

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

GLEICE MENEZES DE ALMEIDA

Eficiência da adubação nitrogenada e manejo de resíduos na produção de
sementes do capim-braquiária

MARINGÁ

2015

GLEICE MENEZES DE ALMEIDA

Eficiência da adubação nitrogenada e manejo de resíduos na produção de
sementes do capim-braquiária

Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Agronomia do
Departamento de Agronomia, Centro de
Ciências Agrárias da Universidade Estadual de
Maringá, como requisito parcial para obtenção
do título de Mestre em Agronomia.

Área de concentração: Solos e
Nutrição de Plantas

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos
Saraiva da Costa

Coorientador: Prof. Dr. Marcos
Weber do Canto

MARINGÁ

2015

A653e ALMEIDA, Gleice Menezes de

Eficiência da adubação nitrogenada e manejo de resíduos na produção de sementes do capim-braquiária. Gleice Menezes de Almeida. Maringá: UEM., 2015.
70p.

Contém tabelas e figuras
Mestrado em Agronomia
Área de Concentração: Solos e nutrição de Plantas

Orientador: Prof^o. Dr. Antonio Carlos Saraiva da Costa
Coorientador: Prof^o. Dr. Marcos Weber do Canto

1. Balanço de Nitrogênio. 2. Capim-braquiára. 3. Eficiência de Adubação de Nitrogênio. 4. Manejo de Resíduos de Plantas. Universidade Estadual de Maringá-UEM. I. Título.

CDD 22^a Ed. 631.4
NBR 12899 - AACR/2

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Valdemar Rocha de Almeida e Maria Menezes de Almeida, por me ensinar a virtude da simplicidade, da honestidade e do amor.

AGRADECIMENTOS

Primordialmente a Deus, pois esteve sempre presente nos momentos de alegrias e nos momentos difíceis que passei nessa fase da vida, sem ele eu nada conseguiria e conquistaria.

Ao meu orientador e professor Dr. Antonio Carlos Saraiva da Costa, pela oportunidade do mestrado, pela confiança e paciência durante a realização do trabalho.

Ao professor e meu coorientador Dr. Marcos Weber do Canto, por todo o conhecimento compartilhado e pela paixão, que hoje eu posso dizer que tenho na área de Forragicultura. A semente desta paixão foi plantada na graduação, hoje é apenas a germinação, e a produtividade dessa semente tenderá a aumentar cada vez mais com o passar dos anos. Por nunca desacreditar que eu pudesse seguir no mundo acadêmico, e por todo o apoio. Não o tenho apenas como um professor e um bom amigo, e sim um carinho fraternal que vou levar para sempre comigo.

A minha família, meu pai Valdemar Rocha de Almeida, aos meus irmãos Ailton Menezes de Almeida, Dejair Menezes de Almeida e Jair Menezes de Almeida e irmãs Irma Menezes dos Santos e Nair Menezes Montini, as minhas cunhadas Kelli Delamare Marini e Sandra Menezes de Almeida, ao meu sobrinho Matheus Montini de Souza que, após o nascimento dele, a minha vida, em particular, teve mais sentido. Mas agradeço em especial a minha mãe Maria Menezes de Almeida, mesmo longe, foi a minha força para continuar e nunca desistir, pois mesmo na dificuldade nunca mediu esforços para me ajudar.

Ao professor Dr. Paulo César de Faccio Carvalho e ao Grupo de Pesquisa em Ecologia do Pastejo (GPEP) e ao Grupo de Pesquisa em Integração Lavoura-Pecuária (GPILP) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pela oportunidade, pelo aprendizado do trabalho em grupo e por todo conhecimento adquirido no período que estive lá durante essa etapa. Cito dois integrantes do grupo em especial, Pedro Arthur de Albuquerque Nunes e William Filho, pela maior convivência nesse período e por me aceitarem com toda dedicação em dividir os afazeres de um dos mais relevantes e conhecido experimento de Integração Lavoura Pecuária do Brasil, protocolo Tupã, e por fim pela amizade conquistada.

À coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Maringá (UEM), pela oportunidade concedida, aos docentes, amigos e funcionários, pelo apoio para a realização desta dissertação.

A estagiária e amiga Bruna Laís Afonso Sella, pela pronta ajuda nos meses finais para entrega desta dissertação, meu muito obrigada.

E agradeço, por fim, a todas as pessoas que contribuíram direta e indiretamente a realização desse projeto.

BIOGRAFIA

Gleice Menezes de Almeida, filha de Valdemar Rocha de Almeida e Maria Menezes de Almeida, nasceu na cidade de Maringá, no estado do Paraná, no dia 18 de março de 1986. Em janeiro de 2011, graduou-se no curso de Agronomia pela Universidade Estadual de Maringá e, em março de 2013, iniciou o Curso de Pós-Graduação em Agronomia, em nível de mestrado, na área de Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade Estadual de Maringá.

EPÍGRAFE

“Determinação, coragem e autoconfiança são fatores decisivos para o sucesso. Se estamos possuídos por uma inabalável determinação, conseguimos superá-los. Independentemente das circunstâncias, devemos ser sempre humildes, recatados e despidos de orgulho”

(DALAI LAMA)

Eficiência da adubação nitrogenada e manejo de resíduos na produção de sementes do capim-braquiária

RESUMO

A remoção de resíduos de plantas (RRP) de rebaiamentos em culturas do capim-braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf) para a produção de sementes pode incrementar o rendimento de sementes puras (RSP), mas, em contrapartida, pode reduzir a concentração de nitrogênio nas plantas (CNP), absorção de nitrogênio (N), o balanço de N e a eficiência da adubação nitrogenada. Entretanto, existem incertezas sobre a interação entre a RRP ou a não remoção de resíduos de plantas (NRRP) de cortes de rebaiamento e taxa de aplicação de N. Este estudo conduzido em uma cultura de capim-braquiária para a produção de sementes objetivou: 1) avaliar os efeitos de práticas de manejo de resíduos de plantas (PMRP) de cortes de rebaiamento (RRP ou a NRRP) realizados no início de outubro (em preparação a colheita de janeiro) e pós-colheita de janeiro (em preparação a colheita de maio) e de doses de N (0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹) no RSP, na CNP, absorção de N e no balanço presumido de nitrogênio remanescente após a colheita (BPNRAC); 2) determinar a eficiência de absorção de N (EAN), eficiência de utilização de N (EUtN) e a eficiência de uso de N (EUN), bem como outras eficiências de N comumente usadas na literatura; e 3) determinar correlação entre a CNP, absorção de N, EAN, EUtN e a EUN com o RSP. O estudo foi conduzido em Umuarama, Noroeste do Paraná, Brasil, nas estações de crescimento de 2010-2011 e 2011-2012. O delineamento experimental usado foi blocos ao acaso em esquema de parcela subdividida, com três repetições. A CNP e a absorção de N foram significativamente maiores com a NRRP somente na colheita de maio de 2011, nas demais colheitas não diferiram em resposta as PMRP. A CNP e a absorção de N aumentaram de maneira quadrática com o aumento na dose de N em todas as colheitas. Nas colheitas de janeiro e maio de 2011, a variação na CNP foi de 0,9 a 1,3 g de N kg de matéria seca⁻¹ (MS), enquanto que na absorção de N foi de 90 a 200 kg ha⁻¹ de N. Os resultados mostram que, em todas as colheitas, quando houve a RRP, o BPNRAC teve comportamento curvilíneo negativo. Contrariamente, com a NRRP e com a dose de N incrementada, o BPNRAC aumentou e então atingiu o platô. Em geral, na dose de N de 50 kg ha⁻¹, a EAN e a EUN tiveram valores melhores. A eficiência fisiológica de N (EFN) foi afetada pelo N somente no ciclo de produção de sementes de maio de 2012. A eficiência de produção de biomassa (EPB) não foi afetada pela adubação de N em nenhuma

colheita. Correlações significativas e positivas, consistentes em todas as colheitas, foram observadas entre a CNP, absorção de N e EUtN com o RSP, com exceção da EUtN na colheita de maio de 2012, na qual o coeficiente de correlação não foi significativo.

Palavras-chave: Balanço de nitrogênio. Capim-braquiária. Eficiência de adubação de nitrogênio. Manejo de resíduos de plantas.

Nitrogen fertilization efficiency and residue management on seed production of signalgrass

ABSTRACT

Plant residues removal (PRR) of cleaning cuts in seed crops of signalgrass (*Brachiaria decumbens* Stapf) can increase pure seed yield (PSY), but on the other hand, can reduce the plant nitrogen concentration (PNC), nitrogen (N) uptake, and affect the efficiency of N fertilization and the balance of N. There are still uncertainties, however, related to the interaction with no removal of plant residues (RNPR) of closing cleaning cuts and N fertilizer rates. This study conducted with signalgrass seed crops aimed to: i) evaluate the effects of plant residues management practices (PRMP) of cleaning cuts (plant residues removed or retained) in the initial october (in preparation for january harvest) and post-harvest january (in preparation for may harvest) and N fertilizer rates (0, 50, 100 and 150 kg ha⁻¹) on PSY, in PNC, N uptake, and the balance presumed of N remaining after harvest (BPNRAH); ii) determine the nitrogen uptake efficiency (NUpE), nitrogen utilization efficiency (NUtE), nitrogen use efficiency (NUE), as well as other N efficiencies commonly used in the literature, and iii) determine if there was correlation between PNC, N uptake, NUpE, NUtE and NUE with PSY. The study was conducted in Umuarama, northwestern Paraná, Brazil, during the growing seasons of 2010-2011 and 2011-2012. The experiment was arranged in a randomized blocks design in a split-plot scheme, with three replications. The PNC and N uptake was significantly higher when plant residues were retained in the soil only in may 2011 harvest, but in other seed harvest these variables did not differ significantly in response to MPR evaluated. PNC and N uptake increased curvilinearly with increased N fertilizer rates in 2011 and 2012 harvests. In january and may harvests 2011 and may harvest 2012, PNC among N rates ranged from 0.9 to 1.3 g N kg dry matter⁻¹ (DM), while N uptake ranged from 90 to 200 kg N ha⁻¹. The results showed that in all harvests when the plant residues were removed the presumed balance of N remaining after harvest was curvilinear and negative. Conversely, when the plant residues were retained and the N fertilizer rate increased, this variable increased and then leveled. There were differences in the responses to N between harvest for NUpE, NUtE, NUE, nitrogen recovery efficiency (NRE) and nitrogen agronomic efficiency (NAgE). In general, NUpE and NUE from the 50 kg N ha⁻¹ rate applied had better values. Physiologic N-efficiency (PNE) was affected by N fertilizer rate only on cycle of seed

production of may 2012. Biomass plant efficiency (BPE) was not affected by N fertilizer rate in all harvest evaluated. Significant positive correlations, which were consistent in all seed harvest, were observed between the PNC, N uptake and NUtE with PSY, with exception of NUtE at May 2012 harvest, which the coefficient of correlation was not significant.

Keywords: Nitrogen balance. Signalgrass. Nitrogen fertilization efficiency. Plant residue management.

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Atributos químicos do solo da área experimental nas diferentes profundidades.....23
- Tabela 2. Análise estatística dos efeitos de práticas de manejo de resíduos de plantas (PMRP) e de doses de nitrogênio (N) no rendimento de sementes puras (RSP), concentração de nitrogênio nas plantas (CNP), absorção de nitrogênio, eficiência de absorção de nitrogênio (EAN), eficiência de utilização de nitrogênio (EUtN), eficiência de uso de nitrogênio (EUN), eficiência de recuperação de nitrogênio (ERN), eficiência fisiológica de nitrogênio (EFN), eficiência de produção de biomassa (EPB), eficiência agrônômica de nitrogênio (EAgN) e balanço presumido de nitrogênio remanescente após a colheita (BPNRAC), nos ciclos de produção de sementes (CPS) de outubro a janeiro e de janeiro a maio de 2010-2011 e 2011-201230
- Tabela 3. Efeitos de práticas de manejo de resíduos de plantas (PMRP) (remoção de resíduos de plantas – RRP, não remoção de resíduos de plantas – NRRP) (médias das doses de nitrogênio) no rendimento de sementes puras (RSP), concentração de nitrogênio nas plantas (CNP), absorção de N, eficiência de absorção de nitrogênio (EAN), eficiência de utilização de nitrogênio (EUtN), eficiência de uso de nitrogênio (EUN), eficiência de recuperação de nitrogênio (ERN), eficiência fisiológica de nitrogênio (EFN), eficiência de produção de biomassa (EPB), eficiência agrônômica de nitrogênio (EAgN) e balanço presumido de nitrogênio remanescente após a colheita (BPNRAC)32
- Tabela 4. Correlação de Pearson entre a concentração de nitrogênio na parte aérea da planta (CNP), absorção de nitrogênio, eficiência de absorção de nitrogênio (EAN), eficiência de utilização de nitrogênio (EUtN) e eficiência de uso de nitrogênio (EUN) com o rendimento de sementes puras (RSP)43

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Médias de temperaturas máximas (T max) e mínimas (T mín), temperatura média (T med) e precipitação durante a condução experimental.....24
- Figura 2. Relação entre a concentração de nitrogênio e a absorção de nitrogênio com as doses de nitrogênio, no ciclo de produção de sementes de janeiro (Δ), maio (\circ) 2011 e janeiro (\blacktriangle), maio (\bullet) 2012.35
- Figura 3. Interação entre as práticas de manejo de resíduos de plantas (PMRP) e doses de nitrogênio sobre o balanço presumido de nitrogênio remanescente após a colheita (BPNRAC).36
- Figura 4. Comparação entre as médias da eficiência de absorção de nitrogênio (EAN), eficiência de utilização de nitrogênio (EUtN), eficiência de uso de nitrogênio (EUN)..39
- Figura 5. Comparação entre as médias da eficiência de recuperação de nitrogênio (ERN), eficiência fisiológica de nitrogênio (EFN), eficiência de produção de biomassa (EPB) e eficiência agrônômica de nitrogênio (EA_gN).....41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al	Alumínio / Aluminum
BPNRAC / PBNRAH	Balanço presumido de nitrogênio remanescente após a colheita / Presumed balance of nitrogen remaining after harvest
B	Boro / Boron
C	Carbono orgânico / Organic carbon
Ca	Cálcio / Calcium
CFA / CWA	Clima temperado úmido com verão quente / Humid temperate climate with warm summer
Cm	Centímetro / Centimeter
CNP / PNC	Concentração de nitrogênio nas plantas / Plant nitrogen concentration
CPS / SPC	Ciclos de produção de sementes / Seed production cycles
CTC	Capacidade de troca de cátions / Cation exchange capacity
EAgN / NAgE	Eficiência agrônômica de nitrogênio / Nitrogen agronomic efficiency
EAN / NUPE	Eficiência de absorção de nitrogênio / Nitrogen uptake efficiency
EFN / PNE	Eficiência fisiológica de nitrogênio / Physiologic N-efficiency
EPB / BPE	Eficiência de produção de biomassa / Biomass plant efficiency
ERN / NRE	Eficiência de recuperação de nitrogênio / Nitrogen recovery efficiency
EUN / NUE	Eficiência de uso de nitrogênio / Nitrogen use efficiency
EUtN / NUtE	Eficiência de utilização de nitrogênio / Nitrogen utilization efficiency
G	Grama / Gram
GDD / GDD	Graus dia de crescimento / Growing degree days
H	Hidrogênio / Hydrogen
ha	Hectare / Hectare
K	Potássio / Potassium
kg	Quilograma / Kilogram
M	Metro / Meter
m%	Saturação por alumínio / Aluminum saturation
Mg	Magnésio / Magnesium
MG	Miligrama / Milligram
Mm	Milímetro / Millimeter
MOS / SOM	Matéria orgânica no solo / Soil organic matter
MS / DM	Matéria seca / Dry matter
N / N	Nitrogênio / Nitrogen

