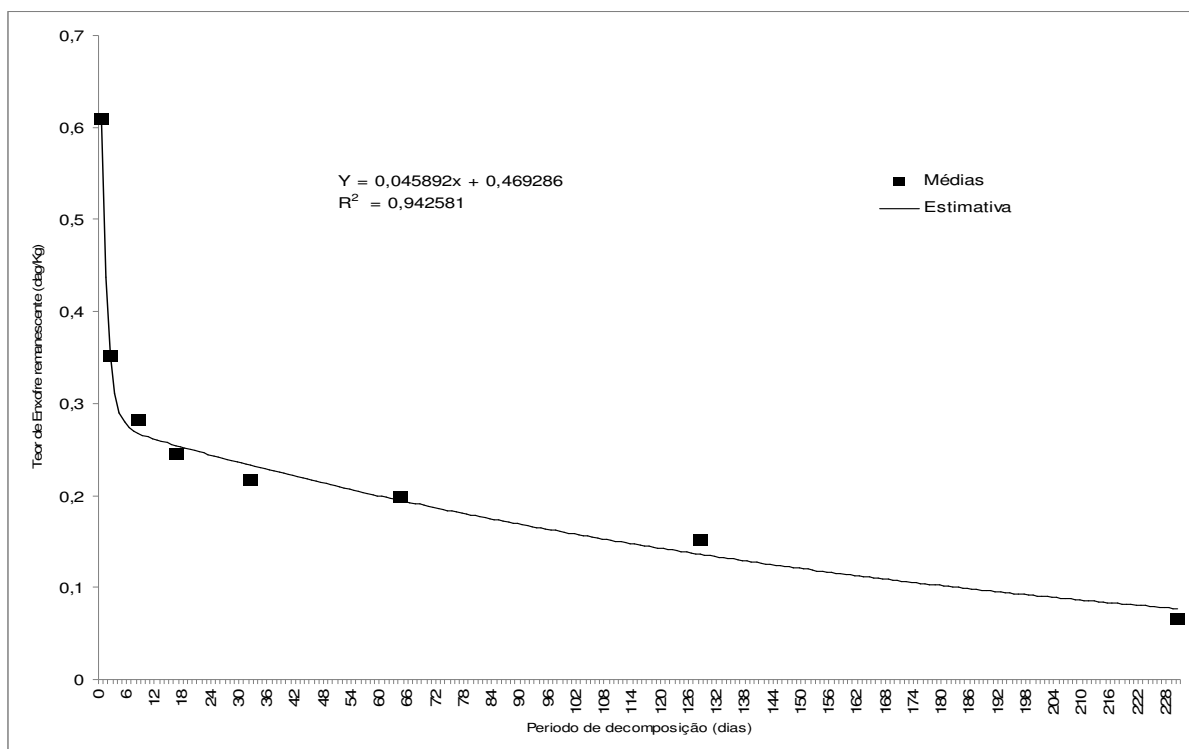


Figura 8. Teor de S mineralizado da massa seca remanescente em (dag/kg) da parte aérea da *Crotalaria spectabilis* com e sem herbicida.

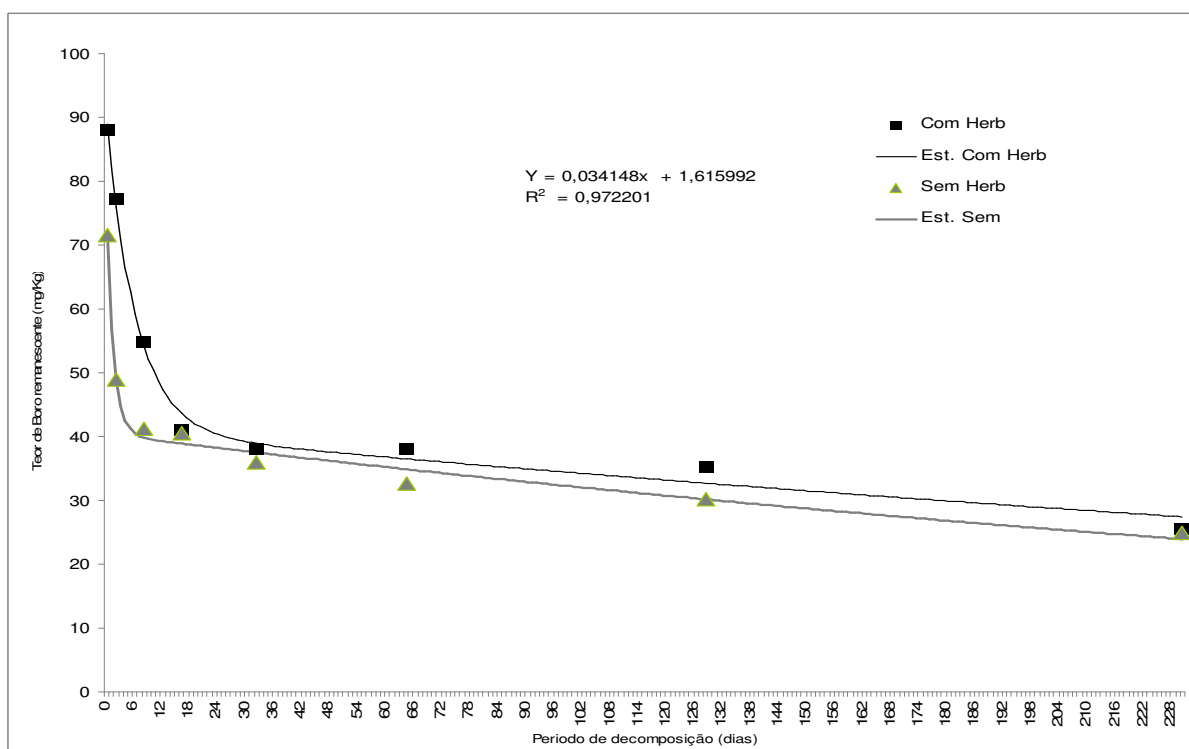


Figura 9. Teor de B remanescente em (mg/kg) da parte aérea da *Crotalaria spectabilis* em função de cada época amostrada e dos tratamentos aplicados com e sem herbicida.

Na figura 10 encontra-se representada a liberação do Cu, que inicialmente foi alta com destaque para a parte aérea com herbicida e liberação continua até a ultima avaliação, quando os valores com herbicida e sem herbicida se encontravam bem próximos.

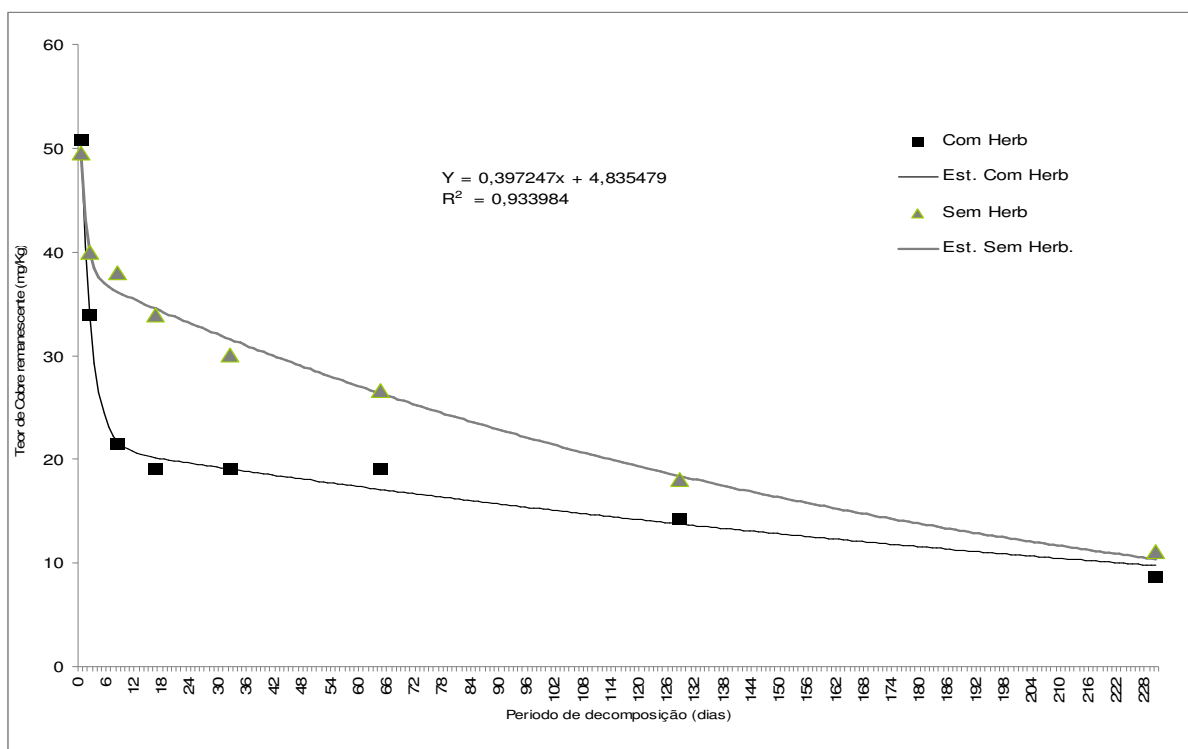


Figura 10. Teor de Cu (mg/kg) da parte aérea da *Crotalaria spectabilis* em função de cada época amostrada e dos tratamentos aplicados com e sem herbicida.

Na figura 11 é possível acompanhar como ocorreu a liberação do teor de Fe remanescente ao longo do tempo. Este elemento, mesmo estando presente em vários compostos na planta apresenta rápida liberação inicial até 16 dias e a partir desta fase liberação continua com menor velocidade de liberação do elemento até os 170 dias em que mineralização do Fe da parte aérea da *Crotalaria* sem herbicida se igualou a mineralização do Fe remanescente da massa seca da parte aérea com herbicida, e nas avaliações seguintes foi constatada maior mineralização do Fe da parte aérea sem herbicida.

Na figura 12 é possível visualizar a liberação do Mn remanescente da parte aérea da *Crotalaria* ao longo do tempo, em que se nota que ocorreu maior liberação até os 32 dias e em seguida liberação menos acentuada, mas constante. Sendo observado maior liberação da parte aérea com herbicida em comparação com o material que não recebeu herbicida.

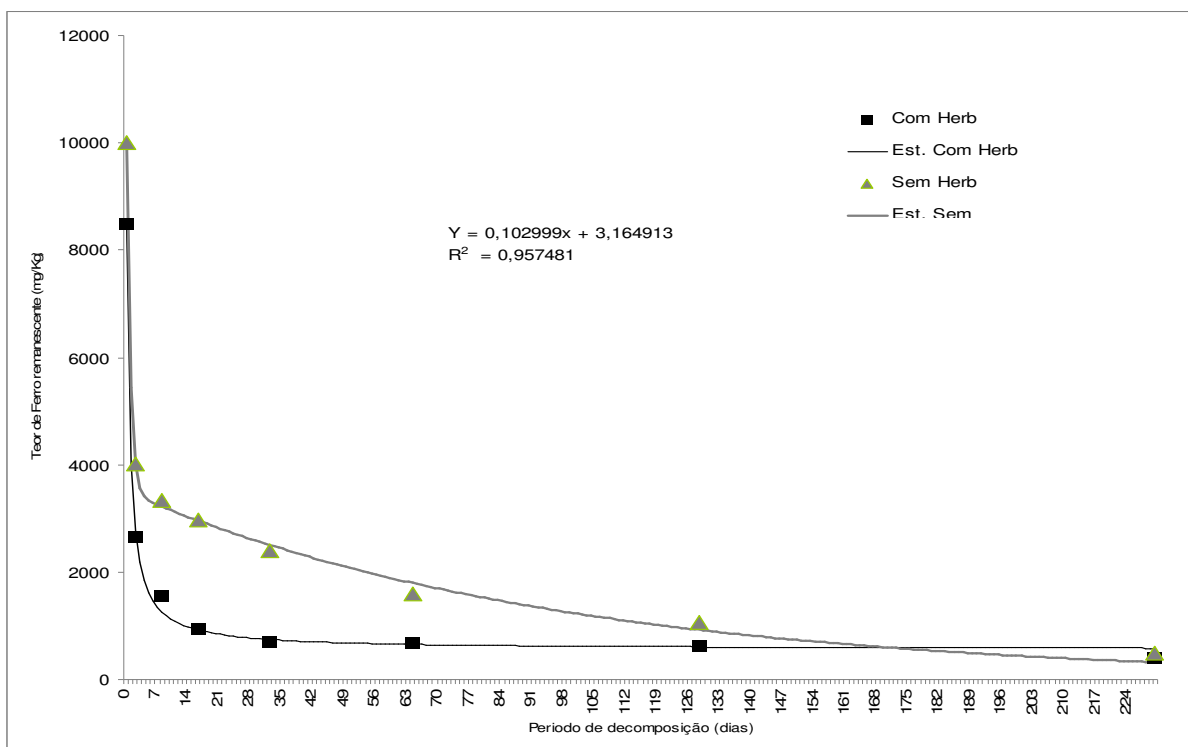


Figura 11. Teor de Fe remanescente em (mg/kg) da parte aérea da *Crotalaria spectabilis* em função de cada época amostrada e dos tratamentos aplicados com e sem herbicida.

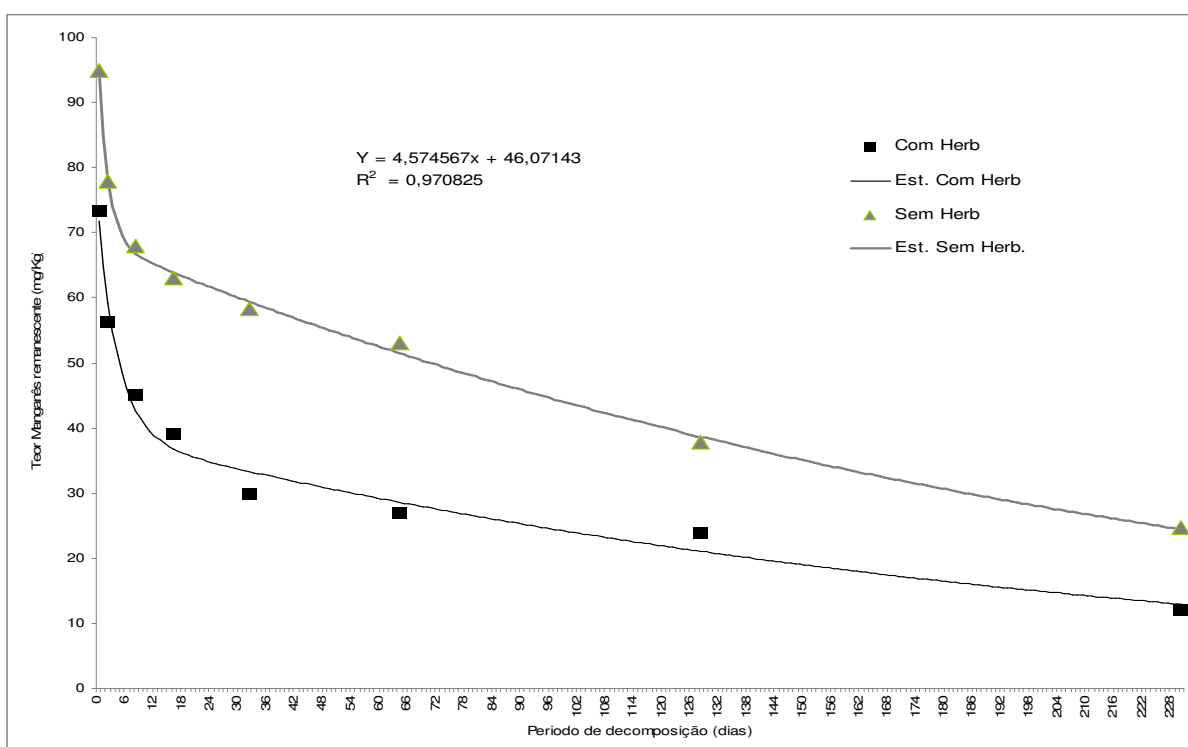


Figura 12. Teor de Mn remanescente em (mg/kg) da parte aérea da *Crotalaria spectabilis* em função de cada época amostrada e dos tratamentos aplicados com e sem herbicida.

Na figura 13 é possível visualizar a liberação do Zn da massa seca remanescente ao longo do tempo inicialmente ocorreu uma liberação rápida até os 30 dias e em seguida liberação contínua de forma mais lenta até o final das avaliações. Para este elemento os efeitos principais herbicida e idade atuaram de forma independente com relação a mineralização do Zn.

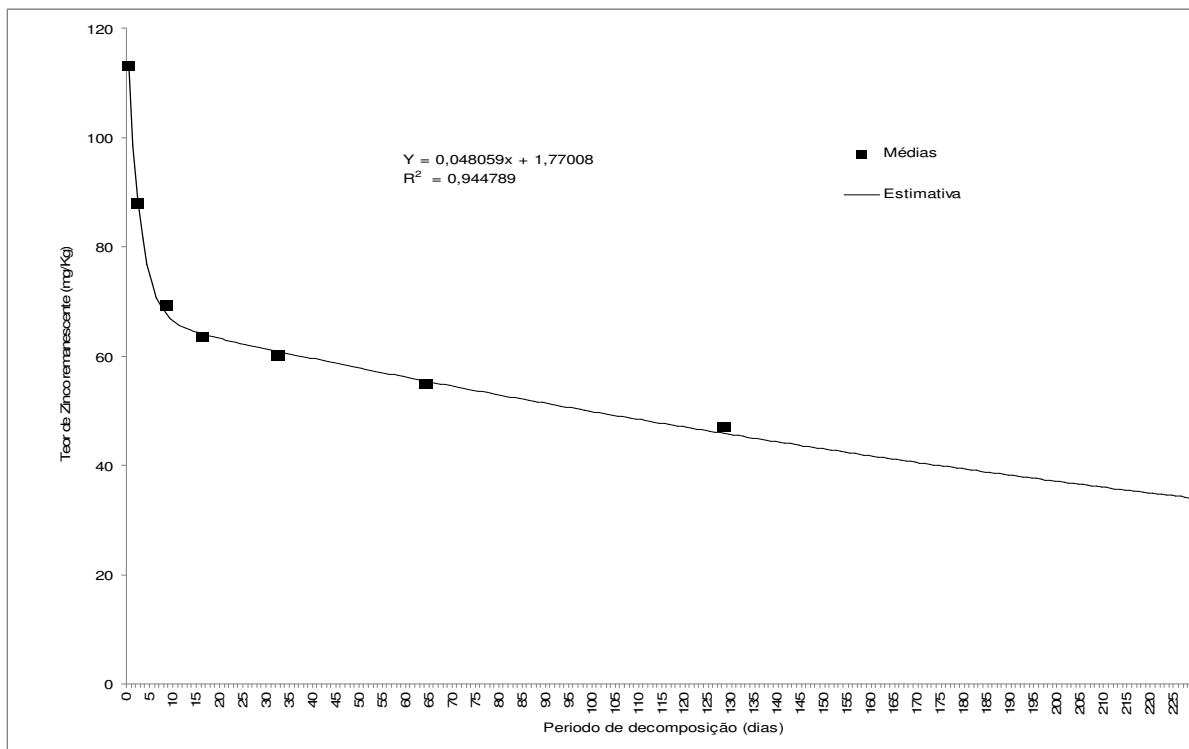


Figura 13. Teor de Zn mineralizado da massa seca remanescente em (dag/kg) da parte aérea da *Crotalaria spectabilis* com e sem herbicida.

CONCLUSÃO

A parte aérea da *Crotalaria spectabilis* que recebeu herbicida apresentou maior mineralização e redução mais rápida para a maioria dos elementos estudados neste trabalho em comparação com o material que não recebeu aplicação de herbicida.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal Rural de Pernambuco pela oportunidade de poder ter realizado o curso de Mestrado e Doutorado. A Usina Coruripe por todo apoio oferecido para que este trabalho fosse realizado. A FAPEAL Fundação de Amparo a Pesquisa no Estado de Alagoas e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelas bolsas concedidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHRENS, W.H. Herbicide handbook. Champaign, **Weed Science Society of America**, 7.ed. 352p.1994.

AITA, C. GIACOMINI, S.J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 27 p 601-612, 2003.

ALCÂNTARA, F.A.; FURTINI NETO, A.E.; PAULA, M.B.; MESQUITA, H.A.; MUNIZ, J.A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** v. 35 p. 277-288, 2000.

ANDREI, E. **Compêndio de defensivos agrícolas**. São Paulo: 2 v. 6.ed. 2003.

ARAÚJO. A. S. F.; TEIXEIRA. G. M.; CAMPOS. A. X.; SILVA. F. C.; AMBROSANO. E. J.; TRIVELIN. P. C. O. Utilização de nitrogênio pelo trigo cultivado em solo fertilizado com adubo verde (*Crotalaria juncea*) e/ou uréia. **Ciência Rural**. Santa Maria, v35, n.2, p.284-289, 2005.

BERG, B. Nitrogen release from litter and humus in coniferus forest soil - a mini review. **Scand. J. For. Res.** 1:359-369, 1986.