^{15}N	Nitrogênio marcado / Labelled nitrogen
N_s	Quantidade de nitrogênio disponível no solo / Amount of available soil nitrogen
N_0	Dose de zero kg ha^{-1} de nitrogênio / Zero nitrogen rate kg ha^{-1}
N_{50}	Dose de cinquenta kg ha^{-1} de nitrogênio / Fifty nitrogen rate kg ha^{-1}
N_{100}	Dose de cem kg ha^{-1} de nitrogênio / One hundred nitrogen rate kg ha^{-1}
N_{150}	Dose de cento e cinquenta kg ha^{-1} de nitrogênio / One hundred and fifty nitrogen rate kg ha^{-1}
NH_3	Amônia / Ammonia
NRRP / NRPR	Não remoção de resíduos de plantas / Non-removal of plant residues
P	Fósforo / Phosphorus
pH / pH	Potencial de hidrogênio / Hydrogen potential
PMRP / PRMP	Práticas de manejo de resíduos de plantas / Plant residues management practices
PSA / ASY	Produtividade de sementes aparentes / Apparent seed yield
RSP / PSY	Rendimento de sementes puras / Pure seed yield
RRP	Remoção de resíduos de plantas / Removing plant residues
SB	Soma de bases / Sum of bases
T	Tonelada / Ton
UEM	Universidade Estadual de Maringá / State University Maringá
V%	Saturação por bases / Base saturation
Zn	Zinco / Zinc

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Hipótese.....	3
1.2	Objetivos	3
2	REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1	Manejo de resíduos de plantas de cortes de rebaixamentos na produção de sementes de gramíneas forrageiras	4
2.2	Adubação nitrogenada em culturas de sementes de <i>Brachiaria</i>	10
2.3	Concentração e absorção de nitrogênio em gramíneas	12
2.4	Eficiência de uso de nitrogênio	15
2.5	Balanço de nitrogênio em culturas de sementes forrageiras	20
3	MATERIAIS E MÉTODOS	22
3.1	Caracterização do local, solo e clima	22
3.2	Delineamento experimental.....	25
3.3	Amostragens de plantas e mensurações	25
3.4	Cálculos	26
3.5	Análise estatística	27
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1	Condições climáticas	28
4.2	Rendimento de sementes puras (RSP), concentração de nitrogênio nas plantas (CNP), absorção de nitrogênio e eficiências de nitrogênio	28
4.3	Interação do balanço presumido de nitrogênio remanescente após a colheita (BPNRAC)	36
4.4	Comparação entre médias das respostas das eficiências de nitrogênio.....	38
4.5	Correlação de Pearson entre a concentração de nitrogênio nas plantas (CNP), absorção de nitrogênio, eficiência de absorção de nitrogênio (EAN), eficiência de utilização de nitrogênio (EUtN) e eficiência de uso de nitrogênio (EUN) com o rendimento de sementes puras (RSP).....	43
5	CONCLUSÕES.....	45
6	REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

O capim-braquiária cv. Basilisk é a gramínea tropical mais usada na América Tropical e, possivelmente, é a segunda forrageira mais usada no Brasil (Do VALLE et al., 2008). O fato dos pecuaristas brasileiros reformarem pastos em intervalos frequentes ocasiona a demanda bastante elevada por sementes de braquiárias, que explica o rápido desenvolvimento da cadeia produtiva de sementes forrageiras. No cenário internacional, o Brasil destaca-se como o mais importante produtor, consumidor e exportador de sementes das braquiárias utilizadas em pastagens (SOUZA et al., 2014). Contudo, apesar da alta relevância econômica e agrícola, pesquisas de práticas de manejo de resíduos de plantas (PMRP) e relativas à nutrição de nitrogênio (N) na produção de sementes de braquiárias não têm sido descritas no Brasil. Melhores PMRP e de adubação nitrogenada foram essenciais para o aumento da produção de sementes em forrageiras de clima temperado. Presumivelmente, determinar efeitos da remoção de resíduos de plantas (RRP) ou a não remoção de resíduos de plantas (NRRP) dos cortes de rebaixamentos e a eficiência da adubação de N podem ser também fatores decisivos para melhorar o rendimento e a sustentabilidade na produção de sementes do capim-braquiária.

Nas gramíneas de inverno, é fato reconhecido em inúmeros relatos que o corte seguido da RRP pós-colheita apresentou efeitos benéficos na produção de sementes (CHILCOTE et al., 1980; MUELLER-WARRANT & ROSATO, 2002; JOHNSON et al., 2003; LEMKE et al., 2003); dentre estes, o incremento no número de perfilhos florescidos e no rendimento de sementes, podendo ter redução de doenças. Na Austrália, Stür & Humphreys (1985) investigaram efeitos de métodos de rebaixamento em capim-braquiária cv. Basilisk, sendo que, em um de seus experimentos, foi comparado o corte do pasto a 10 cm, mantendo-se os resíduos de plantas, corte do pasto rente ao solo, removendo-se resíduos de plantas e a liteira e, por fim, à queima do pasto. Eles citam que a remoção do material cortado rente ao solo e liteira beneficiou a produção de inflorescências e de sementes, houve também melhorias no perfilhamento, e observaram aumento nas densidades de perfilhos (660 perfilhos m^{-2}) comparativamente ao corte do pasto a 10 cm do solo mantendo-se os resíduos de plantas (475 perfilhos m^{-2}). Estudos similares ao de Stür & Humphreys (1985) não foram conduzidos no Brasil, mas a RRP pós-corte de rebaixamento tem sido indicada em capim-braquiária para aumentar o rendimento de sementes (ANDRADE, 1994).

A predição do balanço de N nas culturas pode ser determinada subtraindo-se o N da adubação da quantidade de N removida nas culturas (grãos/sementes, resíduos de plantas e liteira). Estudos de balanço de N fornecem informações sobre perdas de N, rotas de exportação e de taxas de transferências de N entre os compartimentos de N mais representativos no sistema solo-planta. Em capim-milheto [*Pennisetum glaucum* (R) Br.], na ausência da adubação de N, pode-se ter balanço de N negativo devido ao N exportado nas sementes produzidas (KENNEDY et al., 2002). Inequivocamente, com a RRP a escala de perda de N é incrementada. A RRP de culturas no solo tem sido associada à redução na absorção de N nas culturas subsequentes (TEASDALE et al., 2008; SPIERTZ, 2010), podendo resultar, com o passar do tempo, em balanço negativo de N decorrente de alterações no ciclo de N no solo (MALHI et al., 2011) e de exportações altas de matéria orgânica e N (ZHU et al., 2006), reduzindo o crescimento e a produtividade. De acordo com Yadvinder-Singh et al. (2009) e Widowati et al. (2011), é básico identificar PMRP de culturas e de adubação de N para o desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis de um ponto de vista ambiental. No Brasil, deve ser considerado que parte da produção de sementes do capim-braquiária dá-se em solos arenosos com baixos teores de matéria orgânica e a adubação de N em muitas situações tem sido de maneira empírica. Além desses fatores, em muitas regiões brasileiras podem ser realizadas duas ou até três colheitas de sementes do capim-braquiária (SOUZA et al., 2014). Nenhum trabalho avaliou o balanço de N em áreas de produção de sementes de capim-braquiária.

O conhecimento da eficiência de uso de nitrogênio (EUN) em culturas pode evitar perdas de N devido a volatilização e a desnitrificação de aplicações excessivas de N e reduzir riscos de poluição ambiental, com possibilidades de maximizar o rendimento nas culturas e receitas econômicas de produtores (MARINO et al., 2004; HIREL & LEMAIRE, 2005; MUURINEN et al., 2006; FAGERIA & BALIGAR, 2008). Na literatura são vários os conceitos de eficiência de EUN (KESSEL et al., 2012). De acordo com Sorgonà et al. (2006), isso tornou a definição ambígua. O conceito de EUN mais empregado na literatura agrônômica foi proposto por Moll et al. (1982). De acordo com esses autores, a EUN é composta por dois componentes primários, a EAN e a EUtN. A EAN diz respeito à quantidade de N extraída do solo absorvida pela parte aérea da cultura, já a EUtN é a quantidade de N translocada para o grão e usada para a produção de grãos (MOLL et al., 1982). Vários são os fatores relativos ao manejo (PMRP de rebaiamentos, fonte, época, parcelamento e adubação de N) e ambientais (temperatura, umidade, luz e condições de fertilidade no solo) que podem potencialmente afetar o ciclo e a disponibilidade de N no solo

e, em consequência, o rendimento de sementes puras (RSP), a concentração de nitrogênio nas plantas (CNP), absorção de N, o balanço de N no sistema solo-planta e a EUN.

1.1 Hipótese

Em culturas de capim-braquiária em que as sementes são colhidas de panículas, a não remoção de resíduos das plantas dos cortes de rebaixamentos, nas maiores doses de nitrogênio aplicado, poderia aumentar o rendimento de sementes puras, a concentração de nitrogênio nas plantas, absorção de nitrogênio, gerar balanço presumido de nitrogênio remanescente após a colheita positivo; mas, em contrapartida, poderia reduzir a eficiência de uso de nitrogênio e outros parâmetros de eficiências de adubação de nitrogênio.

1.2 Objetivos

1) Avaliar os efeitos de práticas de manejo de resíduos de plantas de cortes de rebaixamentos realizados no pós-inverno e pós-colheita de janeiro e de doses de nitrogênio no rendimento de sementes puras, na concentração de nitrogênio nas plantas, absorção de nitrogênio e no balanço presumido de nitrogênio remanescente após a colheita; 2) determinar a eficiência de absorção, eficiência de utilização de nitrogênio, eficiência de uso de nitrogênio, bem como outras eficiências de nitrogênio comumente usadas na literatura; e 3) determinar correlações entre a concentração de nitrogênio nas plantas, absorção de nitrogênio, eficiência de absorção de nitrogênio, eficiência de utilização de nitrogênio, eficiência de uso de nitrogênio com o rendimento de sementes puras.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Manejo de resíduos de plantas de cortes de rebaixamentos na produção de sementes de gramíneas forrageiras

Diversos fatores podem influenciar a dinâmica de produção de sementes em gramíneas forrageiras; dentre eles, a RRP de rebaixamentos destaca-se como um dos mais relevantes. Em capim-braquiária, podem ser realizadas duas colheitas de sementes em amplas regiões brasileiras, que se localizam principalmente no centro-oeste (ANDRADE et al., 1983; SOUZA et al., 2014) e no sudeste (SOUZA et al., 2014). No noroeste do Paraná, colheitas de sementes em janeiro e maio dessa forrageira também são possíveis (PANCERA JÚNIOR, 2011). Entretanto, no Brasil, em espécies do gênero *Brachiaria*, nenhuma pesquisa prévia buscou definir PMRP de rebaixamentos em áreas de produção de sementes, suficientemente robustas para os produtores de sementes que incluíssem a variabilidade e a determinação dos efeitos da NRRP ou da RRP mecânica sobre a dinâmica de produção de sementes, inclusive de remoções mais completas contendo a liteira. O conhecimento da efetividade de se coletar mecanicamente ou não resíduos de plantas de rebaixamentos em campos de capim-braquiária para a produção de sementes é muito importante, especialmente em áreas em que a condição de fertilidade é apropriada, onde se tem altas biomassas de plantas para serem rebaixadas após o inverno e após a colheita de janeiro.

Na literatura da Austrália, temos o único estudo, de Stür & Humphreys (1985), que em três experimentos compararam métodos de rebaixamento em capim-braquiária cv. Basilisk, como o corte do pasto a 10 cm do solo com os resíduos de plantas removidos ou queimados cedo (27 de novembro, 1981), ou pasto cortado ou queimado tardiamente (seis de janeiro, 1982) (experimento um), queima do pasto usando-se doses de óleo combustível (quatro, 8, ou 16 t ha⁻¹) ou corte do pasto em 17 de dezembro de 1982 (experimento dois) e o corte do pasto a 10 cm do solo mantendo-se os resíduos de plantas, corte do pasto rente ao solo com resíduos de plantas e toda liteira removidos ou a queima do pasto (experimento três). Eles constataram que o corte do pasto com a remoção das plantas cortadas rente ao solo e da liteira beneficiou a produção de inflorescências e sementes, mediante melhorias no perfilhamento (660 perfilhos m⁻²), em relação ao corte do pasto a 10 cm do solo com os resíduos de plantas mantidos sob o solo (475 perfilhos m⁻²). Nesses experimentos, os métodos

de rebaixamento impuseram efeitos compensatórios em componentes do rendimento de sementes, tais como no número de racemos por inflorescência e densidade de inflorescências, e os tratamentos de queima incrementaram o número de sementes por inflorescência.

Andrade (1994), ao revisar técnicas de manejo para a produção de sementes em braquiárias, reconheceu que a RRP do rebaixamento poderia beneficiar a produção de sementes. O autor indicou que a RRP poderia propiciar rebrote mais uniforme de perfilhos e sincronizar melhor o florescimento. Deve-se considerar também que a RRP em campos de produção de sementes do capim-braquiária pode reduzir doenças (ANDRADE, 2006). A RRP, se comparada a NRRP, expõe antecipadamente a base das plantas à incidência de luz favorecendo o surgimento de gemas (HACKER, 1999), que pode adiantar o crescimento dos perfilhos que irão formar a nova população de plantas. Isso resultaria em melhorias no rendimento de sementes.

No Brasil, as áreas de produção de sementes colhidas de panículas do capim-braquiária foram bastante reduzidas, devido ao baixo rendimento e qualidade das sementes produzidas nesse tipo de colheita. Essa gramínea possui florescimento extenso, pouco sincronizado e com desenvolvimento de sementes nas panículas bastante desuniformes, que resulta em proporção alta de sementes imaturas e chochas. Por essas razões, a colheita de sementes de panículas foi predominantemente substituída pela colheita de sementes do solo, conhecidas por colheita de varredura, onde as sementes apresentam melhores porcentagens de pureza e germinação. Atribui-se isso à alta degrana de sementes que atingem a maturidade e caem no solo. Contudo, em áreas em que as sementes são colhidas do chão, a degradação da superfície do solo é alta, causada pelo excesso de revolvimento, além de outros problemas ambientais, como a poluição do ar avistada por ocasião da colheita. Solos descobertos pela remoção da palha residual, mesmo por curtos períodos de tempo, estão mais sujeitos à perdas de água e à erosão superficial, que pode reduzir a camada fértil do solo.

Na América tropical, em culturas de capim-braquiária para a produção de sementes, faltam estudos sobre métodos de rebaixamentos, tais como a queima, pastejo de animais ou de cortes de rebaixamento que estejam associados à PMRP, subsidiando ações de manejo que definam efeitos na produção de sementes. Encontram-se, muito frequentemente, experimentos de produção de sementes em que a cultura de gramínea tropical foi rebaixada a determinada altura e, a seguir, os resíduos de plantas foram removidos por métodos distintos da área experimental (MONTEIRO et al., 1984; ADJEI et al., 2000; PHAIKAEW et al., 2002; BARTH NETO et al., 2010; CANTO et al., 2012). Por outro lado, os produtores de sementes

devem avaliar o método de rebaixamento a ser utilizado (queima, mecânico ou pastejo) em relação aos custos extras.

Nos Estados Unidos, considerável número de trabalhos, alguns de longa data, tem sido conduzido relativo aos efeitos de formas de RRP pós-colheita (métodos de queima, pastejo de animais e de remoção mecânica usando-se ancinhos para a formação de leiras e enfardamento) na produção de sementes em gramíneas forrageiras (PUMPHREY, 1965; CANODE, 1972; CHASTAIN et al., 1997; YOUNG III et al., 1998; LAMB et al., 1999; ADJEI et al., 2000; JOHNSON et al., 2003). A maioria desses estudos atesta que a RRP estimulou o rendimento de sementes no ano subsequente. Além disso, os trabalhos de Johnson et al. (2003) e Chastain et al. (1997), em *Poa pratensis* L., dentre vários realizados em outras gramíneas de inverno (YOUNG III et al., 1998), mostraram que a densidade de inflorescências e o rendimento de sementes foram reduzidos com a NRRP pós-colheita. No Oregon, que é uma importante região produtora de sementes de azevém perene (*Lolium perenne* L.) nos Estados Unidos, Mueller-Warrant & Rosato (2002) concluíram que o controle de plantas invasoras e voluntárias do azevém perene foi melhorado com a RRP pós-colheita e aplicação de herbicidas pré-emergentes, seguido da aplicação de herbicidas pós-emergentes. Nesse mesmo país, Chastain et al. (1997) reconheceram que a queima em campos de semente de *Poa pratensis* L. foi por mais de cinco décadas forma eficiente e econômica de eliminação de RRP pós-colheita e de redução de pragas. Note-se, contudo, ainda com relação aos Estados Unidos, que a prática da queima desses resíduos nas mais importantes regiões produtoras de sementes de gramíneas de inverno foi restringida pela regulamentação recente de leis voltadas para melhorias na qualidade do ar e redução da poluição ambiental (MEINTS et al., 2001).