BÔER. C. A.; ASSIS. R. L.; SILVA. G. P.; BRAZ. A. J. B. P.; BARROSO. A. L. L.; FILHO. A. C.; PIRES. F. R. Biomassa, decomposição e cobertura do solo

ocasionada por resíduos culturais de três espécies vegetais na região centro-oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32 p. 843-851, 2008.

BUDELMAN, A. The decomposition of the leaf mulches of *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium* and *Flemingia macrophylla* under humid tropical conditions. **Agroforestry Systems**, Holland, v. 7, p. 33-45, 1988.

BLANCHAR, R.W.; REHM, G.; CALDWELL, A.C. Sulfur in plantmaterial digestion with nitric and perchloric acids. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.29, n.1, p.71-72, 1965.

BRAGA, J.M.; DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos de plantas. **Revista Ceres**, v. 21, p.73-85, 1974.

CALEGARI, A.; FERRO, M.; GRZESIUK, F.; JACINTO JUNIOR, L. Plantio direto e rotação de culturas: experiência em Latossolo Roxo/1985–1992. Paraná, **COCAMAR/ZENECA Agrícola**, 64p. 1992,

CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E.A.; COSTA, M.B.B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T.J.C. Aspectos gerais da adubação verde. In: COSTA, M.B.B.; CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E.A.; WILDNER, L.P.; ALCÂNTARA, P.B.; MIYASAKA, S. & AMADO, T.J.C. Adubação verde no sul do Brasil. 2.ed. Rio de Janeiro, **ASPTA**, 230p. 1993.

CALONEGO. J. C.; FOLONI. J. S. S.; ROSOLEM. C. A. Lixiviação de potássio da palha de plantas de cobertura em diferentes estádios de senescência após a dessecação química. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29: p. 99-108, 2005.

CÁCERES, N.T.; ALCARDE, J.C. Adubação verde com leguminosas em rotação com cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). **STAB**, Maio-junho, v.13, n.5, 1995.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 14:99- 105, 1990.

CARVALHO, F.L.C.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Eficácia relativa de doses e formas de manejo de resíduo culturas de trigo na redução da erosão hídrica do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 14:227-234, 1990.

CARVALHO. A. M.; BUSTAMANTE. M. M. C.; JUNIOR. J. G. A. S.; VIVALDI. L. J. Decomposição de resíduos vegetais em Latossolo Sob cultivo de milho e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32: p. 2831-2838. 2008.

CORREIA, M.E.F.; ANDRADE, A.G. de Formação de serrapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, **Genesis**, p. 197-225. 1999.

COSTA, G.S.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; CUNHA, G.M. Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira foliar em povoamentos de *Eucalyptus grandis* no norte fluminense. **Revista Árvore** v. 29 p.563-570. 2005.

CONSTANTINIDES, M.; FOWNES, J.H. Nitrogen mineralization from leaves and litter of tropical plants: relationship to nitrogen, lignin and soluble polyphenol concentrations. **Soil Biol. Biochem.**, 26 : 49-55, 1994.

CRUSCIOL, A.C.; COTTICA, R.L.; LIMA, E.V.; ANDREOTTI, M.; MORO, E. & MARCON, E. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 40 p.161-168, 2005.

DE-POLLI, H., CHADA, S.S. Adubação verde incorporada ou em cobertura na produção de milho em solos de baixo potencial de produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** v. p. 13:287-293, 1989.

DUBEUX JR. J. C. B.; SOLLENBERGER. L. E.; INTERRANTE. S. M.; VENDRAMINI. J. M. B.; STEWART JR. R. L. Litter decomposition and mineralization in bahiagrass pastures managed at different intensities. **Crop Science**. v. 46 p. 1305–1310. 2006.

ESPINDOLA, J.A.A.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L.; TEIXEIRA, M.G. & URQUIAGA, S. Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v 30 p. 321-328, 2006.

GAMA-RODRIGUES, A. C.; BARROS, N.F. Ciclagem de nutrientes em floresta natural e em plantios de eucalipto e de dandá no sudeste da Bahia, Brasil. **Revista Árvore**, v. 26 p.193- 207. 2002.

GONÇALVES, C.N.; CERETTA, C.A. Plantas de cobertura de solo antecedendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:307- 313, 1999.

HANDAYANTO, E.; CADISCH,; GILLER, K.E. Nitrogen release from prunings of legume hedgerow trees in relation to quality of the prunings and incubation method. **Plant and Soil**, 160: 237-248, 1994.

HOLTZ, G.P. Dinâmica da decomposição da palhada e a distribuição do carbono, nitrogênio e fósforo numa rotação de culturas sob plantio direto na região de Carambeí/PR. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, **Dissertação** (Mestrado) 129p. 1995.

JAMA, B.A. & NAIR, P.K.R. Decomposition – and nitrogen – mineralization patterns of *Leucaena leucocephala* and *Cassia siamea* mulch under tropical semiarid conditions in Kenya. **Plant and Soil**, 179 : 275, 1996.

KHATOUNIAN, C.A. O manejo da fertilidade em sistemas de produção. In: CASTRO FILHO, C.; MUZILLIO, O. (Ed.). Uso e manejo dos solos de baixa aptidão agrícola. Londrina: **IAPAR**, p.179-221. (Circular, 108). 1999.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas**: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 319p. 1997.

MATTA-MACHADO, R.P.; NEELY, C.L.; CABREIRA, M.L. Plant residue decomposition and nitrogen dynamics in an alley cropping and an annual legume-based cropping system. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 25 : 3365-3378, 1994.

MELLILO, J.M.; ABER, J.D. & MURATORE, J.F. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. *Ecology*. 63:621-626, 1982.

MENGUEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Bern, Switzerland: Lang Druck, 4a ed. 685 p. 1987.

McDONAGH, J.F.; TOOMSAN, B.; LIMPINUNTANA, V. & GILLER, K.E. Grain legumes and green manures as pre-rice crops in Northeast Thailand. II. Residue decomposition. *Plant and Soil*, 177 : 127-136, 1995.

NÓBREGA. P. O.; SILVA. G. T. A.; SOARES. P. G.; CAMPELLO. E. F. C.; RESENDE. A. S. Decomposição de fitomassa e liberação de nitrogênio em resíduos das espécies *racosperma mangium* e *melia azedarach* para fins de adubação verde em sistemas agroflorestais. *Rev. Univ. Rural*, Sér. Ci. Vida. Seropédica, RJ, EDUR, v. 24, n. 1, p. 13-18. 2004.

OLIVEIRA, L.A.A.; VIANA, A.R.; RIBAS FILHO, S.B. Efeito da rotação com soja na cultura da cana-de-açúcar. Rio de Janeiro: PESAGRO-RIO (**PESAGRO-RIO. Comunicado Técnico, 239**). 4p. 1997.

PALM, C. A.; SANCHEZ, P. A. Decomposition and nutrient release patterns of the leaves of three tropical legumes. *Biotropica*, Washington, v. 232, n. 4, p. 330-338, 1990.

PALM, C.A. & SANCHEZ, P.A. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. *Soil Biol. Biochem.*, 23:83-88, 1991.

REICOSKY, D.C.; FORCELLA, F. Cover crop and soil quality interactions in **Agroecosystems. J. Soil Water Conservation**. 53:224-229, 1998.

REZENDE, C. de 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.E. & BODDEY, R.M. Litter deposition and disappearance in *Brachiaria* pastures in the Atlantic Forest region of the south of Bahia, Brazil. **Nutrients Cycling in Agroecosystems**, 54:99-112, 1999.

ROSOLEM, C.A.; CALONEGO, J.C. & FOLONI, J.S.S. Lixiviação de potássio da palha de coberturas de solo em função da quantidade de chuva recebida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.27 p.355-362, 2003.

RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I. & KAMINSKI, J. Depleção do fósforo inorgânico de diferentes frações provocadas pela extração sucessiva com resina em diferentes solos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24 p. 345-354, 2000.

SAS INSTITUTE. **The SAS System for Windows**. CD-ROM for Windows 32-bits. 1999.

SILVA, M.L.N.; CURI, N.; BLANCANEAUX, P.; LIMA, J.M. & CARVALHO, A.M. Rotação adubo verde – milho e adsorção de fósforo em Latossolo Vermelho-Escuro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** v.32 p.649-654, 1997.

Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**. 306 p. 2006.

SOUZA, W.J.O.; MELO, W.J. Teores de nitrogênio no solo e nas frações da matéria orgânica sobre diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:885-896, 2000.

SCHUNKE, R.M. Qualidade, decomposição e liberação de nutrientes da liteira de quatro cultivares de *Panicum maximun*. Rio de Janeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, **Tese** (Doutorado). 88p. 1998.

STUTE, J.K.; POSNER, J.L. Synchrony between legume nitrogen release and corn demand in the Upper Midwest. **Agronomy J**, v.87, p.1063-1069, 1995.

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

TORRES J. L. R.; PEREIRA. M. G.; ANDRIOLI. I.; POLIDORO J. C.; FABIAN. A. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:609-618, 2005.

CAPÍTULO 3

CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE CANA EM ARGISSOLO AMARELO NA REGIÃO DE CORURIFE-ALAGOAS

Costa, J.V.T.⁸; Lira Junior, M. A.^{9,10}; Dubeux Junior, J. C. B.⁹, Freire, F.J.⁹

RESUMO

O experimento foi realizado em áreas da Usina Coruripe, a 75 m acima do nível do mar nas coordenadas 10°08'31"S e 36°18'16"O em Coruripe (AL). A temperatura média da região é 27°C com média das máximas de 32°C e a média das mínimas de 21°C e com média da umidade relativa do ar máxima de 95% e mínima de 65%. A precipitação pluvial média anual é de 1500 mm. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram na inoculação de sementes de *Crotalaria spectabilis* avaliando-se três estirpes de *Bradyrhizobium spp.* recomendadas para produção comercial de inoculante para esta espécie (BR 2003, BR 2811 e SEMIA 6156) em comparação com as nativas do local do experimento para os tratamentos não inoculados, com ou sem suplementação de micronutrientes, em arranjo fatorial com fornecimento de 60 kg de N ou ausência deste fornecimento. Além dos tratamentos aplicados na crotalaria cultivada como adubo verde, foram adotados os tratamentos sem adubação verde com 0, 30, 60, 90 e 120 kg de N/ha, Crotalaria + Gesso + O N, Crotalaria + Gesso + 60 N totalizando 20 tratamentos. O máximo perfilhamento ocorreu aos 60 DAP. A diferença na altura das plantas já podia ser notada a partir dos 120 DAP, com destaque para: CrotNat+60N, CrotSemia6156+60N, CrotBR2811+60N, CrotMix+60N, 30 kg de N, CrotNat+60N+AF(micro). Para o DC ocorreu diferença significativa para os tratamentos com nitrogênio com valores que variaram de 12 a

⁸ Engenheiro Agrônomo, Dr em Agronomia-Ciência do Solo. Coordenador do Departamento de Mecanização e Desenvolvimento Agrícola da Usina Coruripe - Matriz. Jose.costa@usinacoruripe.com.br

⁹ Professor Adjunto da UFRPE, bolsista do CNPq. mario.lira@depa.ufrpe.br; dubeux@dz.ufrpe.br; f.freire@depa.ufrpe.br

¹⁰ Autor para contato. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia, Av. D. Manoel de Medeiros S/N. Dois Irmãos, Recife, PE. 52171-900. mario.lira@depa.ufrpe.br

14 mm aos 60 DAP e de 22 mm a 27 mm aos 120 DAP. Para a produção de fitomassa total aos 360 DAP os destaques foram CrotMix+0N, Crotgesso+0N, CrotBR2003+0N e para os tratamentos com N os destaques foram: CrotMix+60N, 120 kg de N, CrotNat+60N e CrotbR2811+60N. O tratamento CrotNat+60N destacou-se na produtividade agrícola com 189 toneladas de cana por hectare (TCH) seguido pelos tratamentos: Crotgesso+60N e CrotNat+60N+AF(micro) que tiveram produtividades acima de 180 toneladas por hectare. O tratamento CrotNat+60N+AF(micro) se destacou pelo rendimento industrial com 25,449 TAH, sendo estes resultados superiores à média nacional.

Palavras-chave: cana-de-açúcar, adubo verde, *Crotalaria spectabilis*, nitrogênio

ABSTRACT

The experiment was conducted at Usina Coruripe, at 75 m above sea level at the 10°08'31"S and 36°18'16"W coordinates in Coruripe (AL). Average temperature is 27 C, with averages maximums and minimums of 32 and 21 C, and mean air humidity maximums and minimums of 95% and 65%. Average yearly rainfall is 1500 mm. The experimental design was in randomized blocks, with four replicates. Treatments were the inoculation of *Crotalaria spectabilis* evaluating three *Bradyrhizobium spp.* strains recommended for commercial inoculant production (BR 2003, BR 2811 e SEMIA 6156), comparing with native strains for uninoculated treatments with or without micronutrient supplementation, in a factorial arrangement with supply of 60 kg of N or without it. Besides the treatments on the green manure crop, the additional treatments without Green manure were 0, 30, 60, 90 and 120 kg N/ha, besides green manuring with gypsum, with or without 60 kg of N/ha, in a total of 20 treatments. Maximum rationing was at 60 DAP. Plant height differences could be observed from 120 DAP, with the highest results for CrotNat+60N, CrotSemia6156+60N, CrotBR2811+60N, CrotMix+60N, 30 kg de N, CrotNat+60N+AF(micro). For DC significant differences were observed for the treatments with additional nitrogen, with values ranging from 12 to 14 mm at 60 DAP and from 22 to 27 mm at 120 DAP. For total biomass production at 360 DAP the highest results were for CrotMix+0N, Crotgesso+0N, CrotBR2003+0N, while the N-receiving treatments with better results were CrotMix+60N, 120 kg de N, CrotNat+60N and CrotbR2811+60N. The highest agricultural yield was achieved by CrotNat+60N with 189 TCH, followed by Crotgesso+60N e CrotNat+60N+AF(micro),

both above 180 TCH. CrotNat+60N+AF(micro) had the highest industrial yield, with TAH, and all of the yields were higher than Brazilian average.

Key words: sugarcane, green manure, *Crotalaria spectabilis*, nitrogen

INTRODUÇÃO

A preocupação crescente por fontes de energias renováveis e menos poluentes tem elevado a demanda de biocombustíveis, dentre os quais se destaca o álcool proveniente da cana-de-açúcar. O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, seguido da Índia e Austrália, sendo que o Brasil no ano de 2006 apresentou área plantada de 7.086.671ha e uma produção equivalente a 455.291.462 toneladas de cana, segundo IBGE (2007). A área de cultivo da cana-de-açúcar tem se expandido muito, sobretudo no centro-sul brasileiro. Por outro lado, regiões tradicionalmente canavieiras, como as regiões dos Tabuleiros Costeiros e Zona da Mata do Nordeste, não dispõem mais de área para expansão, tornando-se imprescindível manejar a cultura corretamente para aumentar a produtividade (Farias et al., 2008). Os dados existentes no País foram obtidos, principalmente, em São Paulo (Carlucci & Ramos, 1989; Van Den Berg et al., 2000; Alvarez et al., 2000). Dentre os tópicos de pesquisa, são fundamentais os que visem estudar os índices de crescimento, desenvolvimento e de produção.

A análise do crescimento da cana-de-açúcar permite avaliar os efeitos de diferentes formas de adubação e tratos culturais, e é realizada por meio de avaliações seqüenciais do acúmulo de fitomassa ou de índices fisiológicos dela obtidos. O conhecimento da variação das fases de desenvolvimento da cultura de cana-de-açúcar durante o ciclo é fundamental para que se possa modelar e quantificar o crescimento nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura (Pereira & Machado, 1986; Teruel et al., 1997; Gava et al., 2001).

Magalhães (1979), Pereira e Machado (1987), Benincasa (1988) e Portes e Castro (1991) relatam que a partir dos dados de massa seca (MS) e área foliar (AF) amostrados em intervalos regulares de tempo (t), podem ser estimados alguns índices fisiológicos, tais como: acúmulo de massa seca (MS), índice de área foliar (IAF), taxa de crescimento da cultura (TCC), taxa de crescimento relativo (TCR), taxa de assimilação líquida (TAL).

Como a produtividade da cana-de-açúcar na região canavieira do Nordeste é muito dependente das condições ambientais, este trabalho teve com objetivo avaliar taxas de crescimento, desenvolvimento e produção da variedade de cana-de-açúcar RB 92579 em cana-planta na região de Coruripe - Alagoas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Usina Coruripe, a uma altitude de 75 m acima do nível do mar com as coordenadas 10°8'31"S e 36°18'16"O no município de Coruripe (AL). A temperatura característica da região média é 27° C com média das máximas de 32°C e a média das mínimas de 21°C e média da umidade relativa do ar máxima de 95% e mínima de 65%. A precipitação média anual é de 1500 mm.

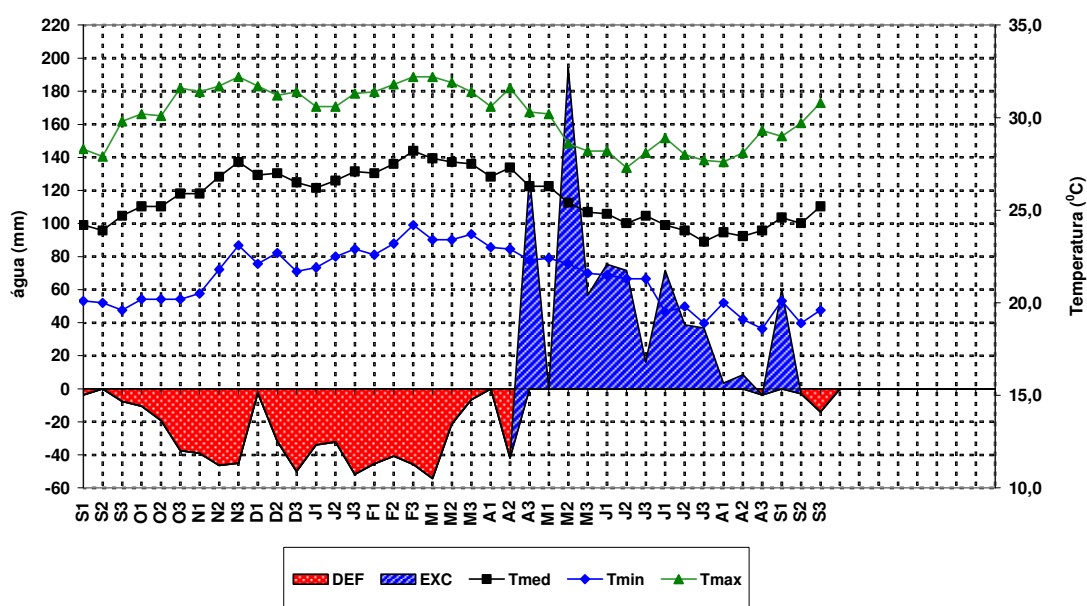


Figura 1. Precipitação pluvial e temperatura média a cada dez dias para o período de Setembro de 2006 a Setembro de 2007, Fazenda Santo Antonio A, Usina Coruripe, Alagoas.

O solo onde foi conduzido o experimento está classificado como Argissolo Amarelo Distrocoeso fragipânico, Textura média (leve), muito argilosa, Fase relevo suave ondulado (SiBCS, 2006). Foram feitas amostragens nas camadas de 0–10, 10–20 cm para determinar os atributos químicos. As amostras simples foram

coletadas na área útil do experimento e reunidas em uma amostra composta, sendo o solo destorroado e passado em peneira com malha de 4 mm, para remover raízes e fragmentos de palha. Após homogeneização, retirou-se uma subamostra que foi utilizada para as determinações químicas de acordo com a metodologia da Embrapa (1997), conforme Tabela 1.

No preparo do solo 60 dias antes da semeadura da *Crotalaria spectabilis* foi realizada calagem com calcário dolomítico na dose de 1,5 t ha⁻¹ conforme método da saturação por bases elevando a saturação do solo a 60%. O preparo de solo foi realizado em seguida com a realização de uma gradagem e após uma semana subsolagem mecânica a 55 cm com subsolador de 5 hastes com rolo nivelador marca Stara. O semeio foi realizado em 15 de maio de 2006. As sementes foram inoculadas de acordo com a metodologia descrita por Hungria (1994). Cada parcela era composta por quatorze linhas com 20 m de comprimento e 7 m de largura com espaçamento de 0,50 m entre si, com média de 20 sementes semeadas por metro linear. A área de cada parcela foi igual a 140 m².

Foram utilizadas três estirpes de *Bradyrhizobium spp.* recomendadas para produção comercial de inoculante para esta espécie (BR 2003, BR2811 e SEMIA 6156) em comparação com as nativas do local do experimento para os tratamentos não inoculados, com ou sem suplementação de molibdênio ou micronutrientes. Este experimento foi a primeira fase da pesquisa para produção de adubo verde inoculados com as estirpes recomendadas ou não inoculados, para estudo do efeito destes tratamentos na produção de cana-de-açúcar.

Tabela 1. Análise química do solo Argissolo Amarelo Distrocoeso fragipânico em duas profundidades (0-10 e 10 20 cm).