Em gramíneas de estação fria, foi comprovada que a resposta no rendimento de sementes pode ser influenciada pela quantidade removida de resíduos de plantas (HICKEY & ENSIGN, 1983; CHASTAIN et al., 1997). Adicionalmente, observações realizadas por Lamb & Murray (1999) nessas gramíneas constataram que a resposta no rendimento de sementes a RRP pós-colheita é dependente da cultivar. Eles descrevem que cultivares de porte baixo que produzem baixas quantidades desses resíduos poderiam manter seus rendimentos com a remoção mecânica. O que se pode afirmar, de um modo geral, é que as principais razões para a RRP de rebaixamentos em campos de produção de sementes são:

- a) Redução do tempo de aparecimento de gemas e rebrote mais rápido da nova população de perfilhos pelo descobrimento da base da touceira das plantas remanescentes, tendo-se perfilhos com mais idade e, portanto, mais aptos a produzirem inflorescências;

- b) Aumento na produção de inflorescências e de sementes por inflorescência na colheita de sementes subsequente; e
- c) Minimizar a incidência de doenças que atingem principalmente as inflorescências e a infestação de pragas.

Nas condições da Flórida, nos Estados Unidos, em grama-batatais (*Paspalum notatum* Flugge), Adjei et al. (2000) investigaram, durante 1988-1989 e 1989-1990, os efeitos simultâneos da queima e do corte, em campos pastejados e não pastejados, do pastejo e de datas de RRP (25/2, 25/3, 25/4 e 25/5 – correspondentes aos comprimentos de dia de 11,5; 12,3; 13,1 e 13,7 h) e de doses de N (zero, 100 e 200 kg ha⁻¹) no rendimento de sementes. Foram verificados em seus resultados experimentais efeitos interativos significativos das práticas de manejo e de doses de N no número de racemos m⁻² e no rendimento de sementes. A queima incrementou o rendimento de sementes apenas na data de remoção de 25 de maio de 1989, e a RRP e a adubação de N realizada em fevereiro ou em março causou alto acúmulo de material vegetativo, acamamento e redução do desenvolvimento floral, que são prejudiciais à colheita e à produção de sementes. Eles constataram que o efeito positivo do N sobre a densidade de racemos e no rendimento de sementes se ajustou melhor ao modelo quadrático e que o rendimento de sementes da grama-batatais poderia ser incrementado com a RRP realizada nos meses com comprimento de dia superior a 13 horas.

Na região do Cerrado do Brasil, nos campos de braquiária em que as sementes são colhidas com o método de varredura, a palhada pós-colheita tem sido utilizada na confecção de feno para serem comercializados para a suplementação de bovinos no período seco. Essa palhada residual apresenta baixo valor nutritivo. Os vários aspectos da destinação da palhada dessas áreas na alimentação de bovinos, a coleta e o manuseio, seu valor nutricional e outros usos alternativos foram discutidos detalhadamente por Souza et al. (2006), e não serão abordados nesta revisão. Ocorre que, nas condições do noroeste do Paraná, em colheitas de sementes em panículas de janeiro e maio do capim-braquiária, em função deste tipo de colheita e condições climáticas, o material restante é em parte composto por folhas e caules verdes. Têm-se nessa região resíduos de plantas pós-colheita que provavelmente possuem melhores relações folha:caule e carbono:nitrogênio. Diferentemente da palha residual nos campos de sementes de capim-braquiária no Brasil central, resultante da colheita entre junho a agosto, que é coletada em pleno período em que a seca de inverno se faz mais crítica.

Como mencionado anteriormente, o estudo dos efeitos de PMRP em culturas de braquiárias para a produção de sementes não tem sido foco da pesquisa agrônômica brasileira, tampouco em outros países da América Tropical, não se sabendo as implicações sobre a

disponibilidade de N no rendimento de sementes nas colheitas subsequentes, bem como na evolução da matéria orgânica no solo. Sabe-se há séculos e inúmeros experimentos agronômicos demonstraram a habilidade de resíduos de plantas pós-colheita de muitas culturas em proteger melhor o solo e acumular e disponibilizar N no solo (TEASDALE et al., 2008; MALHI et al., 2011; SU et al., 2014), melhorando, inclusive, os estoques de carbono orgânico e a disponibilidade de nutrientes essenciais, podendo, assim, beneficiar o rendimento nas culturas. A esse respeito, Malhi et al. (2011) afirmam que a NRRP pós-colheita altera a ciclagem de N no solo e reconhecem que na decomposição desses restos tem-se uma fase inicial de imobilização líquida do N, seguida por uma fase em que novamente dá-se a mineralização líquida do N. Os autores, com base nos trabalhos de Reinertsen et al. (1984), Kumar & Goh (1999) e Recous et al. (1995), ressaltam que a duração e as cinéticas desse processo de imobilização inicial de N dependeriam da composição dos resíduos de plantas (por exemplo: da relação carbono:nitrogênio, do teor de lignina e conteúdo de polifenóis) e das concentrações de N mineral no solo. Eles também ressaltam que, em razão da imobilização de N na palha, a incorporação da palha no solo pode reduzir o rendimento e a absorção de N da cultura, comparando-se com a remoção da palha.

Na literatura de solos, há grande número de trabalhos em que a permanência de altas quantidades de resíduos de plantas pós-colheita causou menor rendimento, inclusive sendo indicada como um dos principais fatores desta redução o manejo da adubação nitrogenada. Tal fato se daria devido à menor disponibilidade de N no solo causada pela menor taxa de mineralização e maior imobilização de N por micro-organismos, pela desnitrificação e volatilização de NH_3 . Isso ocorreria nos períodos iniciais de crescimento da cultura subsequente, comparados aos sistemas de preparo convencional (RAHMAN et al., 2005; YADVINDER-SINGH et al., 2009), ou sistemas que realizam a RRP.

Trinsoutrot et al. (2000), ao comentarem sobre a decomposição de resíduos de culturas, reconhecem sua complexidade e os muitos fatores que a controlam, dentre estes: a disponibilidade de carbono e N, natureza física e química dos resíduos de plantas, localização destes resíduos, o contato entre os resíduos e o solo e os fatores de solo e de clima. Esses autores, ao avaliarem a decomposição de resíduos de plantas entre cultivos de *Brassica napus* submetida às taxas de N zero e 270 kg ha^{-1} , mostraram, mediante cálculos de mineralização líquida de N de resíduos de plantas, utilizando-se de um modelo de mineralização e lixiviação do N, evidências de uma fase de imobilização para o N mineral nas etapas iniciais da decomposição. Eles observaram que ambos os resíduos de plantas foram mineralizados em

curto tempo, por volta de 50% do carbono dos resíduos foi decomposto nos dois meses pós-incorporação no solo.

Ao que se sabe, não existem estudos de longa duração em campos de produção de sementes de braquiárias em que a RRP ou a NRRP de rebaixamentos foi comparada e, ao mesmo tempo, tivessem estimados a taxa de decomposição e a relação carbono:nitrogênio nos resíduos de plantas, a reciclagem de N, absorção de N ou parâmetros de eficiência de adubações de N na produtividade de sementes, bem como estimativas do N mineralizado na estação de crescimento, o qual pode ser um componente de alta relevância para o N disponível no solo para a cultura, especialmente ao longo dos anos em que a área é usada exclusivamente na produção de sementes ou na produção combinada de forragem/sementes. Portanto, se a RRP altera o ciclo do N no solo, e isto pode variar a disponibilidade de N e, em decorrência, a resposta ao N no rendimento de sementes na cultura subsequente, a simples análise da resposta de rendimento de sementes à taxa de N aplicada não poderá descrever ou permitir melhor entendimento da relação entre estas variáveis, sendo necessárias estimativas do N absorvido e de análises de eficiências do N aplicado na adubação.

Uma importante medida que deve ser incorporada nos estudos de produção de sementes que aferem efeitos de PMRP é a quantificação dos resíduos vegetais. Quantidades altas de resíduos vegetais de rebaixamentos deixadas sob o solo para serem decompostas do capim-braquiária poderia aumentar a produção sustentável, por meio da redução de perdas de solo e nutrientes. Adubações nitrogenadas altas causariam, certamente, melhorias na relação carbono:nitrogênio desses resíduos em campos de produção de sementes de braquiárias, podendo afetar suas taxa de decomposição. No noroeste do Paraná, as temperaturas altas e as chuvas volumosas, notadamente após a colheita de janeiro, poderiam propiciar condições para que os micro-organismos possam decompor mais ligeiramente o material sob o solo, permitindo rebrote mais rápido dos novos perfilhos de modo a não prejudicar a produção de sementes. Nesse contexto, é provável que maiores suprimentos de N para a cultura de sementes do capim-braquiária resultariam em melhorias na relação carbono:nitrogênio em resíduos de plantas. Evidentemente, uma das grandes desvantagens da RRP é a alta exportação de matéria orgânica e de nutrientes essenciais exigidos para o crescimento e o desenvolvimento reprodutivo nas culturas. Resíduos de culturas agrícolas são as fontes para o aumento da matéria orgânica no solo, as quais também são as principais fontes de nutrientes para as plantas e de energia para a população microbiana do solo (MALHI et al., 2011).

Em países de clima temperado, a utilização da prática de NRRP pós-colheita sob o solo e de práticas de adubação nitrogenada tem determinado melhorias no carbono orgânico e

no N do solo (MALHI et al., 2010, 2011; POWLSON et al., 2011). Rotz et al. (2005), ao revisarem componentes dos fluxos de nutrientes de sistemas de produção de forragem e sistemas que integram a produção de grãos/forragem, expuseram que um dos maiores desafios para a sustentabilidade da agricultura seria considerar aspectos que incluem não somente a produtividade de grãos/forragem, mas também a qualidade do ar e da água, a eficiência de uso de nutrientes e a sustentabilidade econômica da atividade agrícola. Conforme os autores, isso vale para qualquer sistema agrícola manejado.

2.2 Adubação nitrogenada em culturas de sementes de *Brachiaria*

O capim-braquiária cv. Basilisk é a segunda forrageira mais importante no Brasil e na América Tropical é a mais utilizada (Do VALLE et al., 2008). Há relatos de produtores no Brasil central que tem obtido RSP em capim-braquiária próximas de 1.000 kg ha⁻¹ (MILES et al., 2004). Se considerarmos sua importância, uma das maiores monocultura nas Américas, encontra-se muito poucos estudos sobre a resposta no rendimento de sementes ao incremento na adubação de N.

Resultados sucintos desses trabalhos com o capim-braquiária serão discutidos a seguir, mas pode-se concluir pelo exame na literatura que os relatos são contraditórios quanto à resposta ao N no rendimento de sementes.

Condé & Garcia (1988), em Goiás, durante quatro anos, usando sulfato de amônio, avaliaram apenas na colheita de outono a resposta do rendimento de sementes em relação à época de aplicação (segunda quinzena de janeiro, após o corte de rebaixamento para a uniformização do estande, e na primeira e segunda quinzena de fevereiro) e às doses de N até 240 kg ha⁻¹. Eles reportam que a melhor época de aplicação do N foi meados de janeiro, o modelo quadrático teve o melhor ajuste para a relação entre o RSP com a taxa de adubação de N e os maiores RSP foram constatados nas doses de N entre 120 a 150 kg ha⁻¹. Ainda com relação a esse estudo, foi observada resposta quadrática entre as doses de N com a densidade de perfilhos reprodutivos e a máxima produtividade de sementes aparentes (PSA) foi 288 kg ha⁻¹ na dose de N 165 kg ha⁻¹. Esse resultado foi 303,8% superior se comparado à PSA obtida no tratamento sem adubação de N.

No estudo de Carmo et al. (1988), que também abrangeu apenas a colheita de outono, foram testadas doses de N até 300 kg ha⁻¹. Eles obtiveram maior PSA (94 kg ha⁻¹) com 70 kg

ha⁻¹ de N. Nota-se que as condições de fertilidade nos solos não eram as mais apropriadas para que a forrageira pudesse expressar seu potencial de crescimento e de rendimento.

No mesmo local do presente trabalho, Pancera Júnior (2011) avaliou o rendimento de sementes e seus componentes nas colheitas de janeiro e maio em resposta aos regimes de água (irrigado e não irrigado) e doses de N (0, 25, 50 e 75 kg ha⁻¹). Na maior dose de N, verificou-se RSP por volta de 380 kg ha⁻¹ em ambas as colheitas de janeiro e maio. Esse trabalho mostrou também que a quantidade de MS ha⁻¹ na colheita de janeiro teve incremento linear positivo em resposta ao N, a variação foi de 11.151 a 15.914 kg de MS ha⁻¹. É importante citar ainda que houve a RRP roçadas nos rebaixamentos iniciais após o período de inverno e pós-colheita de janeiro.

Na Tailândia, Gobius et al. (2001), em estudo que abrangeu uma estação de crescimento, avaliaram em capim-braquiária o rendimento de sementes e seus componentes, e não obtiveram efeitos significativos da adubação de N (50, 100 e 200 kg ha⁻¹) sobre a MS ha⁻¹ na colheita, porcentagem de perfilhos férteis, no número de sementes puras inflorescência⁻¹, peso de mil sementes e porcentagem de germinação. Entretanto, a adubação de N teve efeito significativo na densidade de inflorescência e no RSP, cujos resultados foram, respectivamente, 144, 107 e 168 perfilhos m⁻² e de 81,4; 100 e 122,6 kg ha⁻¹, nas doses de N zero, 100 e 200 kg ha⁻¹. Eles mencionam também que com 200 kg ha⁻¹ de N foi verificado durante a antese e maturação de sementes acamamento de plantas alto.

A deficiência de N em culturas de sementes de gramíneas tropicais é frequente em quase todos os solos, distingue-se pelo baixo número de perfilhos com aspecto amarelecido, pelas poucas plantas que florescem com poucas sementes, que tem causado decréscimo generalizado na produção de sementes (BOONMAN, 1997). Uma das etapas iniciais de um programa de pesquisas de produção de sementes em gramíneas tropicais é a determinação da resposta na produção de sementes ao N (HUMPHREY & RIVEROS, 1986; LOPEZ-GARCIA et al., 2011). A utilização da adubação de N mineral nessas forrageiras pode aumentar a densidade de panículas, o número de sementes por inflorescência e a PSA e o RSP (JOAQUIN et al., 2001; TORRES et al., 2009). Maiores doses de N nessas culturas podem permitir ainda que os perfilhos tornem-se melhor nutridos, ou seja, mais vigorosos e pesados, podendo ter maior área foliar, número de folhas e diâmetro basal. Segundo Chastain & Young III (1998), perfilhos de gramíneas de inverno com maiores diâmetros basais e mais pesados possuem maior potencial de florescimento e de produzirem panículas e sementes.

Em relação ao manejo da adubação com N, são necessárias informações mais específicas em campos de produção de sementes do capim-braquiária. De modo especial,

onde mais de uma colheita de sementes são possíveis e, portanto, com maior exportação nas sementes, de modo que as aplicações de N possam não limitar o rendimento no ciclo de produção subsequente, atender as exigências e o potencial de resposta, tornando as aplicações mais efetivas.