Prof (cm)	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	CTC (t)	CTC (T)	V	MO	Zn	Fe	Mn	Cu	B
	H ₂ O	mg/dm ³	mg/dm ³	cmolc/dm ³	cmolc/dm ³	cmolc/dm ³	cmolc/dm ³	cmolc/dm ³	cmolc/dm ³	cmolc/dm ³	%	dag/Kg	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³
00-10	6,1	25	78	1,5	0,7	0	2,6	2,48	2,27	5,08	48,5	1,29	3,9	49,5	6,29	0,86	0,4
10-20	5,5	27	50	1,1	0,5	0,1	3,2	1,76	1,17	4,96	35	0,78	3,5	132,5	5,30	0,59	0,4

pH em água, KCl e CaCl - Relação 1:2,5, P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Extrator Mehlich ¹, Ca - Mg - Al - Extrator: KCl - 1 mol/L, H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0, B - Extrator água quente, SB = Soma de Bases Trocáveis, CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva, CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0, V = Índice de Saturação de Bases, Mat. Org. (MO) - Oxidação: Na₂Cr₂O₇ 4N + H₂ SO₄ 10N. Determinados no Laboratório de Análise de Solos Viçosa Ltda.

A *C. spectabilis* foi cultivada por 90 dias e no dia 15 de Setembro de 2006 foi realizado o sulcamento direto sem incorporação sendo em seguida realizado o plantio da cana-de-açúcar variedade RB 92579 em fileira simples com 1,00 m de espaçamento. O plantio foi realizado manualmente com distribuição dos colmos no sulco de plantio. Os colmos foram cortados em toletes contendo 3 gemas cada e em seguida semeados 5 toletes por metro linear correspondendo a 15 gemas por metro linear e cobertos em seguida. No dia seguinte ao plantio foi realizada aplicação mecanizada de herbicida de pré e pós-emergência com um aplicador de herbicida Case modelo Patriot 350 serie 350039 na dose de 3 litros de glifosato por hectare e vazão de aplicação da calda de 150 litros por hectare.

A área experimental recebeu irrigação por aspersão com sistema de carretel auto propelido sendo aplicadas seis lâminas de 40 mm das quais duas foram para que a cana germinasse, com intervalo de 15 dias, e as restantes para o desenvolvimento da cultura com intervalos de 30 dias.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. Além dos tratamentos aplicados na crotalária cultivada como adubo verde, foram adotados os tratamentos 0, 30, 60, 90 e 120 kg de N/ha (sem plantio de crotalária), Crotalária + Gesso + 0 N, Crotalária + Gesso + 60 N totalizando 20 tratamentos (Tabela 2).

As parcelas foram formadas por sete linhas com 20 m de comprimento com espaçamento de 1,00 m entre si. A área da parcela foi igual a 140 m², e sua área útil de 100 m², correspondente às 5 linhas centrais. Esta parcela foi dividida em duas partes iguais sendo a primeira para avaliação dos parâmetros que envolviam análises destrutivas e a outra parte ficando para avaliações de produtividade da cultura da cana-de-açúcar ao final do ciclo da cultura quando foi realizada colheita final. Todas as parcelas foram colhidas através de colheita manual e pesadas com auxílio de uma carregadeira e um dinamômetro digital.

Foram realizadas 6 avaliações a cada 60 dias após a semeadura em cada parcela durante o ciclo da cana planta (360 DAP) para determinação do número de perfilhos, altura e diâmetro do colmo, área foliar, índice de área foliar e fitomassa total (foram avaliados 30 colmos por parcela). Para essas avaliações foram consideradas as 3 linhas centrais de cada parcela.

Tabela 2. Definição dos elementos que fizeram parte da composição dos tratamentos que foram: estirpes de rizóbios (recomendadas e nativas), crotalaria (presente ou ausente), N (presente ou ausente), adicionais (presente ou ausente) e legenda de tratamentos.

Estirpes	Crotalaria	Inoculante	N(kgha ⁻¹)	Adicionais	Tratamentos
Nativa	presente	ausente	0	ausente	CrotNat+0N
Nativa	presente	ausente	60	ausente	CrotNat+60N
Semia 6156	presente	presente	0	ausente	CrotSemia6156+0N
Semia 6156	presente	presente	60	ausente	CrotSemia6156+60N
BR 2811	presente	presente	0	ausente	CrotBR2811+0N
BR 2811	presente	presente	60	ausente	CrotBR2811+60N
BR 2003	presente	presente	0	ausente	CrotBR2003+0N
BR 2003	presente	presente	60	ausente	CrotBR2003+60N
Mix (Semia 6156, BR 2811, BR 2003)	presente	presente	0	ausente	CrotMix+0N
Mix (Semia 6156, BR 2811, BR 2003)	presente	presente	60	ausente	CrotMix+60N
Sem adubo verde	ausente	ausente	0	ausente	S/Aduboverde+0N
Sem adubo verde	ausente	ausente	60	ausente	S/Aduboverde+60N
Nativa	presente	ausente	0	ausente	CrotNat+0N+Mo
Nativa	presente	ausente	60	ausente	CrotNat+60N+Mo
Nativa	presente	ausente	0	presente	Crotgesso+0N
Nativa	presente	ausente	60	presente	Crotgesso+60N
Sem adubo verde	ausente	ausente	30	presente	30 kg de N
Sem adubo verde	ausente	ausente	90	presente	90 kg de N
Sem adubo verde	ausente	ausente	120	presente	120 kg de N
Nativa	ausente	ausente	60	presente	CrotNat+60N+AF(micro)

As determinações de altura foram obtidas com o auxílio de uma régua graduada com intervalos de 1 cm, medido do nível do solo até a primeira aurícula visível, classificada como folha +1, seguindo a recomendação sugerida por Kuijper (Dillewijn, 1952).

A contagem do número de perfilhos (plantas) foi realizada aos 60, 120, 180, 240, 300 e 360 DAP, nas cinco linhas de 10 metros em cada parcela.

Para a estimativa de crescimento foi utilizada a função logística, em que y_{\max} é o parâmetro que indica o crescimento máximo da cultura; x é a variável desejável (DAP); b é o ponto de inflexão da curva e c representa a taxa de crescimento.

$$\hat{y} = \frac{y_{\max}}{1 + \left(\frac{x}{b}\right)^{-c}}$$

O diâmetro foi determinado com o auxílio de um paquímetro, em mm, em 30 colmos escolhidos de forma aleatória para medição a partir de 1/3 da base da planta a cada 60 (DAP).

O método utilizado para determinação da área foliar e do índice de área foliar foi o de Hermann & Câmara (1999) modificado por Morais (2004). Para determinação da área foliar (AF) foram mensuradas comprimento e largura de cada folha +3 de 30 colmos por parcela, empregando a fórmula abaixo, em que: Afc - área foliar por colmo; C - comprimento da folha +3; L - largura da folha +3; 0,75 - fator de forma; N - número de folhas totalmente expandidas com pelo menos 20% de área verde (folha +1 a +7) fórmula proposta pela metodologia de Hermann e Câmara (1999) citado por Oliveira et al (2004).

$$AFC = CxLx0,75x(N + 2)$$

O índice de área foliar (IAF) foi calculado através da área foliar por colmo multiplicado pelo número de colmos encontrados em um hectare, dividido pela área do mesmo.

A determinação da fitomassa foi realizada a cada 60 DAP separando-se a planta em colmo, folha e ponteiro. Foram coletadas 1 m linear de cana de cada parcela. Cada parte foi pesada separadamente para determinação da produtividade parcial e total. Essas plantas foram coletadas em pontos fora da área útil da parcela em que as outras variáveis estavam sendo avaliadas para não interferir nos resultados das avaliações subseqüentes.

A qualidade da cana colhida de cada tratamento foi aferida através de análise tecnológica, em amostras coletadas no momento da colheita do experimento de acordo com a recomendação de avaliação contida na cartilha do Conselho dos produtores de cana-de-açúcar, açúcar e álcool dos Estados de Alagoas e Sergipe (Consecana-AL/SE 2006/2007), sendo as variáveis analisadas: Peso, Tch (tonelada de cana por hectare), Tah (toneladas de açúcar por hectare), Brix (teor de sólidos solúveis por cento, em peso, de caldo), Pol (teor de sacarose aparente por cento, em peso, de caldo), Pureza (porcentagem de pol em relação ao brix), Fibra ($F = 0,08 \times PBU + 0,876$, onde: PBU = peso do bagaço úmido da prensa, em gramas., Atr (açúcar total recuperável), Pc (pol da cana-de-açúcar), Umidade.

O material analisado resultou da mistura das amostras simples de cada parcela, preparadas em aparelhos desintegradores e em seguida homogeneizadas. Após a desintegração da amostra foi feita a pesagem de 500 g da amostra final homogeneizada em balança de precisão eletrônica. A extração do caldo, a pesagem do bagaço úmido e as leituras de brix e de pol foram feitas imediatamente após a desintegração e homogeneização das amostras. O caldo foi extraído em prensa hidráulica com pressão constante de 24,5 MPa (250 kgf/cm²), sobre a amostra, durante um minuto.

A análise estatística foi conduzida utilizando o Guided Data Analysis Procedure do SAS (SAS Institute, 1999) para determinação de eventuais “outliers” e transformações requeridas para obedecer aos requisitos da análise de variância, seguida por uso do GLM Procedure também do SAS. O modelo utilizado é o misto para medições repetidas no tempo, com seleção do modelo de covariância com base no AIC. Foi também realizado teste de medias entre as variáveis analisadas. Para as variáveis em que houve efeito significativo do tratamento, foi realizado o teste de Tukey, a 10% de significância, considerando que o experimento foi realizado em campo onde ocorrem muitas interferências devido ao acaso que não são possíveis de controle.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ponto máximo de perfilhamento ocorreu na avaliação realizada aos 60 DAP (Figura 1A,1B e 1C). Também é possível visualizar que ocorreu maior número de perfilhos nos tratamentos que receberam N o que se comprova nas avaliações realizadas até os 240 DAP, mas na avaliação feita aos 360 DAP essa diferença praticamente já não era mais visível, mostrando que esses tratamentos com N adicional tiveram maior perfilhamento inicial, mas não se mantiveram até o final das avaliações. O tratamento CrotMix+0N apresentou aumento no número de perfilhos aos 360 DAP em relação a avaliação realizada anteriormente aos 240 DAP fato este que não foi verificado para os demais tratamentos.

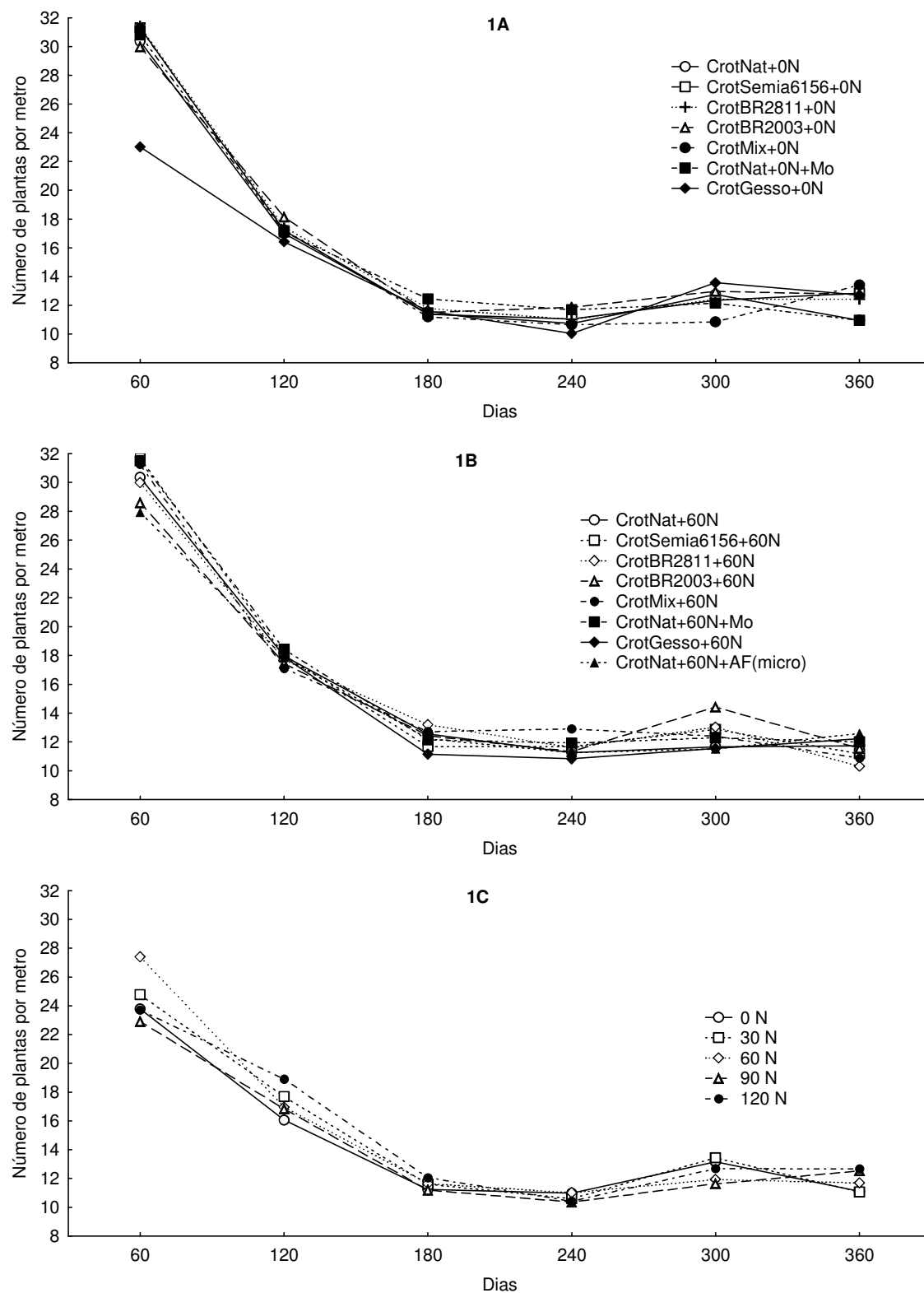


Figura 1. Número de plantas da cana – de – açúcar por metro linear em função dos tratamentos com adubo verde sem N (1A), com N (1B) ou sem adubação verde (1C), mas fertilizado com N.

Ocorreu efeito significativo para nitrogênio e idade, que pode ser explicado pelo fato de à medida que a cultura ia crescendo o nitrogênio prontamente disponível estava disponível, refletindo em canas com altura médias superiores a 3,70 m conforme pode ser observado na figura 2B. A diferença na altura das plantas já podia ser notada a partir dos 120 DAP, o que coincide com o fim do perfilhamento da maioria das variedades de cana-de-açúcar cultivadas no Brasil e o estabelecimento da cultura. Nesta avaliação os tratamentos que se destacaram foram: CrotNat+60N, CrotSemia6156+60N, CrotBR2811+60N, CrotMix+60N, 30 kg de N, CrotNat+60N+AF(micro), valendo salientar que todos estes tratamentos que se destacaram receberam complemento de N químicos.

A variação da altura das plantas de cana-de-açúcar apresentou três fases de desenvolvimento distintas em função da idade independentemente do tratamento como pode ser observado na figura 2A, 2B e 2C. Esse comportamento também foi observado em outras variedades com tratamentos diferentes, por outros pesquisadores em outras regiões do Brasil e do mundo (Inman-bamber, 1994; Robertson et al., 1996; Gava et al., 2001; Oliveira et al., 2004).

Considerando que inicialmente ocorreu o estabelecimento da cultura e que nessa fase o crescimento das plantas altura e diâmetro foi lento em função da pequena área foliar por colmo visto que as plantas eram novas e as folhas também estavam pequenas e pouco expandidas. Para manter o crescimento da cultura nesta fase, o suprimento hídrico foi atendido com laminas de irrigação para atender à demanda da cultura. A temperatura média do ar situou-se na faixa de 23 a 29°C dentro da faixa ideal de 24°C a 30°C (Liu et al., 1999) para o crescimento da cultura. Na segunda fase que ocorre logo após o fim do perfilhamento o crescimento das plantas em altura e diâmetro bem como para a área foliar ocorreu rápido. Essa fase foi responsável por cerca de 70% do crescimento total da cana, alcançando valores médios superiores a 3,50 m de altura na cana planta conforme pode ser observado na figura 2A, 2B e 2C. Esse aspecto de desenvolvimento da cultura também foi observado por Machado et al. (1982), Alvarez & Castro (1999) e Inman-Bamber et al., (2002).

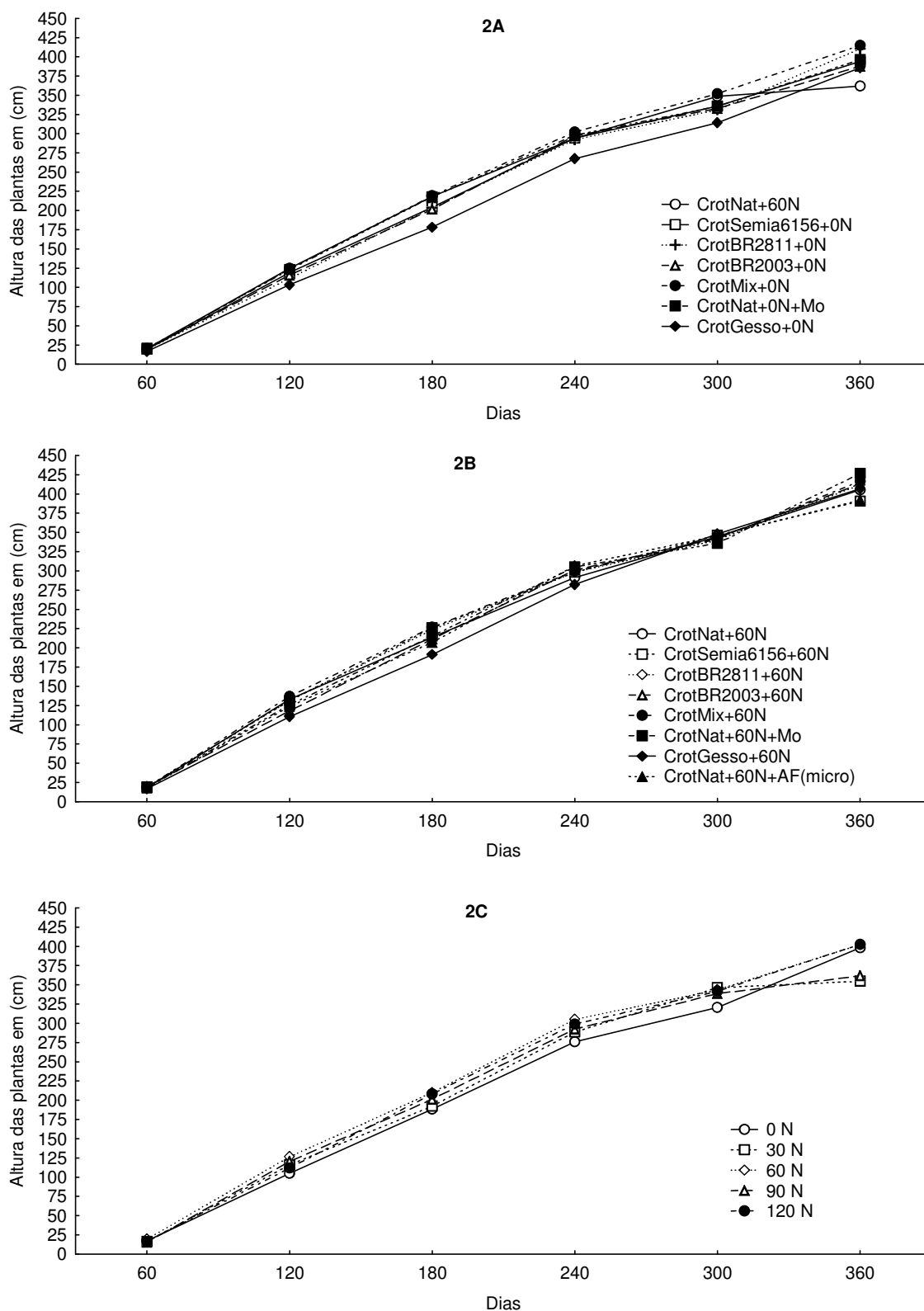


Figura 2. Altura das plantas de cana-de-açúcar (cm) em função dos tratamentos com adubo verde sem N (2A), com N (2B) ou sem adubação verde (2C), mas fertilizado com N.

Já o DCP apresentou duas fases bem distintas de desenvolvimento com valores que variaram de 12 a 14 mm na primeira avaliação realizada aos 60 DAP e a segunda fase de desenvolvimento com valores que variaram de 22 mm a 27 mm, constatados na avaliação realizada aos 120 DAP. Nas avaliações seguintes o desenvolvimento apresentou pouca variação (Figura 3).

Na figura 3A, 3B e 3C observa-se que para o diâmetro do colmo ocorreu aumento independente do tratamento na avaliação realizada aos 60 DAP. Nas avaliações que foram realizadas posteriormente verificou-se que esse aumento foi crescente chegando até 26 mm em tratamentos adubo verde com adição de nitrogênio e com nitrogênio sem adubo verde conforme figura 3B e 3C que foram CrotNat+60N+Mo, CrotNat+60N e 120 kg de N. Resultados semelhantes foram encontrados por Oliveira et al., (2004) em que constatou diferença no diâmetro a partir dos 180 DAP.