A adubação de N é também um dos principais e mais caros insumos em sistemas de produção agrícolas em que produtividades altas são atingidas (SPIERTZ, 2010). O N é nutriente chave para que as culturas não sofram deficiências temporárias e para que o rendimento de sementes seja consistentemente mantido em patamares altos. Exemplificando: a disponibilidade de N no solo deve ser alta por ocasião do perfilhamento, no alongamento dos colmos, na iniciação floral (diferenciação do meristema apical), no início de florescimento e durante o enchimento de sementes, tendo-se exigências altas deste nutriente no solo para o crescimento e o desenvolvimento dos órgãos reprodutivos. Tal fato se reveste de importância, sobretudo nas condições brasileiras onde parcela da produção de sementes é realizada em áreas de solos arenosos, pouco férteis, com baixos teores de matéria orgânica no solo e com práticas de adubações em muitas situações inapropriadas, ocasionais e/ou esparsas no tempo.

2.3 Concentração e absorção de nitrogênio em gramíneas

A CNP em culturas de espécies e de cultivares de braquiárias para a produção de sementes não tem sido avaliada; portanto, a relação com o rendimento de sementes não foram ainda explicitadas. A relação entre a CNP (caules ou folhas) com o rendimento de grãos/sementes tem sido determinada em sorgo (MUCHOW, 1998; LAFARGE & HAMMER, 2002; VAN OOSTEROM et al., 2010) e capim-milheto (KENNEDY et al., 2002), que são espécies de gramíneas tropicais usadas como forrageiras e seus grãos são usados para consumo humano. Isto explica o fato das pesquisas serem avançadas em gramíneas e em cereais. De acordo com Gislum & Griffith (2004), em azevém perene, a quantidade de N disponível para a planta pode influenciar a concentração e a distribuição do N dentro da planta.

Com relação à quantidade de N absorvida em gramíneas tropicais, sabe-se que é um processo dependente da disponibilidade de N mineral no solo, condição de fertilidade em que se encontra o solo, espécie/cultivar forrageira e de fatores de clima, como água disponível

para o crescimento da cultura, luz, temperatura e fotoperíodo. É importante aperfeiçoar a absorção de N em culturas de sementes de braquiárias para um determinado patamar de rendimento em razão de condições de clima, solo e práticas de manejo, maximizando a resposta da cultura ao N. Assim, neste item desta revisão, serão discutidos alguns resultados experimentais de CNP e absorção de N relatados em gramíneas forrageiras, para então examinarmos brevemente a relação entre a CNP e a absorção de N com o rendimento de grãos/sementes em cereais.

Em muitas gramíneas forrageiras tropicais, a absorção de N tem sido relatada como alta, mesmo na ausência de adubação de N. Mathews et al. (2004) reportam que algumas dessas gramíneas atingiram absorções de N entre 40 a 120 kg ha⁻¹ sem qualquer aplicação de N mineral. Entretanto, a grande maioria dos estudos em gramíneas tropicais e subtropicais indicou que a baixa adubação induz a deficiência de N, que causa baixo crescimento e rendimento de sementes. Por exemplo, Coaldrake & Pearson (1985), em capim-milheto, reportam que o baixo suprimento de N reduziu o crescimento e o rendimento de grãos. Eles verificaram que a taxa máxima de crescimento da cultura foi com CNP de 15,6 g kg⁻¹ de MS durante o crescimento vegetativo e 13 g kg⁻¹ de MS após a iniciação da panícula. Maman et al. (1999), trabalhando com três híbridos de capim-milheto e com doses de N (0 e 78 kg ha⁻¹ - nitrato de amônio), relatam que a adubação de N, similarmente, incrementou a taxa de crescimento e o rendimento de grãos. Eles constataram que a eficiência de N no rendimento de MS foi 18 e 25 g de MS g⁻¹ de N e a eficiência de N no rendimento de grãos foi 7,0 e 12 g de grãos g⁻¹ de N, respectivamente, com 0 e 78 kg ha⁻¹ de N.

McLaughlin et al. (2004), nos Estados Unidos, conduziram um trabalho nos anos de 1999 a 2001 para comparar a absorção de N das gramíneas anuais de estação quente *Panicum ramosum* (L.) Stapf in Prain, capim-milheto, capim-sudão [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] e *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop, sendo o capim-bermuda comum, uma espécie de gramínea perene tropical, usado como testemunha. As gramíneas foram manejadas apropriadamente para a produção de feno e submetidas às aplicações de efluentes de uma lagoa de dejetos de suínos em um solo com condição de fertilidade alta, pois, nos anos prévios ao trabalho, os efluentes elevaram a fertilidade no solo. Esse estudo mostrou que a absorção de N pode variar com a espécie de gramínea e, de maneira geral, os resultados comprovaram a alta absorção de N das forrageiras. Ainda com relação a esse trabalho, a variação na absorção de N do capim bermuda foi de 88 kg ha⁻¹ em 1999 (ano do estabelecimento) a 448 kg ha⁻¹ em 2001, já para o capim-milheto foi de 189 a 433 kg ha⁻¹, nestes respectivos anos.

Muchow (1998) avaliou a relação entre a absorção de N e o rendimento de grãos em híbridos de milho Dekalb XL82 (*Zea mays* L.) e sorgo Dekalb Dk 55, com suprimento de água alta ou adequada. Eles expressaram os dados de rendimento de grãos e absorção de N em g m^{-2} , verificaram relação linear entre estas variáveis para o milho ($y=70,5x-97,7$; $R^2=0,98$) e para o sorgo ($y=48,3x-4,23$; $R^2=0,81$).

Segundo os resultados de Silveira et al. (2007), que trabalharam no Texas com a cultivar Coastal de capim-bermuda [*Cynodon dactylon* (L.) Pers.] durante três anos, submetida a fontes (ureia-nitrato de amônio, ureia, nitrato de amônio e sulfato de amônio) combinadas com micronutrientes e doses de N até 135 kg ha^{-1} aplicadas por corte, a CNP e a absorção de N podem ser alteradas por estas variáveis. Nesse estudo, a CNP foi incrementada com o aumento da dose de N. Em todas as fontes de N, tiveram-se maiores CNP nas doses pouco superiores a 135 kg ha^{-1} . Com relação à absorção, houve efeito de ano. Respectivamente, para o primeiro, segundo e terceiro ano de condução do experimento nas doses de N 45, 90 e 135 kg ha^{-1} , obtiveram absorção de N para a uréia de 106, 172 e 208; 181, 260 e 305 e de 200, 234 e 243 kg ha^{-1} , e para o nitrato de amônio de 121, 200 e 237; 245, 347 e 409 e de 239, 254 e 284 kg ha^{-1} .

Relações significativas entre a CNP em estádios iniciais de crescimento com o rendimento de grãos foram reportadas em capim-milheto, por Kennedy et al. (2002), e em trigo (*Triticum aestivum* L.), por Yadvinder-Singh et al. (2009), que avaliaram o sistema arroz-trigo submetido às doses de N e manejo de resíduos de plantas. Gislum et al. (2005), em campos de produção de sementes de azevém perene submetidos a cinco doses de N, aplicadas nas épocas do outono e da primavera (0-0, 0-50, 0-100, 30-120 e $60-140 \text{ kg ha}^{-1}$), reportam correlação de 0,81, 0,71 e 0,92 entre a CNP nos estádios de 424 graus dia de crescimento (GDD) em 1998, de 447 GDD em 1997 e de 497 GDD em 1996 com o rendimento de sementes.

2.4 Eficiência de uso de nitrogênio

Diversos conceitos de EUN têm sido propostos para as principais culturas e são frequentemente utilizados na literatura (MOLL et al., 1982; SORGONÀ et al., 2006; FAGERIA et al., 2008; KESSEL et al., 2012), que variam conforme os fatores agronômicos, ecológicos ou fisiológicos (DAWSON et al., 2008; WEIH et al., 2011). A definição de EUN mais frequentemente usada na literatura agronômica é o rendimento de grãos/semente por unidade de N disponível, proposta por Moll et al. (1982). De acordo com esses autores, a EUN é composta por dois dos mais importantes processos fisiológicos em culturas agrícolas, descritos a seguir:

a) a eficiência pela qual o N é absorvido pela cultura, EAN ($\text{kg N kg}^{-1} \text{N}$), ou seja, a razão da quantidade de N absorvida pela planta (ou concentração de N, kg N_s) pela quantidade de N disponível no solo (N_s); e

b) a eficiência pela qual o N absorvido na planta é usado para produção de grãos/sementes, EUtN, ou seja, a quantidade de grãos/sementes produzidos por unidade de N nas plantas na maturidade.

Em suas pesquisas, Moll et al. (1982) substituíram o N da adubação pelo N disponível e o N absorvido na parte aérea das plantas pelo N total das plantas, devido às dificuldades de mensurações de ambos, o N no solo e no total das plantas. Assim, a EUN é produto de duas eficiências, a EAN e a EUtN. A EAN dependeria da profundidade e da intensidade de enraizamento que regulam o N total absorvido (capacidade de absorção de do sistema, demanda de N da planta) e a EUtN dependeria da efetiva translocação do N dos caules e folhas para os tecidos que estariam formando as sementes e que representariam órgãos “drenos” para N, mas também da demanda reduzida destes tecidos (RATHKE et al., 2006).

Raun & Johnson (1999) revisaram práticas de manejo e culturais aplicadas em culturas agrícolas e seus efeitos sobre a EUN, de modo a melhorar a produtividade agrícola com o incremento da EUN. Eles reconhecem que em cereais, em termos globais, a média de EUN no rendimento de grãos é por volta de 33%, o restante seria perda de N, devido às emissões de N gasosas das plantas entre a antese até a colheita, à desnitrificação, ao escoamento superficial, à volatilização e à lixiviação. Para chegar à estimativa de 33%, esses autores definiram a EUN como:

$$\text{EAN (\%)} = \frac{(\text{N total removido nos grãos colhidos}) - (\text{N vindo do solo} + \text{N depositado por chuvas})}{\text{Fertilizante nitrogenado aplicado ao cereal}} \times 100 \quad (1)$$

Ressalta-se, com base nos argumentos de Huggins & Pan (1993), que estimativas de EUN, que fazem uso de parcelas sem a adubação de N, amplamente usadas em avaliações de EUN nas mais diversas culturas agrícolas, assumem-se que:

a) O N aplicado não influencia ganhos ou perdas do N disponível de outros pools de N no solo, por exemplo, o N adicionado pela adubação não afeta os fluxos de mineralização-imobilização de N;

b) Nas parcelas testemunhas (sem adubação de N) não ocorrem perdas de N disponível residual, N mineralizado ou outra fonte de N disponível; e

c) Outros acréscimos (“inputs”) de N inorgânico são mínimos e são incluídos na estimativa do N mineralizado.

Esses autores citam ainda que a estimativa do N mineralizado na parcela testemunha é a mineralização líquida de N e, conseqüentemente, o N suprido é subestimado pela quantidade de N imobilizada. Eles ressaltam também que estimativas de N disponível no solo são difíceis. É sabido que a utilização da técnica do ¹⁵N marcado, que realiza a medição e possibilita a identificação do N do fertilizante absorvido na planta, apresenta maior dificuldade de implantação, além de ser mais onerosa.

Além desses conceitos de EUN referidos, podem ser mencionados outros; dentre estes, o de Gourley et al. (1994), em que a MS da parte aérea da planta e a área foliar total são plotadas como uma função de regressão não linear de diferentes teores de nitrato. A razão de eficiência de N, descrita por Gerloff & Gabelman (1983), calculada pela divisão da MS total da planta pela acumulação total de N (g de MS total/mg de N). A EUTN de Siddiqi & Glass (1981), obtida dividindo-se a MS total da planta pela concentração de N (MS total g²/mg de N) e a EAN, descrita por Elliot & Läuchli (1985), calculada pela divisão da acumulação total de N pela MS de raízes (mg de N/g de MS de raízes).

A quantidade de N recuperada da adubação pela cultura resulta do balanço entre a absorção e imobilização de N por processos microbianos no solo de distintas composições (HIREL et al., 2007). Por essas razões, esses autores, ao examinarem os estudos de Schulten & Schnitzer (1998), Walley et al. (2002) e Burger & Jackson (2004), comentam que o conceito de EUN de uma determinada cultura deve ser considerado em função da textura do solo, condições climáticas, interações entre o solo e processos bacterianos e, além destes fatores, da natureza de fontes de N orgânicas e inorgânicas. Segundo Muchow (1998), o

conhecimento dos fatores de solo e exigências de N da cultura são pré-requisitos para a concepção de estratégias de manejo que visem maximizar a resposta de rendimento ao N. Obviamente, as implicações de que estimativas de EUN possam ser afetadas pela complexidade do ciclo biogeoquímico do N no solo e meio ambiente da cultura exige a caracterização detalhada das condições de crescimento da cultura, para que a EUN possa ser examinada em experimentos. Deve-se mencionar que outros fatores ambientais, como a água disponível (CAMPBELL et al., 1993; MILLS et al., 2009), o sistema particular de produção de forragem, o método, parcelamento e época de aplicação de N (RAUN & JOHNSON, 1999), podem ter importância na avaliação da EUN, podendo influenciar seus resultados.

Vários aspectos agronômicos destacam a importância de se conhecer a eficiência da adubação de N em capim-braquiária para a produção de sementes, como o de prevenir a deficiência de N, do perfilhamento reduzido, baixo enchimento de sementes, de reduzir as perdas de N para o ambiente e incrementar a absorção de N do solo. Por outro lado, o uso excessivo de adubações de N pode aumentar a incidência de insetos pragas, patógenos foliares, o acamamento de plantas e o crescimento vegetativo excessivo, que dificulta a colheita e pode reduzir o rendimento de sementes. Outro fato é que, em todo o mundo, o custo de fabricação de fertilizantes nitrogenados é muito alto, e, em muitas situações, estes fertilizantes representam um dos insumos de maior custo para o cultivo de cereais (GIAMBALVO et al., 2010; SPIERTZ, 2010). Comumente, para o caso da maioria dos cereais, a EUN se reduz com o incremento da adubação de N (FAGERIA & BALIGAR, 2005; HIREL & LEMAIRE, 2005).

De acordo com Spiertz (2010), as oportunidades de melhorias na EUN são:

a) genótipos melhorados: a moderna biotecnologia de plantas e o melhoramento clássico de plantas têm demonstrado oportunidades para melhorias da EUN por meio da seleção de atributos específicos de plantas e adaptação às condições de stress;

b) Melhoria no uso de recursos: mediante o suprimento mais adequado de N e de água ao longo do período de crescimento e por manejos mais específicos, as condições locais podem evitar o stress em estádios críticos de crescimento das culturas; e

c) Sistemas de cultivos melhorados: os produtores podem variar as épocas de semeadura/plantio e a escolha de culturas na sequência de cultivos de maneira a melhor utilizar o “make up” genético da cultura determinado por clima, solos e pragas.

Na maioria dos casos em cereais, com o decréscimo da EUN, os incrementos de ganhos de rendimento de grãos se tornam mais reduzidos, assim obtêm-se as típicas relações curvilineares entre o rendimento de grãos e o fornecimento de N, as quais têm sido descritas

por modelos de equações quadráticas ou variantes da equação de Mitscherlich (KATROSHAN et al., 2014; LIANG et al., 2014). Depreende-se pelo exame da literatura que eficiências de adubações de N têm sido estudadas quase que somente nas culturas de sorgo (MUCHOW, 1998) e capim-milheto (MAMAN et al., 1999).

A prática da remoção de grandes quantidades de resíduos vegetais de cortes de rebaixamento em campos de produção de sementes de capim-braquiária pode alterar as quantidades de N exportadas e o N disponível no solo nas colheitas subsequentes, podendo-se esperar alterações na EUN. Na região central de Queensland, Austrália, Zhu et al. (2006), nos anos de 1997 a 1999, em cultura de trigo submetida às épocas de desfolha mecânica, mediram a absorção de N, parâmetros agrônômicos de eficiência de N, o conteúdo de proteína do feno produzido, o N removido do sistema e o rendimento de grãos. Eles mostraram as consequências ecológicas de se capturar mais N do solo com a escolha da época de desfolha apropriada para a produção de feno, incrementando a eficiência fisiológica de uso de N (matéria seca total no tratamento de N – MS de grãos do tratamento testemunha)/(N absorvido pelo tratamento desfolhado – N absorvido pelo tratamento testemunha), a EAN e a EUN, em comparação à cultura de trigo não desfolhada. Contudo, os autores recomendam cautela com relação a seus resultados em razão da dependência de preços de trigo e do feno.

No caso das gramíneas de estação fria, resultados de EUN na produtividade de sementes têm sido reportados (COCKSON et al., 2000; GISLUM & GRIFFITH, 2004). Na Nova Zelândia, Cockson et al. (2000), em azevém perene irrigado, usando ureia com ^{15}N enriquecido, examinaram os efeitos simultâneos de taxas de N aplicadas em três épocas (outono, final do inverno e na primavera) nos anos de 1996 e 1997, sendo que, em 1997, a taxa de adubação de N foi incrementada. Em 1996, as taxas de N para as respectivas épocas de outono, final do inverno e na primavera foram 0-0-0; 50-50-50; 0-0-150; 50-0-150; 0-50-150 e 50-50-150 kg ha⁻¹ e, em 1997, as taxas de N aplicadas nestas épocas foram 0-0-0; 0-50-150; 50-50-150; 50-100-150; 50-50-200 e 50-100-200 kg ha⁻¹. Nesse estudo, para o cálculo da percentagem aparente de N recuperado e EUN, foram usados os respectivos conceitos de Kanneganti & Klausner (1994) e Novoa & Loomis (1981). O rendimento de sementes e as eficiências de uso e de recuperação do adubo foram maiores com as taxas de N de 50 kg ha⁻¹, 50 ou 100 kg ha⁻¹ e 150 kg ha⁻¹, no outono, final do inverno e na primavera, respectivamente. No segundo ano do estudo, eles obtiveram resultado de EUN que variou de 9,3 a 11,2 g m⁻², mas que não diferiram significativamente. No entanto, houve diferença significativa para a percentagem de N recuperado, que foi maior (48,7 g m⁻²) para a estratégia de aplicação de 50 kg ha⁻¹ no outono, 100 kg ha⁻¹ no final do inverno e 150 kg ha⁻¹ na primavera, com

rendimento de semente resultante de 451 g m⁻². Eles concluíram que a estratégia de adubação de N pode resultar em rendimentos altos de sementes de alta qualidade com menor risco de poluição ambiental, especialmente de perdas de N para o ambiente.

No Nebraska, nos Estados Unidos, nas estações de crescimento de 1995 e 1996, Maman et al. (1999) avaliaram em capim-milheto os efeitos de três híbridos e do N (0 e 78 kg ha⁻¹) no rendimento de grãos, absorção de N e a EUN. Nesse trabalho, para o cálculo da EUN na produção de MS (EUN_{matéria seca}) e da EUN para o rendimento de grãos (EUN_{grãos}), foram usados os conceitos de Maranville et al. (1980). Eles constataram que a adubação de N aumentou o rendimento de grãos, CNP e absorção de N, porém reduziu a EUN_{matéria seca} e a EUN_{grãos}. Suas médias, para as doses de N 0 e 78 kg ha⁻¹ no ano de 1995 foram de 98 e 95 g de MS e de 56 e 51 g de grãos por g⁻¹ de N. Para o ano de 1996, as médias atingidas foram de 80 e 73 g de MS e de 49 e 40 g de grãos para cada g de N aplicada. Diferenças na EUN_{grãos} foram constatadas somente em 1996 no híbrido 1361M x 6Rm, que teve mais baixas EUN_{grãos} e rendimento de grãos. Eles concluíram que a adubação de N adequada faz-se necessária para assegurar alto rendimento de grãos do capim-milheto.

Na literatura, trabalhos que avaliaram a EUN e seus componentes no rendimento de forragem por cortes da parte aérea em forrageiras de inverno têm sido motivo de estudos frequentes (MARINO et al., 2004; MILLS et al., 2009). Em gramíneas tropicais, também se encontram dados experimentais de EUN determinadas para avaliar a conversão de N em forragem, porém em número bastante menor se comparado às gramíneas de inverno.

Silveira et al. (2007), citado previamente, no sul dos Estados Unidos, durante três anos consecutivos, estudando a resposta do capim-bermuda [*Cynodon dactylon* (L.) Pers. cv. Coastal], as fontes de N (ureia-nitrato de amônio, ureia, nitrato de amônio e sulfato de amônio) em combinações com enxofre, boro e cálcio e as doses de N 0, 45, 90 e 135 kg ha⁻¹ em dois tipos de solos, cuja textura predominante era arenosa, observaram que a ERN (ERN=[(N absorvido na parcela adubada-N absorvido na parcela testemunha)/(taxa de N aplicada) x 100]) declinou e houve acidificação do solo com o incremento da taxa de N. Nesse estudo, a ERN variou por volta de 58 a 70% com a aplicação de 45 kg ha⁻¹ de N, entre 37 a 63% com 90 kg ha⁻¹ de N e de 30 a 58% com 135 kg ha⁻¹ de N.

Recentemente, Sartor et al. (2011) relataram valores de ERN para o capim-papuã, uma espécie de braquiária anual, utilizado sob pastejo contínuo e submetido às doses de N (0, 200 e 400 kg ha⁻¹) e intensidades de pastejo definida pela massa de forragem (2000 e 3600 kg de MS ha⁻¹). Eles não obtiveram diferença significativa para essas doses de N no rendimento de MS e no N total recuperado, porém a ERN variou significativamente, foi 110,04 e 40,81%,

respectivamente, nas doses de N 200 e 400 kg ha⁻¹. As relações entre a EAN, EUtN e a EUN com o rendimento de sementes nas braquiárias não foram ainda estabelecidas.

2.5 Balanço de nitrogênio em culturas de sementes forrageiras

A pesquisa que trata da ciclagem e eficiência de uso de nutrientes em ecossistemas agrícolas nos dias de hoje é parte da agenda em Instituições de Pesquisas Agronômicas. Pode-se depreender tal fato pela análise dos inúmeros artigos publicados nas últimas décadas em periódicos científicos renomados no mundo inteiro, como exemplo o *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, *Journal of Environment Quality* e o *Agriculture, Ecosystems and Environment*. No caso das espécies de braquiárias, não existem estudos que avaliaram o balanço de N em campos de sementes. Nos Estados Unidos, quando somente o N exportado nas sementes foi utilizado no cálculo do balanço de N, o estudo de Kennedy et al. (2002) em capim-milheto mostrou que o balanço de N é dependente da dose de N utilizada, podendo-se obter balanço positivo, próximo do equilíbrio, ou negativo sem adubação de N. RRP mais completas de rebaiamentos em campos de produção de sementes gramíneas podem acarretar em exportações de nutrientes ainda mais altas de N.

Kennedy et al. (2002), utilizando o híbrido ‘HGM 100’ de capim-milheto, avaliaram em dois locais em 1998 e em três locais em 1999 os efeitos da adubação de N até 168 kg ha⁻¹ para identificar teores de N críticos nos tecidos em dois estádios de iniciação floral da cultura, identificando-se, assim, a necessidade de aplicações adicionais de N. Foi calculado nesse trabalho o BPNRAC, pela subtração da quantidade de N removida nas sementes colhidas do N da adubação. Eles observaram, para a média dos locais e dos anos, que, sem a aplicação de N, o BPNRAC variou entre 0 a -50 kg ha⁻¹ de N, ao passo que, com o incremento da aplicação de N, o BPNRAC teve incremento linear positivo. Interessantemente, os autores encontraram relação linear significativa ao relacionarem o BPNRAC com a CNP no estágio inicial denominado ‘boot stage’. Esse trabalho demonstrou que para o manejo mais efetivo da adubação de N devem ser incluídos outros fatores críticos inter-relacionados, como exportações de N em função do rendimento de grãos/sementes. Os resultados de BPNRAC no trabalho de Kennedy et al. (2002) permitem um melhor entendimento da eficiência de N em um sistema, podendo resultar em recomendações mais consistentes de estratégias de adubação nitrogenada. De acordo com Widowati et al. (2011), estimativas de balanço de N podem ser

usadas também como base para calcular a EUN e, por conseguinte, para avaliar o desempenho de práticas de manejo de adubação. O balanço de N fornece informações sobre o fluxo de N sobre um ou mais ciclos de produção e deveria ser o primeiro requisito para que a recomendação de adubação se torne eficiente nos sistemas de produção agrícola (WIDOWATI et al., 2011).

Thomason (1998), em trabalho conduzido nos Estados Unidos durante três anos e em dois locais, avaliou a EUN em culturas de trigo de inverno destinada para a produção de forragem e destinada à produção de grãos, que tiveram, respectivamente, EUN de 77% e 31%. Ainda com relação a esse estudo, a quantidade de N exportada foi 104 e 59 kg ha⁻¹, nos respectivos sistemas exclusivos de produção de forragem e grãos de trigo.

É possível que, em campos de produção de sementes do capim-braquiária, as perdas de N gasosas nas plantas do florescimento até a colheita possam ser altas, mas resultados experimentais que quantificaram este tipo de perdas não se encontram disponíveis. Note-se que, no estudo de Franco et al. (2008), conduzido em casa de vegetação, com solo arenoso e utilizando o ¹⁵N marcado, as perdas de N na parte aérea do capim-braquiária entre a antese e a maturidade foram presumidas com base no balanço de N. Nesse trabalho, foram três os tratamentos examinados (estádio de antese com umidade do solo mantida a 60% da capacidade máxima de retenção de água, estágio de pós-antese ou maturidade com umidade do solo mantida a 60% da capacidade máxima de retenção de água e pós-antese com umidade estabelecida após a antese de 20% da capacidade máxima de retenção de água do solo). Eles verificaram perdas de N pela parte aérea das plantas na fase de pós-antese de 25%, se comparada à fase de antese. Outro resultado desse estudo diz respeito ao déficit hídrico, que minimizou as perdas de N na parte aérea das plantas na fase pós-antese do capim-braquiária.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização do local, solo e clima

Neste estudo, as metodologias e os resultados de rendimento de sementes e seus componentes usados nos cálculos de eficiências de N foram detalhados em um artigo científico que será submetido para publicação.

O experimento incluiu os dois ciclos possíveis de produção de sementes (conhecidos por floradas) de outubro-janeiro de 2010-2011, 2011-2012 e janeiro-maio de 2011 e 2012 do capim-braquiária nas condições do noroeste do Paraná, e foi implantado no campus da Universidade Estadual de Maringá (UEM) (longitude 53⁰17', latitude 23⁰44'' e altitude 480 m), em Umuarama, PR.

No campo experimental, o solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico (SANTOS et al., 2006), com textura franco arenosa (72 g kg⁻¹ de areia, 9 g kg⁻¹ de silte e 19 g kg⁻¹ de argila). Amostras de solo foram colhidas em camadas de profundidades (Tabela 1) na semana inicial de agosto de 2010, onde se pode constatar que os teores de fósforo (P) e potássio (K) se encontravam altos. Os atributos químicos do solo foram determinados conforme métodos descritos em Embrapa (2011). Com base nos atributos, calcularam-se, a soma de bases (SB), o valor da capacidade de troca de cátions (CTC) e da CTC efetiva a pH 7,0, a porcentagem de saturação por bases (V%), porcentagem de saturação por alumínio (m%) e a porcentagem de matéria orgânica no solo (MOS%). Em decorrência, nenhuma adubação dos nutrientes elucidados foi realizada. Essa condição química do solo deveu-se a adubações prévias conforme a Comissão de Química e Fertilidade do Solo RS/SC (2004).

O clima nessa região é do tipo CFA, subtropical úmido de acordo com a classificação de Köppen (MAACK, 1968). As chuvas são mais concentradas de outubro a março (média de 170 mm) (WREGGE et al., 2011). Em abril e setembro, os volumes de chuvas são mais baixos. As condições meteorológicas foram obtidas na Estação Meteorológica do Simepar, situada por volta de 10 km da área experimental. Podem ser examinadas na Figura 1 as condições de clima durante os ciclos consecutivos de produção de sementes de 2010-2011 e 2011-2012.

Tabela 1. Atributos químicos do solo da área experimental nas diferentes profundidades

Profundidade	pH	Al ³⁺	H ⁺ Al ³⁺	Ca ²⁺ +Mg ²⁺	K ⁺	P	B	Zn	S-SO ₄ ²⁻	C	SB	CTC	CTC efetiva	V	m	MOS
(cm)	CaCl ₂	-----cmolc dm ⁻³ -----			-----mg dm ⁻³ -----			g dm ⁻³		-----cmolc dm ⁻³ -----		-----%-----				
0-5	5,33	0,00	2,51	4,33	0,47	38,34	0,26	2,57	5,67	12,03	4,80	7,31	4,80	66	0,0	2,07
5-10	4,86	0,02	3,89	1,78	0,48	20,76	0,28	1,93	3,12	9,28	2,26	6,15	2,28	37	0,3	1,60
10-20	4,61	0,10	4,27	1,49	0,45	5,81	0,17	1,78	1,05	7,56	1,94	6,21	2,04	31	1,6	1,30

H+Al – método SMP, Ca, Mg, Al – extraídos com KCl mol L⁻¹, P, K – extraídos com Mehlich 1, C orgânico – método Walkley & Black, S-SO₄²⁻ – extraído pelo método Fosfato Monocálcico, Zn – extraído com extrator Mehlich 1, B – solução extratora água quente.

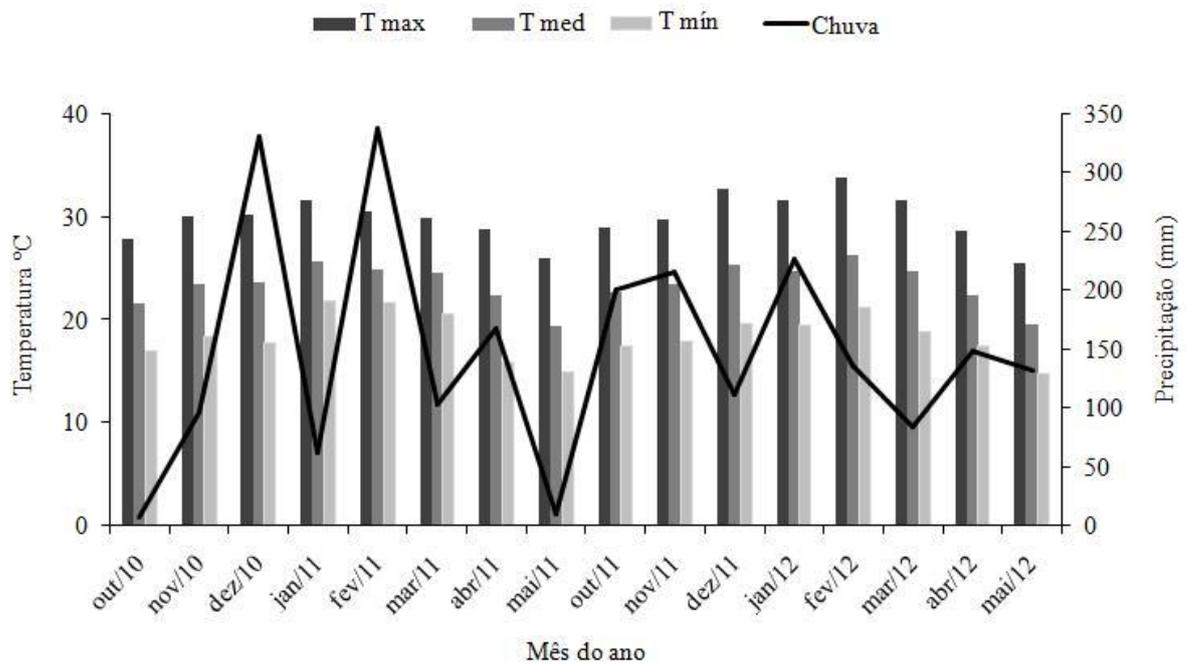


Figura 1. Médias de temperaturas máximas (T max) e mínimas (T mín), temperatura média (T med) e precipitação durante a condução experimental.