A área foliar apresentou diferenças distintas nos tratamentos com adubo verde a partir das primeiras avaliações. Já para os tratamentos com N ocorreu diferenças significativas entre tratamentos ao longo do tempo. Foi observado aumento da área foliar para a maioria dos tratamentos até os 240 (DAP) com exceção dos tratamentos CrotBR2003+60N, CrotMix+60N que apresentaram sua maior área foliar aos 180 (DAP). Essa observação do aumento da área foliar até os 240 (DAP) também foi observado por Teruel et al. (1997) que menciona que a máxima área foliar em plantas de cana de açúcar ocorre dentro do intervalo do 5° ao 8° mês.

Para o IAF os tratamentos que se destacaram foram os que receberam N, valendo salientar que estes tratamentos nesta avaliação apresentaram IAF variando de 4 a 6. Esses valores encontrados já são semelhantes aos encontrados por Irvine (1980) que afirma ter encontrado valores que variaram entre 4 e 8 meses. Na avaliação realizada aos 360 (DAP) observa-se que ocorreu redução no IAF para a maioria dos tratamentos ficando em torno de 3 a 4,5; esses resultados são semelhantes aos encontrados por Almeida (2006) trabalhando com a variedade RB 92579 até 360 (DAP).

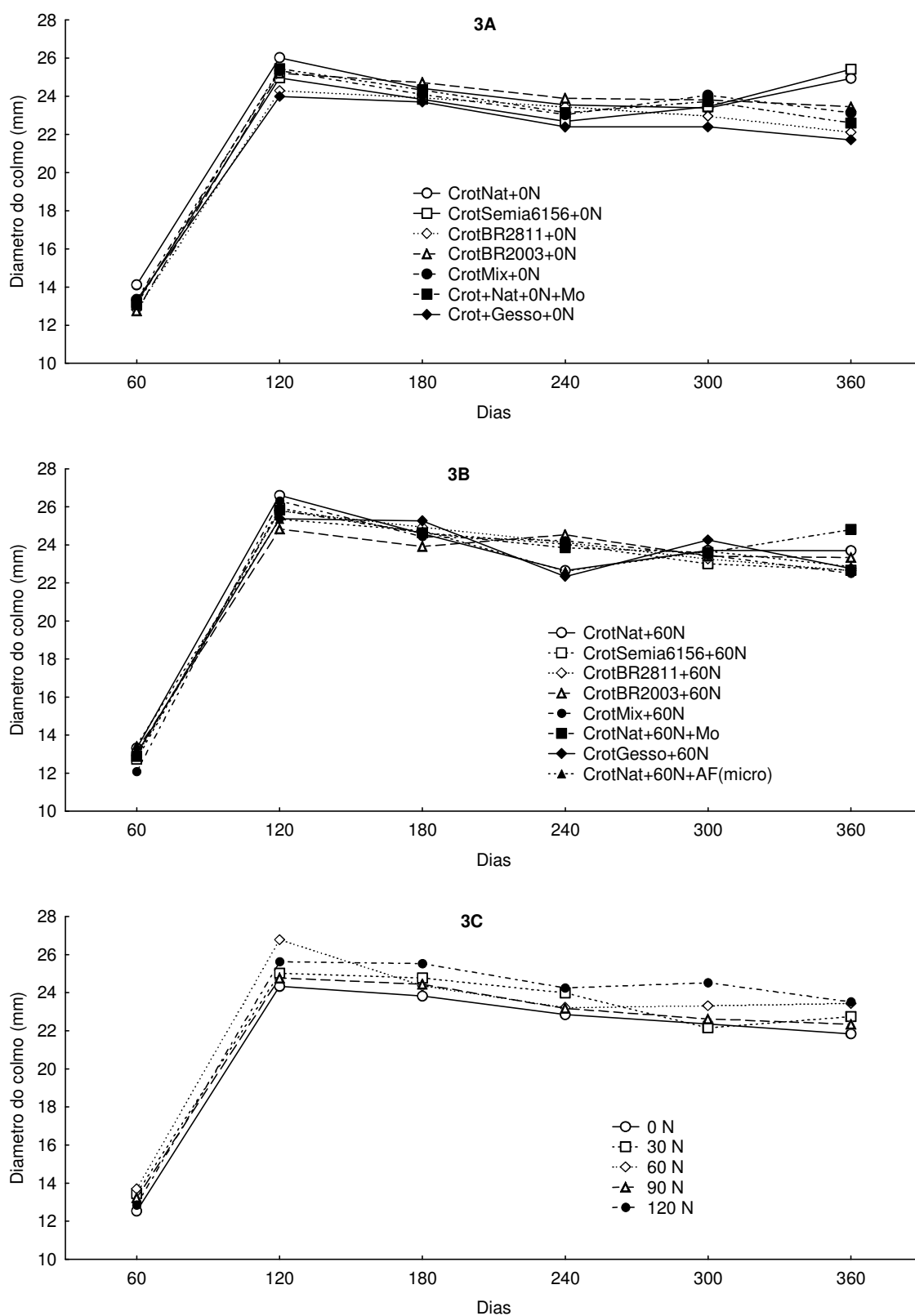


Figura 3. Diâmetro do colmo das plantas de cana-de-açúcar (mm) em função dos tratamentos com adubo verde sem N (3A), com N (3B) ou sem adubação verde (3C), mas fertilizado com N.

A taxa de acúmulo de fitomassa total ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$) apresentou diferenças com relação aos tratamentos que continham N e os que não continham N ao longo do tempo. Para os tratamentos com 60 N com taxa de acúmulo de fitomassa total superior a $150 \text{ kg MS ha}^{-1}\text{d}^{-1}$ na avaliação realizada aos 120 DAP. Na avaliação realizada aos 360 DAP com produção de fitomassa total superior a $180 \text{ kg MS ha}^{-1}\text{d}^{-1}$. Esses valores são compatíveis com trabalhos realizados por Machado (1981) que obteve a taxa máxima de crescimento de $25 \text{ g MS m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, no período de 300 a 400 dias após plantio, sendo a taxa média de crescimento em torno de $12 \text{ g MS m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Barbieri (1993), encontraram o valor de $40 \text{ g MS m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ para a taxa máxima de acúmulo de fitomassa, mas isto em condições excepcionais, com a produtividade de colmos atingindo 150 Ton ha^{-1} . Na Austrália, Muchow et al. (1994) obtiveram uma taxa de crescimento semelhante, na fase linear os mesmos verificaram uma taxa de $41,1 \text{ g MS m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

Com relação às análises de produtividade agrícola e tecnológica os tratamentos não se diferenciaram, apesar do CV ser relativamente baixo, e das produtividades serem muito altas. Esta ausência de resposta ocorre, na literatura em grande número de experimentos com cana-planta não apresentaram resposta em produtividade ao nitrogênio, o que se têm atribuído à fixação biológica do N atmosférico; às perdas por lixiviação do N-fertilizante; ao vigor do sistema radicular da cana-planta comparada ao de soqueiras; às condições climáticas, como temperatura e pluviosidade; à melhoria da fertilidade do solo após a reforma dos canaviais, associada à calagem, ao preparo mecânico e à incorporação de restos da cultura anterior e adubação verde (Azeredo et al., 1986; Carnaúba, 1989; Orlando Filho et al., 1999; Urquiaga et al., 1992). Carneiro et al., (1995) procuraram demonstrar que o conteúdo de nitrogênio no colmo-semente também pode contribuir para a nutrição nitrogenada da cana-de-açúcar e, juntamente com os demais fatores que disponibilizam o nitrogênio à cultura, justificaria, em parte, a falta de resposta da cana-planta à fertilização nitrogenada. Outros fatores, tais como variedades responsivas a nitrogênio e atendimento aos limites críticos de disponibilidade de nutrientes no solo também podem ser citados como justificativas à falta de resposta da cana-planta a adubação nitrogenada.

Não ocorreram efeitos significativos de quaisquer dos tratamentos sobre as características de análise tecnológica (Tabela 3), mas o tratamento CrotNat+60N destacou-se em primeiro lugar na produtividade agrícola com 189,64 toneladas de

cana por hectare (TCH) e ficando em terceiro com relação a toneladas de açúcar por hectare (TAH), seguido pelos tratamentos: Crotgesso+60N e CrotNat+60N+AF(micro) que também tiveram produtividades acima de 180 toneladas por hectare. O Tratamento CrotNat+60N+AF(micro) também se destacou pelo rendimento industrial de toneladas de açúcar por hectare com (25,449 TAH). Dos 20 tratamentos analisados apenas 2 tratamentos tiveram um rendimento agrícola inferior a 150 toneladas de cana por hectare e abaixo de 21 toneladas de açúcar por hectare que foram: CrotMix+0N e S/Aduboverde+0N. Vasconcelos (1998), ao estudar o comportamento de clones e cultivares de cana - de - açúcar, obteve a produtividade, para o cultivar RB 855536 de 144,79 t ha⁻¹ por ocasião da colheita aos 495 DAP. Resultados similares e superiores foram obtidos no presente estudo, onde as produtividades da variedade RB 92579 variou de 144 a 189 t ha⁻¹. Vasconcelos (1998) e Silveira et al. (2002) encontraram para o cultivar RB72454, produtividade (197,7 t ha⁻¹) um pouco superior aos resultados obtidos neste trabalho. Já os resultados obtidos por Maule et al. (2001), ao avaliar a produtividade do mesmo cultivar RB72454, em dois tipos de solos, foram entre 166 a 207 t ha⁻¹.

Tabela 3. Análises de produtividades agrícolas e tecnológicas da cana – de – açúcar para os tratamentos analisados.