3.2 Delineamento experimental

Na área experimental, o capim-braquiária estabeleceu-se por ressemeadura natural na primavera de 2005. Previamente a este trabalho, na área experimental, foram conduzidos os estudos de Rickly (2009) e Pancera Júnior (2001). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com três repetições, com os tratamentos arranjados em parcelas subdivididas. Os tratamentos foram repetidos nas mesmas unidades experimentais em todos os ciclos de produção de sementes. Os tratamentos compreenderam duas PMRP (RRP ou NRRP) cortadas nos rebaixamentos pós-inverno no início de outubro (em preparação a colheita de sementes de janeiro) e no pós-colheita em janeiro (em preparação a colheita de maio) (parcela principal) e quatro doses de N (0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹), referidas, respectivamente, como N₀, N₅₀, N₁₀₀ e N₁₅₀ (subparcela). Na área experimental, nas parcelas dos tratamentos de RRP, a cada ciclo de produção de sementes a cultura era roçada a 10 cm do solo e, logo a seguir, os resíduos de plantas e a liteira eram removidos manualmente e com rastelo, cuidando-se para deixar o mínimo sob o solo, conforme indicação de Stür & Hunphreys (1985). Nas demais parcelas, os resíduos de plantas e a liteira foram mantidos sob o solo para serem naturalmente decompostos. As áreas das subparcelas eram de 32 m² (4x8 m). A fonte de N foi o nitrato de amônio granular, aplicado manualmente em cobertura em aplicação única após o corte de rebaixamento, em todos os tratamentos de N. Para o ciclo de produção de sementes de outubro-janeiro, as aplicações de N foram em 4/10/2010 e 7/10/2011 e, para o ciclo de produção de sementes de janeiro-maio, as aplicações de N foram em 21/1/2011 e 25/1/2012.

3.3 Amostragens de plantas e mensurações

As plantas de capim-braquiária foram amostradas na maturidade, sendo as sementes colhidas na terceira semana de janeiro e maio, em 2011 e em 2012. Essas épocas de colheitas foram baseadas em Castro et al. (1994), que indicam como época mais adequada 35 dias após o início de florescimento. Na determinação dos números de perfilhos vegetativos, reprodutivos e total, foram utilizados quadros metálicos de 0,5 x 1,0 m (0,50 m²) locados em duas áreas próximas do centro da subparcela. Nessas áreas, os perfilhos foram contados e, a seguir, as inflorescências no interior dos quadros foram contadas, cortadas e postas em sacos

de papel identificados, que foram mantidos abertos em local sombreado por quatro meses. Essas amostras de inflorescências foram trilhadas manualmente para a determinação do número de sementes puras por inflorescência⁻¹. As sementes dessas amostras foram também usadas para a determinação da massa de mil sementes puras, baseando-se nas regras de análise de sementes (BRASIL, 2009). Foram cortados e colhidos todos os perfilhos em dois locais usando-se quadros metálicos de 0,5 m² para avaliar a biomassa de plantas (quantidade de MS ha⁻¹). Essas amostras foram colocadas em estufa de ar forçado para serem secas a 60⁰C, até que o peso constante fosse atingido. Após, foram pesadas para avaliação da MS, moídas em moinho tipo Willey, e armazenadas em sacos plásticos para a avaliação da CNP. A CNP foi determinada usando-se o aparelho semi-micro de Kjeldahl e titulação com ácido sulfúrico. A absorção de N na parte aérea das plantas (kg ha⁻¹) foi determinada pela multiplicação da MS ha⁻¹ pela CNP (g de N kg de MS⁻¹).

3.4 Cálculos

Os cálculos dos parâmetros de eficiência de N estão de acordo com as terminologias propostas nos trabalhos de Moll et al. (1982), Craswell & Goodwin (1984), Rathke et al. (2006) e Liang et al. (2014), descritas abaixo:

$$\text{Ef. de absorção de N (EAN)} = \frac{\text{N absorvido}}{\text{N da adubação}} \text{ (kg kg}^{-1}\text{)} \quad (2)$$

$$\text{Ef. de utilização de N (EUtN)} = \frac{\text{Rend. sementes}}{\text{N absorvido}} \text{ (kg kg}^{-1}\text{)} \quad (3)$$

$$\text{Ef. de uso de N (EUN)} = \text{Eficiência de absorção N} \times \text{Eficiência de utilização de N} \quad (4)$$

$$\text{Ef. de recuperação de N (ERN)} = \frac{\text{N absorvido (adubado)} - \text{N absorvido (não adubado)}}{\text{N da adubação}} \times 100 \text{ (\%)} \quad (5)$$

$$\text{Ef. fisiológica de N (EFN)} = \frac{\text{Rend.sementes (adubado)} - \text{Rend.sementes (não adubado)}}{\text{N absorvido (adubado)} - \text{N absorvido (não adubado)}} \text{ (kg kg}^{-1}\text{)} \quad (6)$$

$$\text{Ef. de produção de biomassa (EPB)} = \frac{\text{MS (adubado)} - \text{MS (não adubado)}}{\text{N absorvido (adubado)} - \text{N absorvido (não adubado)}} \text{ (kg kg}^{-1}\text{)} \quad (7)$$

$$\text{Ef. agronômica de N (EAgn)} = \frac{\text{Rend. sementes (adubado)} - \text{Rend. sementes (não adubado)}}{\text{N da adubação}} \text{ (kg kg}^{-1}\text{)} \quad (8)$$

O BPNRAC foi calculado baseando-se em Kennedy et al. (2002). Esses autores, em culturas de sementes de capim-milheto, no cálculo do BPNRAC, subtraíram a quantidade de N removida nas sementes colhidas do N aplicado na adubação. No caso do presente experimento, considerou-se no cálculo do BPNRAC a diferença entre a quantidade de N da adubação e a quantidade de N determinada na avaliação do N absorvido pela cultura por ocasião da colheita em amostras de plantas cortadas rente ao nível do solo. O N da liteira removida não foi considerado nessas estimativas.

3.5 Análise estatística

A análise da variância foi aplicada aos dados para determinar a significância dos efeitos de PMRP, doses de N e suas interações sobre a CNP, absorção de N, no BPNRAC e nos parâmetros de eficiência de N usando-se o programa SAS Institute (2002). A análise da variância foi realizada separadamente para cada ciclo de produção de sementes. A significância dos efeitos de PMRP foi analisada pelo teste F, a 5% de probabilidade. As interações e os efeitos independentes das doses de N significativos foram analisados por equação de regressão, sendo testados o modelo linear e o quadrático. A comparação entre as médias de eficiências de N, para cada ciclo de produção de sementes, foi feita com o teste da diferença mínima significativa, e a significância estatística foi declarada para médias que diferiram a $P < 0,05$. As análises de correlação de Pearson foram testadas entre a CNP, absorção de N, EAN, EUtN e EUN com o RSP, a 5% de probabilidade. Nas análises de correlação de Pearson da EAN, EUtN e EUN, o tratamento sem a aplicação de N foi descartado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Condições climáticas

As médias de temperaturas média, máxima e mínima mantiveram-se próximas das médias normais obtidas no noroeste do Paraná (WREGGE et al., 2011). As reduções nas médias de temperatura mínima e de chuvas em maio são normais, em razão da estação do outono. As chuvas foram relativamente bem distribuídas, que pode ter refletido em crescimento satisfatório das plantas e no enchimento de sementes. Cabe notar que, em dezembro de 2010 e fevereiro de 2011, as chuvas foram superiores a 300 mm, já, em maio de 2011, as chuvas foram menores que 50 mm. Chuvas e ventos fortes prévios as datas de colheita que poderiam ter causado degranadas acentuadas de sementes não foram constatados. Todavia, sabe-se pouco sobre efeitos de fatores climáticos que podem afetar o florescimento e os estádios de enchimento de sementes do capim-braquiária.

4.2 Rendimento de sementes puras (RSP), concentração de nitrogênio nas plantas (CNP), absorção de nitrogênio e eficiências de nitrogênio

Como comentado previamente, o RSP é parte de outro artigo científico, portanto, a sua resposta aos tratamentos não será discutida em detalhes, porém os efeitos dos tratamentos são mostrados. Conforme a análise da variância, os principais efeitos que influenciaram o RSP, CNP, absorção de N, EAN, EUtN, EUN, ERN, EFN, EPB, EA_gN e o BPNRAC podem ser vistos na Tabela 2. Foi constatada significância para a interação PMRP e doses de N no RSP apenas no ciclo de produção de sementes de janeiro de 2011. Ainda no RSP, as PMRP tiveram efeito apenas nas colheitas de janeiro de 2011 e 2012, e tiveram efeito independente das doses de N no RSP em todas as colheitas de sementes. Não foi constatada significância para a interação entre PMRP e doses de N para a CNP, a absorção de N e para as eficiências de N. Constatou-se que a interação entre PMRP e N foi significativa no BPNRAC em todos os ciclos de produção de sementes. As PMRP tiveram efeito na CNP e absorção de N somente na colheita de maio de 2011. Efeito independente das doses de N foi constatado na CNP e

absorção de N em todas as colheitas. Para as eficiências de N calculadas, o efeito independente significativo de PMRP foi observado na EUtN, EUN, EFN e EAgN na colheita de janeiro de 2011, e na ERN na colheita de janeiro de 2012. Os efeitos independentes das doses de N nos parâmetros de eficiências de N variaram por colheita.

Tabela 2. Análise estatística dos efeitos de práticas de manejo de resíduos de plantas (PMRP) e de doses de nitrogênio (N) no rendimento de sementes puras (RSP), concentração de nitrogênio nas plantas (CNP), absorção de nitrogênio, eficiência de absorção de nitrogênio (EAN), eficiência de utilização de nitrogênio (EUtN), eficiência de uso de nitrogênio (EUN), eficiência de recuperação de nitrogênio (ERN), eficiência fisiológica de nitrogênio (EFN), eficiência de produção de biomassa (EPB), eficiência agrônômica de nitrogênio (EAgN) e balanço presumido de nitrogênio remanescente após a colheita (BPNRAC), nos ciclos de produção de sementes (CPS) de outubro a janeiro e de janeiro a maio de 2010-2011 e 2011-2012

	RSP	CNP	Absorção de Nitrogênio	EAN	EUtN	EUN	ERN	EFN	EPB	EAgN	BPNRAC
	kg ha ⁻¹	g de N kg de MS ⁻¹	kg ha ⁻¹	----- kg kg ⁻¹ -----		%	----- kg kg ⁻¹ -----		kg ha ⁻¹		
CPS janeiro 2011											
PMRP	**	ns	ns	ns	**	**	ns	**	ns	**	**
N	**	**	**	**	ns	**	*	ns	ns	**	ns
PMRP x N	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**
CPS maio 2011											
PMRP	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**
N	**	**	**	**	ns	**	ns	ns	ns	*	ns
PMRP x N	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**
CPS janeiro 2012											
PMRP	**	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	**
N	**	**	**	**	*	**	*	ns	ns	ns	ns
PMRP x N	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**
CPS maio 2012											
PMRP	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**
N	**	**	**	**	*	**	ns	*	ns	**	ns
PMRP x N	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**

* P ≤ 0,05, ** P ≤ 0,01. ns - não significativo.

Os valores de RSP, CNP, absorção de N, eficiências de N e de BPNRAC em resposta as PMRP estão mostrados na Tabela 3. O RSP foi maior com a RRP nas colheitas realizadas em janeiro de 2011 e 2012, porém, nas colheitas realizadas em maio de 2011 e 2012, o RSP não diferiu significativamente em ambos os tratamentos de RRP e NRRP. A CNP e a absorção de N foram maiores apenas na colheita de maio de 2011, cuja variação foi de 1,08 a 1,15 g de N kg de MS⁻¹ e de 145,74 a 161 kg ha⁻¹, respectivamente, mantendo-se e removendo-se os resíduos de plantas de rebaixamentos. Nas demais colheitas, a CNP e a absorção de N não tiveram valores que diferiram significativamente em resposta às PMRP.

As PMRP somente afetaram significativamente a EUtN, EUN, EFN e a EAgN na colheita de janeiro de 2011, onde se obteve valores superiores das eficiências de N na RRP, e na ERN para a colheita de janeiro de 2012 que, foi maior com a NRRP. Ainda com relação às PMRP, não se constatou efeito independente sobre a EAN e sobre a EPB em nenhuma colheita. Em todas as colheitas, os resultados de BPNRAC tiveram valores significativamente superiores e foram positivos com a NRRP sob o solo, ao passo que a RRP determinou valores negativos de BPNRAC.

Autores como Lamb & Murray (1999), Adjei et al. (2000), Lemke et al. (2003), entre outros, ao avaliarem os efeitos simultâneos de práticas de retirada de resíduos de plantas/desfolhas e adubação de N, verificaram efeitos benéficos da RRP no rendimento de sementes. A explicação mais plausível para as respostas observadas de CNP, absorção de N e eficiências de N, nas parcelas da NRRP, pode estar associada aos processos de imobilização do N absorvido pelos micro-organismos ao decomporem estes resíduos, seguido da mineralização deste N para o solo, além de outros processos do ciclo biogeoquímico de N no solo e da quantidade e composição química dos resíduos vegetais. É provável também que fatores de clima, como o volume de chuvas e as temperaturas altas, notadamente após as colheitas de janeiro (Figura 1), tenham ocasionado decomposição menos prolongada dos resíduos vegetais. Isso não prejudicou o surgimento de gemas que influenciam o rebrote dos novos perfilhos por sob os resíduos, que, conseqüentemente, não prejudicou o crescimento da cultura e, em decorrência, a CNP e a absorção de N. Aparentemente, por volta de 55 dias após os rebaixamentos, não era mais possível de se distinguir visualmente as parcelas com a NRRP daquelas com a RRP. No presente estudo, a relação carbono: nitrogênio das plantas cortadas nos rebaixamentos não foi avaliado.

Tabela 3. Efeitos de práticas de manejo de resíduos de plantas (PMRP) (remoção de resíduos de plantas – RRP, não remoção de resíduos de plantas – NRRP) (médias das doses de nitrogênio) no rendimento de sementes puras (RSP), concentração de nitrogênio nas plantas (CNP), absorção de N, eficiência de absorção de nitrogênio (EAN), eficiência de utilização de nitrogênio (EUtN), eficiência de uso de nitrogênio (EUN), eficiência de recuperação de nitrogênio (ERN), eficiência fisiológica de nitrogênio (EFN), eficiência de produção de biomassa (EPB), eficiência agrônômica de nitrogênio (EA_gN) e balanço presumido de nitrogênio remanescente após a colheita (BPNRAC)

PMRP	RSP	CNP	Absorção de nitrogênio	EAN	EUtN	EUN	ERN	EFN	EPB	EA _g N	BPNRAC
	kg ha ⁻¹	g de N kg de MS ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg kg ⁻¹		%	kg kg ⁻¹		kg ha ⁻¹		
Janeiro – 2011											
RRP	107,83 ^{a**}	1,08 ^a	143,47 ^a	1,90 ^a	0,83 ^{a**}	1,54 ^{a**}	89 ^a	1,51 ^{a**}	28,92 ^a	1,24 ^{a**}	-143,45 ^b
NRRP	73,64 ^b	1,11 ^a	147,02 ^a	1,97 ^a	0,53 ^b	1,03 ^b	103 ^a	0,77 ^b	42,04 ^a	0,55 ^b	147,02 ^{a**}
Maio – 2011											
RRP	81,55 ^a	1,08 ^b	145,74 ^b	1,92 ^a	0,59 ^a	1,10 ^a	102 ^a	0,75 ^a	52,24 ^a	0,74 ^a	-145,74 ^b
NRRP	82,49 ^a	1,15 ^{a*}	161,00 ^{a*}	2,09 ^a	0,56 ^a	1,17 ^a	102 ^a	0,85 ^a	49,94 ^a	0,88 ^a	160,95 ^{a**}
Janeiro – 2012											
RRP	78,30 ^{a**}	1,12 ^a	148,39 ^a	1,88 ^a	0,57 ^a	1,03 ^a	69 ^b	1,13 ^a	42,34 ^a	0,76 ^a	-148,40 ^b
NRRP	63,46 ^b	1,09 ^a	144,40 ^a	1,90 ^a	0,48 ^a	0,85 ^a	90 ^{a**}	0,77 ^a	54,62 ^a	0,64 ^a	144,39 ^{a**}
Maio – 2012											
RRP	87,85 ^a	1,08 ^a	127,81 ^a	1,67 ^a	0,77 ^a	1,31 ^a	87 ^a	1,39 ^a	51,56 ^a	1,07 ^a	-127,83 ^b
NRRP	84,64 ^a	1,12 ^a	132,67 ^a	1,73 ^a	0,73 ^a	1,31 ^a	80 ^a	1,42 ^a	43,53 ^a	1,11 ^a	135,51 ^{a**}

Médias seguidas de mesma letra minúsculas iguais na coluna não diferem entre si, * P ≤ 0,05, ** P ≤ 0,01. ns -não significativo.