TRATAMENTOS	TCH	TAH	BRIX	POL	PUR	FIBRA	ATR	PC	UMID	AR	MCUS\$
CrotNat+0N	155,36	21,311	18,23	16,45	90,19	12,51	134,94	13,80	70,98	0,635	1492,14
CrotNat+60N	189,64	23,612	16,51	14,62	88,49	11,83	122,38	12,41	73,06	0,685	1595,63
CrotSemia6156+0N	173,57	22,584	17,50	15,45	88,03	12,62	127,16	12,92	71,56	0,686	1551,84
CrotSemia6156+60N	175,00	23,287	17,79	15,86	89,11	12,38	130,81	13,33	71,52	0,663	1613,27
CrotBR2811+0N	172,14	22,324	17,39	15,44	88,50	12,70	126,86	12,90	71,58	0,674	1532,09
CrotBR2811+60N	176,79	23,760	17,88	15,93	89,03	12,29	131,58	13,41	71,49	0,666	1651,78
CrotBR2003+0N	170,36	23,454	18,09	16,22	89,33	11,97	134,54	13,73	71,58	0,663	1644,18
CrotBR2003+60N	157,50	21,060	18,03	15,88	88,01	12,41	131,10	13,34	71,29	0,690	1461,51
CrotMix+0N	149,64	20,574	17,96	16,16	89,91	12,38	133,00	13,59	71,34	0,644	1441,66
CrotMix+60N	177,14	21,437	16,55	14,31	86,36	12,03	119,96	12,11	72,85	0,734	1432,24
S/Aduboverde+0N	144,29	19,881	18,12	16,55	91,21	13,03	134,22	13,75	70,69	0,606	1394,14
S/Aduboverde+60N	163,21	22,035	18,19	16,26	89,33	12,92	132,64	13,54	70,72	0,652	1534,28
CrotNat+0N+Mo	176,43	24,957	18,85	16,96	89,96	12,95	138,01	14,13	70,13	0,636	1765,50
CrotNat+60N+Mo	168,93	23,697	18,61	16,78	90,08	13,08	136,10	13,93	70,26	0,632	1671,75
Crotgesso+0N	160,71	21,262	17,76	15,88	89,36	12,80	129,96	13,25	71,16	0,652	1469,89
Crotgesso+60N	185,71	22,341	16,44	14,32	86,72	12,80	118,36	11,96	72,29	0,715	1489,06
30 kg de N	173,21	22,397	17,45	15,47	88,45	12,34	127,84	13,00	71,84	0,680	1535,47
90 kg de N	156,43	22,113	18,78	16,96	90,24	12,87	138,07	14,14	70,23	0,630	1564,01
120 kg de N	162,86	23,686	19,11	17,29	90,34	13,00	140,25	14,38	69,87	0,626	1690,72
CrotNat+60N+AF(micro)	180,71	25,449	18,56	16,77	90,35	12,76	136,83	14,01	70,51	0,628	1797,62

TCH = tonelada de cana por hectare; TAH= tonelada de açúcar por hectare; BRIX= teor de sólidos solúveis por cento, em peso, de caldo; PUR = pureza; FIBRA= fibra (%); ATR = quantidade de açúcar total recuperável; PC = Pol % Cana; UMID = umidade da cana; AR= teor de açúcares redutores por cento do caldo; MCUS\$ = margem de contribuição financeira em dólares U\$ = (0,94*PC-3,29)*TCH.

CONCLUSÕES

O máximo perfilhamento ocorreu aos 60 DAP a partir desta avaliação começou a ocorrer redução do número de perfilhos para todos os tratamentos.

Para massa verde no colmo e a taxa de acúmulo de fitomassa total ($\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$) o melhores resultados foram os que receberam adição nitrogênio.

No rendimento industrial o melhor tratamento foi CrotNat+60N + AF (Micro) e na produtividade agrícola CrotNat+60N com resposta superior a média Nacional.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal Rural de Pernambuco pela oportunidade de poder ter realizado o curso de Mestrado e Doutorado. A Usina Coruripe por todo apoio oferecido para que este trabalho fosse realizado. A FAPEAL Fundação de Amparo a Pesquisa no Estado de Alagoas e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelas bolsas concedidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A.C.S.; MOURA FILHO, G.; SILVA, L.C.; SOUZA, J.L.; TEODORO, I.; BARBOSA, G.V.S. Crescimento e absorção de nutrientes em quatro variedades de cana - de – açúcar. UFAL. Rio Largo. **Monografia**. 21p. 2006.

ALVAREZ, I. A.; CASTRO, P. R. C. Crescimento da parte aérea da cana crua e queimada. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 1069-1079, 1999.

ALVAREZ, I. A.; CASTRO, P. R. de C.; NOGUEIRA, M. C. S. Crescimento de raízes de cana crua e queimada em dois ciclos. **Scientia Agrícola**, v.57, n.4, p.653-659, 2000.

AZEREDO, D.F.; BOLSANELLO, J.; WEBWE, H.; VIEIRA, J.R. Nitrogênio em cana-planta doses e fracionamento. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.4, p.25-29, 1986.

BARBIERI, V. Condicionamento climático da produtividade potencial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*): um modelo matemático-fisiológico de estimativa. **Tese** (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 142 p. 1993.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal : FUNEP, 42p. 1988.

CARLUCCI, M. V.; RAMOS, M. T. B. Influência da deficiência hídrica no florescimento e características tecnológicas da cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.24, n.4, p. 461-466, 1989.

CARNAÚBA, B.A.A. Eficiência de utilização e efeito residual de uréia-15N em cana-de-açúcar(*Saccharum spp.*), em condições de campo. **Tese** (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 193p. 1989.

CARNEIRO, A.E.V.; TRIVELIN, P.C.O.; VICTORIA, R.L. Utilização da reserva orgânica e do nitrogênio do tolete de plantio (colmo-semente) no desenvolvimento da cana-planta. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.53, n.2, p.199-209, 1995.

CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL DOS ESTADOS DE ALAGOAS E SERGIPE. **CONSECANA-AL/SE**. Sistema de remuneração da tonelada de cana-de-açúcar com base no açúcar total recuperável (ATR) 12 p. SAFRA 2006/2007.

DILLEWIJN, C. Van. Botany of sugarcane. Waltham: **The Chronica Botanica**, 371p. 1952.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa - CNPS, 212 p. 1997.

FARIAS. C. H. A.; FERNANDES. P. D. AZEVEDO. H M. ; NETO. J.D. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba.

Campina Grande, PB, UAEAg/UFCG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.12, n.4, p.356–362, 2008.

GAVA, G. J. C.; TRIVELIN, P. C. O.; OLIVEIRA, M. W.; PENATTI, C. P. Crescimento e acúmulo de nitrogênio em cana-planta cultivada em solo coberto com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1347-1354, nov. 2001.

HERMANN, E.R.; CÂMARA, G.M.S. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. **Revista da STAB**. Piracicaba, v.17, n.5, p.32-34, 1999.

HUNGRIA, M. Coleta de nódulos e isolamento de rizóbio. In M. Hungria & R.S. Araújo (Ed.). **Manual e métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Embrapa-CNPAP, Brasília, Distrito Federal. p. 45-61. 542 p. 1994.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?z=t&> acessado em 20 de novembro de 2008.

IRVINE, J.E. Sugarcane. In: International Rice Research Institute. **Potential Productivity of Field Crops Under Different Environments**. Los Bãnos. Philippines: IRRI. P. 361-382. 1980.

INMAN-BAMBER, N. G. Temperature and seasonal effects on canopy development and light interception of sugarcane. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 36, p. 41-51, 1994.

INMAN-BAMBER, N. G.; MUCHOW, R. C.; ROBERTSON, M. J. Dry partitioning of sugarcane in Australia and South Africa. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 76, p. 71-84, 2002.

LIU, D. L.; KINGSTON, G.; BULL, T. A. A new technique for determining the thermal parameters of phenological development in sugarcane, including sub optimum and supra-optimum temperature regimes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 90, p. 119-139, 1999.

MAULE, R. F.; MAZZA, J. A.; MARTHA JR., G. B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agrícola**. Piracicaba, v.58, n.2, p.295-301, 2001.

MACHADO, E. C. Um modelo matemático-fisiológico para simular o acúmulo de matéria-seca na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). Campinas, **Dissertação** (Mestrado - Instituto de Biologia - Universidade Estadual de Campinas). 115p. 1981.

MACHADO, E. C.; PEREIRA, A. R.; FAHL, J. I.; ARRUDA, H. V.; CIONE, C. Índices biométricos de duas variedades de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 9, p. 1323-1329, set. 1982.

MAGALHÃES, A. C. N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M. G. (Ed). **Fisiologia vegetal**. São Paulo : Edusp, v.1, p.331-349. 1979.

MORAIS, J.F.B. Estimativa da área foliar de quatro variedades de cana-de-açúcar. Rio Largo. UFAL, **Monografia**. 16 p. 2004.

MUCHOW, R.C.; SPILLMAN, M.F.; WOOD, A.W.; THOMAS, M.R. Radiation interception and biomass accumulation in a sugarcane crop grown under irrigated tropical conditions. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 45, p. 37-49, 1994.

OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. T.; ZUFELLATO-RIBAS, K. C.; KOEHLER, H. S.; SILVA, D. K. T. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no estado do Paraná. **Scientia Agrária**, Curitiba, v. 5, n. 1/2, p. 87-94, 2004.

ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A.A.; BELTRAME, J.A.; LAVORENTI, N.A. Doses, fontes e formas de aplicação de nitrogênio em cana-de-açúcar. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.17, n.4, p.39-41, 1999.

PEREIRA, A.R.; MACHADO, E.C. Um simulador dinâmico do crescimento de uma cultura de cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 45, n. 1, p. 107-122, 1986.

PEREIRA, A. R.; MACHADO, E. C. Análise quantitativa do crescimento de comunidade de vegetais. Campinas : Instituto Agronômico de Campinas - **IAC**, (Boletim técnico). 33p.1987.

PORTES, T. A.; CASTRO Jr., L. G. Análise de crescimento de plantas: um programa computacional auxiliar. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**: Campinas - SP, v.3, n.1, p.53-56, 1991.

ROBERTSON, M. J.; WOOD, A. W.; MUCHOW, R. C. Growth of sugarcane under high input conditions in tropical Australia: I. radiation use, biomass accumulation and partitioning. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 48, p. 11-25, 1996.

SAS INSTITUTE. **The SAS System for Windows**. CD-ROM for Windows 32-bits. 1999.

SILVEIRA, L. C. I.; OLIVEIRA, M. W.; BARBOSA, M. H. P.; ANDRADE, M. B. B.; MENDES, L. C. Crescimento e produção de sacarose por seis variedades da cana. In: 8º CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 2002, Recife - Pernambuco. **Anais**, p.337-2002.

SiBCS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 306 p. 2006

TERUEL, D.A.; BARBIERI, V.; FERRARO Jr., L.A. Sugarcane leaf area index modeling under different soil water conditions. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.54, número especial, p.39-44, 1997.

URQUIAGA, S.; CRUZ, K.H.S.; BODDEY, R.M. Contribution of nitrogen fixation to sugar cane: nitrogen-15 and nitrogen balance estimative. **Soil Science American Journal**, Madison v.56, p.105-114, 1992.

VASCONCELOS, A. C. M.; Comportamento de clones IAC e variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) nas condições edafoclimáticas da região do Vale do Parapanema. Jaboticabal: **Dissertação** (Mestrado em Agronomia, Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista. 108p. 1998.

VAN DEN BERG, M.; BURROUGH, P. A.; DRIESSEN, P. M. Uncertainties in the appraisal of water availability and consequences for simulated sugar cane yield potentials in: São Paulo State, Brazil. **Agri Crop Ecosystems; Environment**, v.81, p.43-55, 2000.