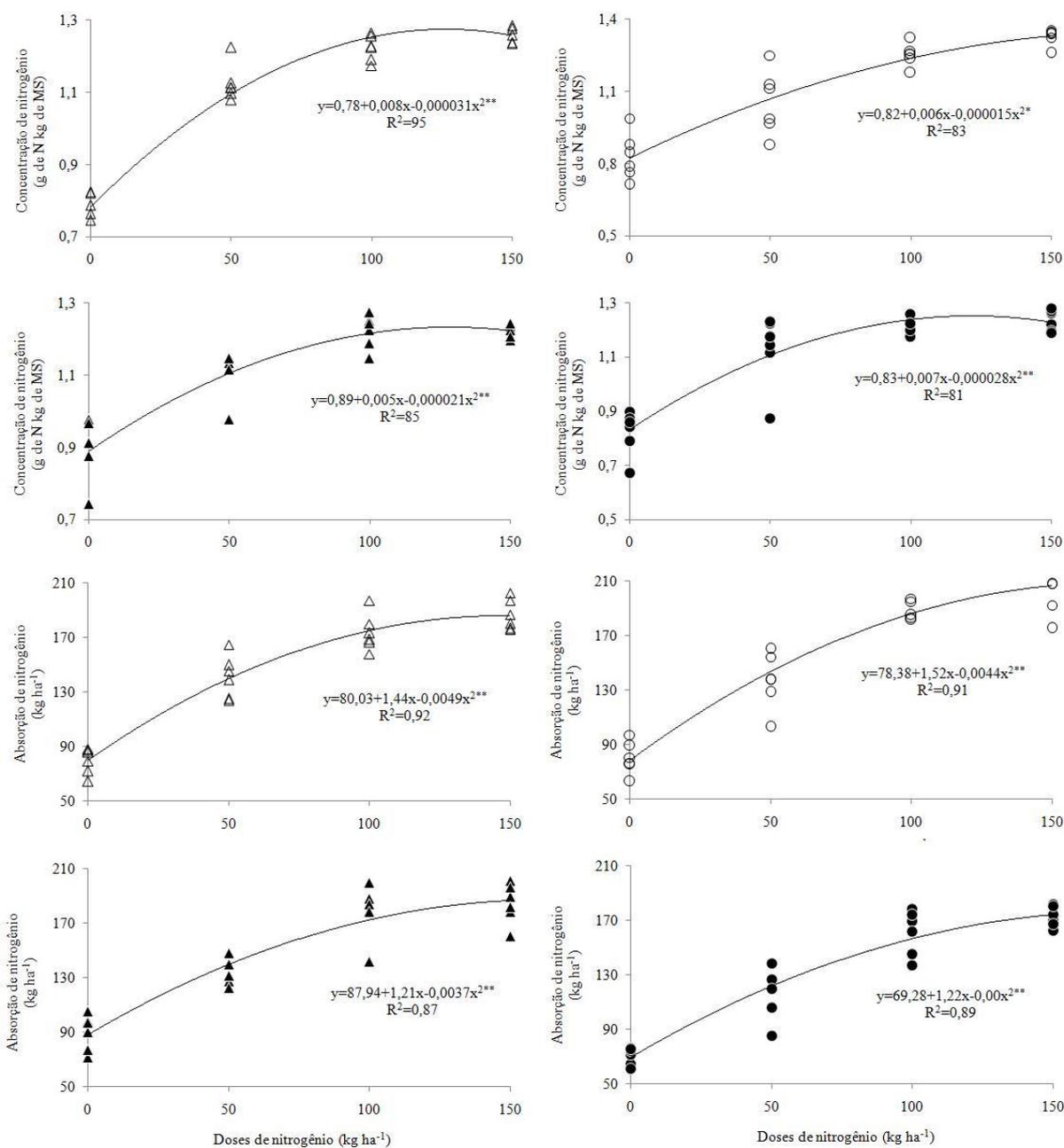
Considerando-se a média das colheitas, a variação na EAN e na EPB em resposta as práticas de manejo estudadas foram de 1,67 a 2,09 e de 28,92 a 54,62 kg kg⁻¹, respectivamente. Sartor et al. (2011), em capim-papuã, usado sob pastejo e submetido às doses de N até 400 kg ha⁻¹, obtiveram resultados de ERN de 110,04 e 40,81%, respectivamente, nas doses de N de 200 e 400 kg ha⁻¹. Era esperado que a manutenção dos resíduos de plantas resultasse em melhoria na ERN, mas isto se verificou somente na colheita de janeiro de 2012. Melhorias na ERN nem sempre podem resultar de resíduos de culturas mantidos sob o solo (MALHI et al., 2011). Em muitas situações, além dos resíduos de plantas mantidos sob o solo, a ERN parcialmente dependeria da adubação de N, mineralização líquida de N da matéria orgânica do solo ou do N não usado de aplicações de N prévias (BALASUBRAMANIAN et al., 2004). Os resultados negativos de BPNRAC com a RRP devem ser atribuídos às altas exportações de N, em comparação com a NRRP.

Os resultados de CNP e de absorção de N tiveram efeito independente significativo das doses de N (Figura 2), exceto na colheita de maio de 2011, na qual a CNP teve também efeito independente de PMRP (Tabela 2). Nessas variáveis, em todos os ciclos de produção de sementes avaliados, a resposta ao N se ajustou melhor ao modelo quadrático, com altos coeficientes de determinação. Na média, na ausência da adubação de N, a CNP e a absorção de N tiveram, respectivamente, resultados próximos a 0,9 g de N kg de MS⁻¹ e a 90 kg de N ha⁻¹, exceto na colheita realizada em maio de 2012 cuja absorção foi pouco superior a 70 kg ha⁻¹ de N. Na N₁₀₀ e N₁₅₀, a CNP teve valores por volta de 1,2 g de N kg de MS⁻¹, mas na colheita de maio de 2011 na N₁₅₀ a CNP atingiu valor de 1,3 g de N kg de MS⁻¹. De maneira geral, a absorção de N, usando-se N₁₀₀ e N₁₅₀, foi pouco superior a 170 kg ha⁻¹ de N nas colheitas realizadas em janeiro de 2011 e 2012. Note-se que, na colheita de maio de 2011, na N₁₅₀, a absorção de N atingiu valores aproximados de 210 kg ha⁻¹. Na última colheita avaliada, as absorções de N na N₅₀ foram por volta de 120 kg ha⁻¹ e na N₁₀₀ e N₁₅₀ foram de 170 kg ha⁻¹.

As curvas de respostas de CNP e absorção de N em resposta ao aumento de N são assintóticas, ou seja, as variáveis incrementaram com o aumento da adubação nitrogenada até atingir um platô, no qual pode indicar um potencial genético do capim-braquiária. Kennedy et al. (2002) comentam que o híbrido de capim-milheto HGM 100 com maiores CNP previamente a iniciação floral (diferenciação do meristema apical) poderia apresentar maior potencial para assimilação e/ou remobilização de N para o estágio de enchimento de sementes. Contudo, em capim-braquiária, isso ainda não foi investigado. Os resultados observados próximos de 100 kg ha⁻¹ de N absorvido na parte aérea, sem qualquer adubação de

N mineral (N_0), bem como os obtidos com a aplicação de N, mostram a capacidade excepcional do capim-braquiária em extrair N do solo, ressaltando que na N_0 a alta absorção de N não se refletiu em RSP altas (dados não apresentados). Independentemente das doses de N testadas, os resultados verificados de absorção de N foram elevados. Deve ser considerado que neste trabalho o solo apresentava condições químicas apropriadas e muito provavelmente com boa capacidade de retenção de umidade.

As baixas CNP observadas (Figura 2) obviamente se devem ao fato da cultura se encontrar na maturidade, e são resultantes do aumento da proporção de caules e senescência de folhas, além de perdas de N gasosas sujeitas a ocorrerem na parte aérea após o estágio da antese, conforme foi mostrado por Franco et al. (2008). As CNP nos estádios vegetativos são altas e decrescem com a idade da planta (MAMAN et al., 1999; GISLUM & BOELT, 2005). Os resultados elevados de absorção de N (Figura 2) são consistentes com os reportados em gramíneas tropicais por Mathews et al. (2004), McLaughlin et al. (2004) e Silveira et al. (2007). As absorções de N na N_0 estão em concordância com Mathews et al. (2004), que citam que algumas gramíneas forrageiras de estação quente apresentam capacidades de absorção de N, na ausência de qualquer adubação de N, entre 40 a 120 kg ha⁻¹. Dawson et al. (2008) citam que a absorção de N é altamente relacionada com a assimilação de N na planta, ou seja, com a incorporação de N nos tecidos das plantas.



* $P \leq 0,05$, ** $P \leq 0,01$.

Figura 2. Relação entre a concentração de nitrogênio e a absorção de nitrogênio com as doses de nitrogênio, no ciclo de produção de sementes de janeiro (Δ), maio (○) 2011 e janeiro (▲), maio (●) 2012.

4.3 Interação do balanço presumido de nitrogênio remanescente após a colheita (BPNRAC)

Analisando-se simultaneamente os resultados da interação significativa das PMRP x doses de N no BPNRAC (Figura 3), percebeu-se que as respostas se ajustaram melhor a regressão quadrática. No entanto, no caso do BPNRAC de maio de 2012 com a NRRP, os dados desta variável se ajustaram melhor a regressão linear.

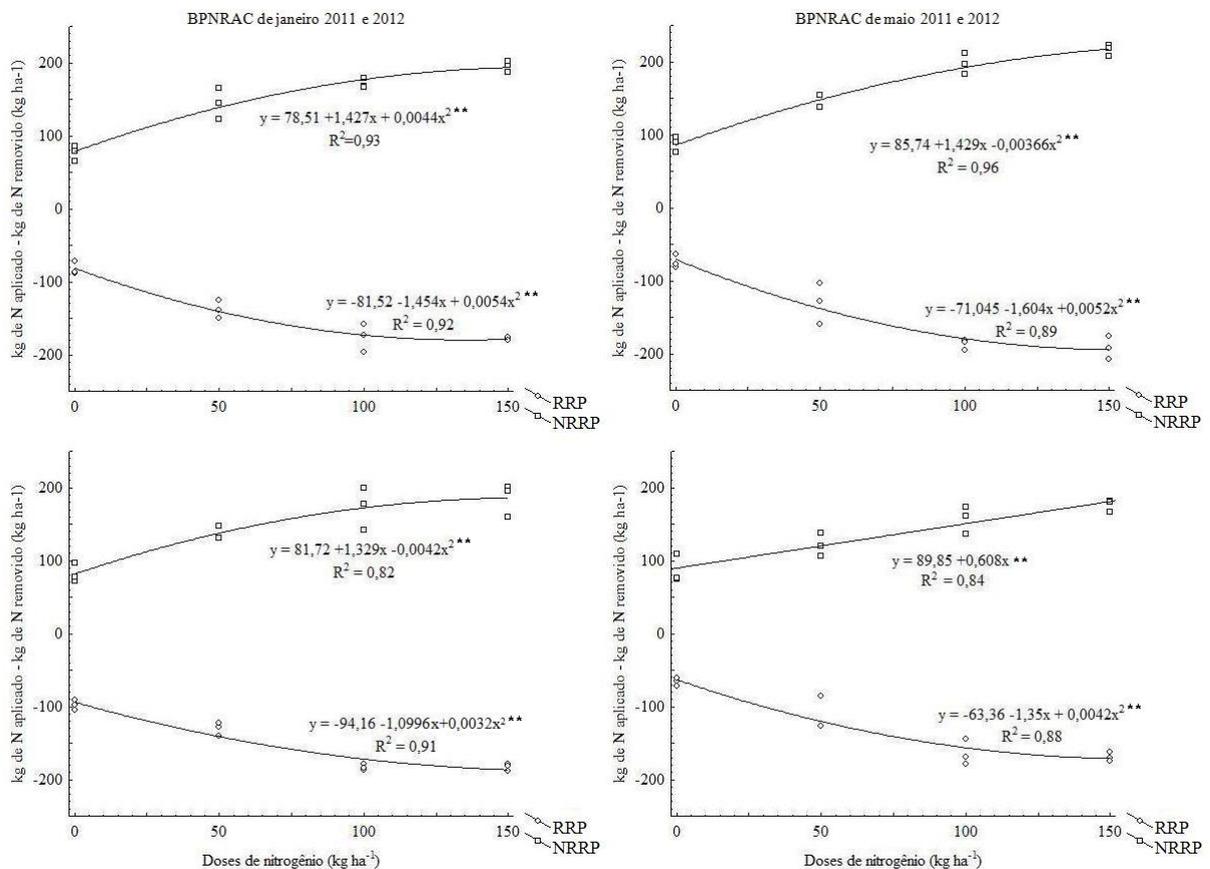


Figura 3. Interação entre as práticas de manejo de resíduos de plantas (PMRP) e doses de nitrogênio sobre o balanço presumido de nitrogênio remanescente após a colheita (BPNRAC).

Os padrões de resposta observados de BPNRAC no presente trabalho, que considerou a quantidade de N absorvida nas plantas por ocasião da colheita subtraída do N aplicado na adubação, foram negativos para a RRP, porém, com a NRRP, os resultados de BPNRAC foram positivos em todos os ciclos de produção de sementes. A prática da RRP combinada com a ausência da adubação de N foi inadequada para manter o BPNRAC em todos os ciclos de produção de sementes avaliados. Nesses tratamentos, foram verificadas remoções de N próximas de -100 (ciclos de produção de sementes de janeiro) e - 70 kg ha⁻¹ (ciclos de produção de sementes de maio) de N. Nas maiores doses de N (N₁₀₀ e N₁₅₀), os dados observados de BPNRAC, com a NRRP, mantiveram-se próximos de 170 kg ha⁻¹ de N na colheita de janeiro e de maio de 2011, e nas colheitas de janeiro e maio de 2012 foram por volta de 150 kg ha⁻¹. A NRRP, considerando-se a variação em todas as colheitas avaliadas, teve resultados de BPNRAC nas maiores doses de N que atingiram valores drásticos negativos entre - 150 a - 200 kg ha⁻¹ de N.

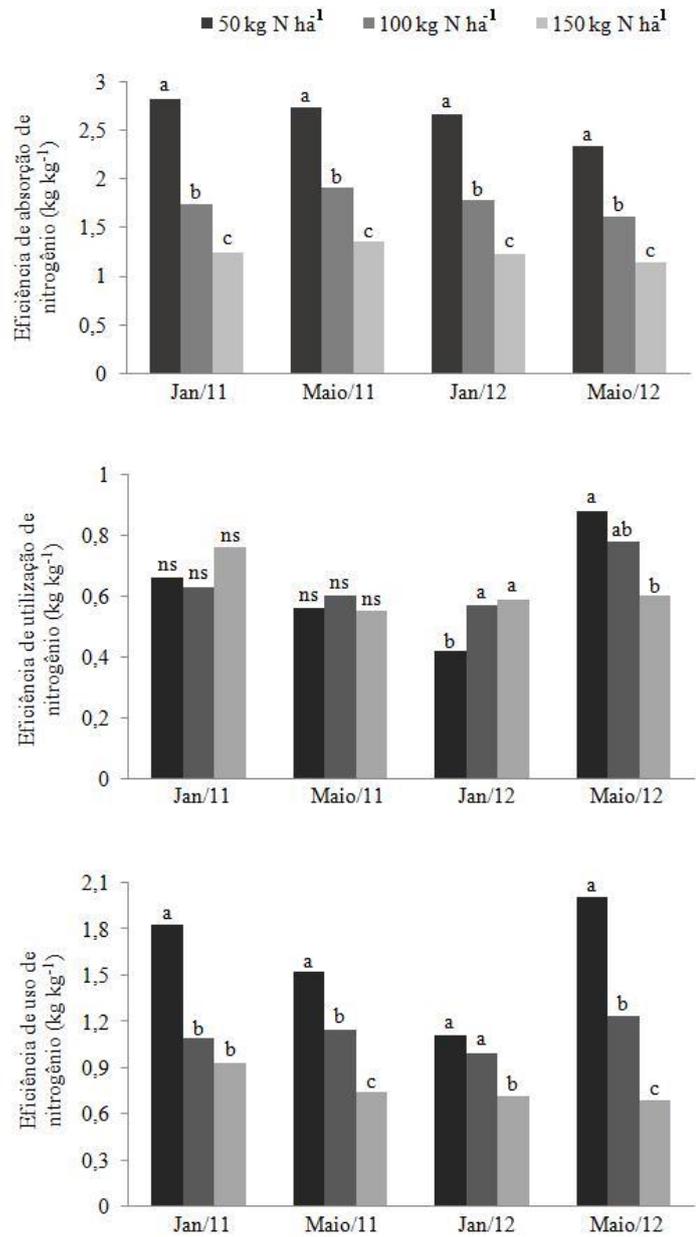
Depreende-se que com a NRRP deixou-se mais N para o sistema solo-planta. Vê-se, claramente, que a RRP dos rebaixamentos pós-colheita determinou a exportação de altas quantidades de N, e isto ocorreu principalmente nas maiores taxas de N devido à alta produtividade de biomassa da cultura em resposta ao N aplicado. Remoções altas de N podem causar redução nos estoques de carbono orgânico e do N disponível no solo, e podem reduzir a atividade microbiana no solo. Isso tem sido mostrado em grande número de estudos agronômicos e ecológicos (TEASDALE et al., 2008; MALHI et al., 2011; SU et al., 2014). No presente trabalho, as perdas de N que ocorrem na parte aérea das plantas, por exemplo, entre a antese e a maturidade fisiológica, não foram consideradas no balanço de N, assim como perdas gasosas de N do adubo aplicado. As liberações de N na parte aérea, predominantemente como NH₃ após a antese, foram demonstradas por cientistas em várias culturas (RAUN & JOHNSON, 1999) e em capim-braquiária (FRANCO et al., 2008).

É sabido por inúmeros trabalhos na literatura (RAUN & JOHNSON, 1999; MALHI et al., 2011) que a manutenção de resíduos de culturas sob o solo pode ocasionar melhorias em parâmetros de eficiência de N, especialmente no caso da EAN, EUtN, EUN e ERN. No entanto, neste estudo, de maneira geral, esse padrão de resposta não foi verificado nas eficiências de N na maioria das colheitas. No tratamento de RRP, isso pode não ter ocorrido devido às exportações de N nos resíduos de plantas (Figura 3), em parte, compensaram o aumento na adubação de N. No caso da NRRP, pode ter havido os efeitos da imobilização de N por micro-organismos do solo e de outros processos relacionados ao ciclo do N no solo, conforme indicam Malhi et al. (2011), entre outros autores.

Os dados de balanço de nitrogênio neste trabalho poderiam ser usados para sensibilizar os produtores da importância de se manter os restos de plantas sob o solo e para recomendações de adubações de nitrogênio em manuais com tabelas típicas de adubações. Entretanto, ainda é necessário cautela com relação à indicação da manutenção dos restos de plantas devido aos aspectos relacionados à doenças, sobretudo as que atingem as inflorescências.

4.4 Comparação entre médias das respostas das eficiências de nitrogênio

Com relação às respostas de EAN (Figura 4) à adubação de N, constatou-se que houve diferenças significativas ($P < 0,05$) em todas as colheitas, e esta variável decresceu à medida que a dose de N incrementou. Na média das colheitas, verificou-se que a variação na EAN foi entre 2,4 a 2,8 kg kg^{-1} na N_{50} a 1,2 kg kg^{-1} na N_{150} . Na EUtN, não foram observadas diferenças significativas nas colheitas de janeiro e maio de 2011, houve porém diferenças significativas nas colheitas de janeiro e maio de 2012. Na colheita de janeiro de 2012, o menor valor de EUtN foi na N_{50} , já na N_{100} e na N_{150} os resultados de EUtN não diferiram entre si. Contudo, na colheita de maio de 2012, o maior valor foi na N_{50} e o menor na N_{150} , e a EUtN na N_{100} não diferiu em relação a ambas N_{50} e N_{100} . Com relação à EUN, na N_{50} , observaram-se resultados melhores, excetuando-se a colheita de janeiro de 2012, que N_{50} não diferiu significativamente da N_{100} . De maneira geral, houve decréscimo na EUN com a elevação na taxa de aplicação de N. Nas colheitas de maio, a EUN foi mais baixa na N_{150} , se comparada às demais doses de adubação de N. Na média das colheitas, a EUN na N_{50} teve valores que variaram de 1,0 (colheita de janeiro de 2012) a 2,0 kg kg^{-1} (colheita de maio de 2012). Entretanto, na N_{150} esta eficiência de N foi por volta de 0,8 kg kg^{-1} , considerando-se a média das colheitas.



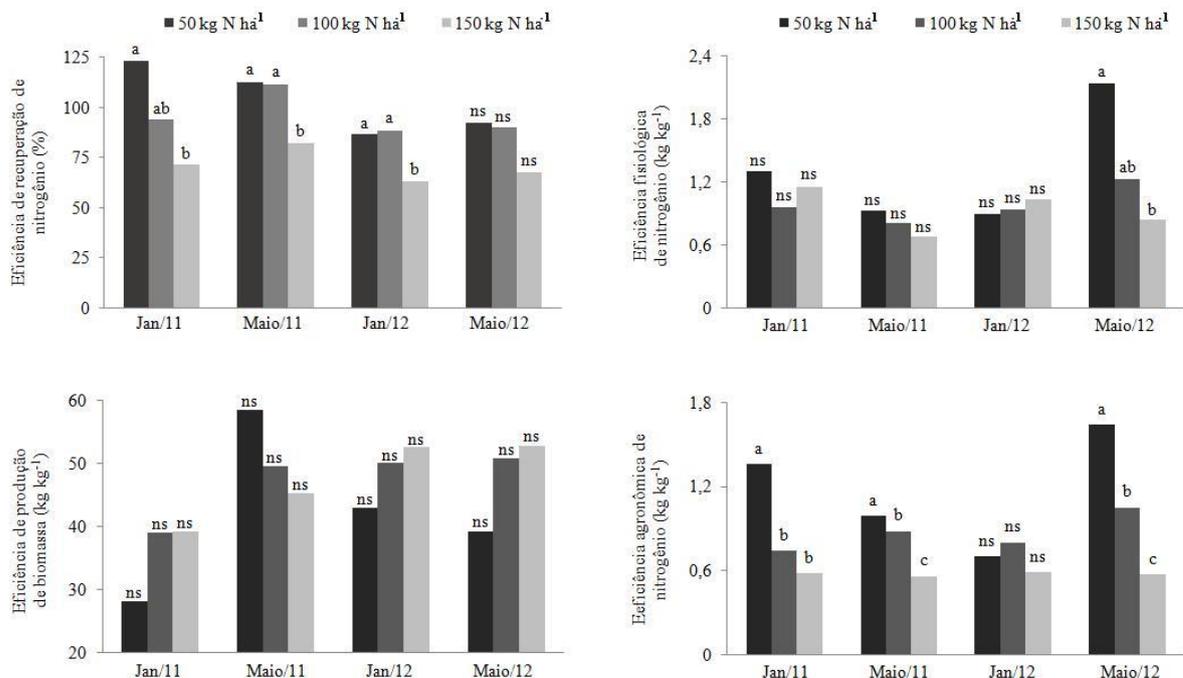
Médias seguidas de mesma letra minúsculas iguais na barra não diferem entre si pelo teste da diferença mínima significativa. ns - não significativo.

Figura 4. Comparação entre as médias da eficiência de absorção de nitrogênio (EAN), eficiência de utilização de nitrogênio (EUN), eficiência de uso de nitrogênio (EUN).

A eficiência pela qual o N é usado pela planta de capim-braquiária é também afetada pelas EAN e EUtN. Corroborando com a maioria dos autores, os resultados demonstram que com o aumento da taxa de aplicação de N houve redução na EAN e EUN (MAMAN et al., 1999; RAUN & JOHSON, 1999; SAMONTE et al., 2006; SILVEIRA et al., 2007; DAWSON et al., 2008; SYLVESTER-BRADLEY & KINDRED, 2009). De acordo com Mathews et al. (2004), o incremento na eficiência de extração de N do solo é função do aumento na taxa de absorção e/ou do incremento no comprimento de raízes. No caso do capim-braquiária, os efeitos de maiores adubações de N em campos de produção de sementes sobre o volume de raízes não são claros. É importante salientar que o RSP do capim-braquiária é baixo, pelo fato de suas sementes serem leves (massa de mil sementes por volta de 3,8 g) (GOBIUS et al., 2001; PANCERA JÚNIOR, 2011) e, além disto, prioriza mais a formação de folhas e caules em detrimento do desenvolvimento de sementes. Por causa disso, poder-se-ia esperar resultados baixos de EUtN e de EUN. Estudos que avaliaram conceitos de EUN e de seus componentes (EAN e EUtN), tais como foram definidos no presente estudo, em espécies ou cultivares de braquiárias, não foram encontrados, impossibilitando qualquer comparação com os resultados aqui obtidos. Todavia, há estudos conduzidos em gramíneas tropicais cujos valores de EUtN foram reportados. Muchow (1998), ao avaliar culturas de sorgo em diversos locais da Austrália, relatou que a máxima EUtN foi 48 g de grãos g⁻¹ de N absorvido. A variação reportada na EUN no rendimento de grãos, em híbridos de capim-milheto que foram submetidos às doses de N 0 e 78 kg ha⁻¹, foi de 7,0 a 12 g de grãos g⁻¹ de N, respectivamente (MAMAN et al., 1999).

Os resultados de ERN na N₅₀ e na N₁₀₀ não diferiram nas colheitas de janeiro e de maio de 2011 e na colheita de janeiro de 2012, e, de maneira geral, nas doses de N, obtiveram-se os melhores resultados de ERN (Figura 5). Todavia, a ERN na colheita de maio de 2012 não apresentou diferença significativa para as doses de N. A EFN diferiu apenas na colheita de maio de 2012, onde se verificou na N₅₀ valor maior, sendo que a N₁₀₀ não apresentou diferença significativa com ambas as N₅₀ e N₁₅₀. Na média das doses de N testadas nas colheitas, a EFN foi próxima de 1,0 kg de sementes puras kg⁻¹ de N absorvido na parte aérea das plantas, com exceção da colheita de maio de 2012 na N₅₀, onde a EFN atingiu resultado por volta de 2,2 kg de sementes puras kg⁻¹ de N absorvido na parte aérea das plantas. A EPB não diferiu em função da adubação de N em nenhuma das colheitas. Neste estudo, os valores de EPB foram próximos de 40 kg kg⁻¹. As maiores EA_gN foram observadas na N₅₀, exceto na colheita de janeiro de 2012, em que se constatou que não houve resposta na EA_gN com o incremento na adubação de N. Levando-se em consideração a média das

colheitas, a variação na EA_{gN} na N₅₀ foi de 1,0 a 1,6 kg kg⁻¹. Ainda com relação à média nas colheitas, na N₁₅₀, os resultados de EA_{gN} foram por volta de 0,6 kg kg⁻¹.



Médias seguidas de mesma letra minúsculas iguais na barra não diferem entre si pelo teste F (LSD). ns -não significativo.

Figura 5. Comparação entre as médias da eficiência de recuperação de nitrogênio (ERN), eficiência fisiológica de nitrogênio (EFN), eficiência de produção de biomassa (EPB) e eficiência agrônômica de nitrogênio (EA_{gN}).

A ERN, EFN e a EPB indicam, respectivamente, o quanto mais de N, de sementes e de MS é produzida por unidade de N absorvido, ao passo que a EA_gN indica o quanto mais de sementes é produzida por unidade de N aplicado na adubação.

Os resultados de ERN podem estar relacionados com o excesso de NO₃ nas camadas mais próximas à superfície do solo ao final do ciclo de produção de sementes, que determinaria o aumento nas perdas de N para o ambiente, sobretudo para o caso das maiores doses de N. As baixas EFN podem ser atribuídas ao baixo RSP e índice de colheita (razão entre o RSP e a biomassa aérea de plantas) verificados em capim-braquiária (PANCERA JÚNIOR, 2011) e às elevadas capacidades de absorção de N nas distintas doses de N (Figura 2).

Para as gramíneas forrageiras perenes de estação quente, usadas em condições de cortes, Mathews et al. (2004) citam que tipicamente os valores de ERN encontram-se na faixa de 50 a 100%, valores considerados altos. Os resultados percentuais de ERN constatados neste trabalho são próximos dos reportados por Sartor et al. (2011), em capim-papuã, uma espécie de braquiária anual, usada sob pastejo e submetida às intensidades de pastejo e às doses de N até 400 kg ha⁻¹. Nesse estudo, a ERN diferiu nas doses de 200 e 400 kg ha⁻¹ de N, obtendo valores de 110,04 e 40,81%.

Os resultados percentuais de EAN (Figura 4) são consistentes também com os reportados por Silveira et al. (2007), em capim-bermuda com doses de N até 135 kg ha⁻¹. Em culturas de capim-braquiária para a produção de sementes, a EA_gN não tem sido reportada. Do ponto de vista de um produtor, a meta econômica de maximizar a margem líquida é de alta importância. Entretanto, os resultados verificados neste trabalho, principalmente os resultados de BPNRAC e os de parâmetros de eficiência de N, apresentam também alta relevância e devem ser considerados para os sistemas de produção de sementes do capim-braquiária em colheitas de sementes de panículas. Adicionalmente, deve-se buscar minimizar os riscos de perdas de N para o ambiente, evitando-se, assim, a poluição ambiental.

As exportações de N, sugeridas por meio do cálculo de BPNRAC, que nas colheitas de sementes incrementaram conforme a dose de N aplicada (Figura 4), podem ter afetado diferentemente a eficiência de N, especialmente a partir da colheita de maio de 2011.

4.5 Correlação de Pearson entre a concentração de nitrogênio nas plantas (CNP), absorção de nitrogênio, eficiência de absorção de nitrogênio (EAN), eficiência de utilização de nitrogênio (EUtN) e eficiência de uso de nitrogênio (EUN) com o rendimento de sementes puras (RSP)

Os coeficientes de correlação entre a CNP e a absorção de N com o RSP foram positivos e significativos, podendo ser considerados como altos (Tabela 4). O coeficiente de correlação entre a EAN com o RSP foi significativo e negativo (-0,67) somente na colheita de janeiro de 2011. Nas colheitas de maio de 2011 e janeiro de 2012, a correlação foi negativa entre a EAN com o RSP, mas não foram estatisticamente significativas. Nas colheitas de janeiro de 2011 e 2012, a EUtN apresentou coeficientes de correlação significativo e alto (0,9) com o RSP. Na colheita de maio de 2011, houve redução no coeficiente de correlação. Entretanto, na colheita de maio de 2012, a correlação entre a EUtN com o RSP foi baixa e não significativa. Os coeficientes de correlação entre a EUN com o RSP foram baixos e não significativos para ambas às colheitas de janeiro de 2011 e 2012 e para a colheita de maio de 2011. Entretanto, a correlação entre a EUN com o RSP foi significativa na colheita de maio de 2012, mas com baixo coeficiente de correlação (0,47).

Tabela 4. Correlação de Pearson entre a concentração de nitrogênio na parte aérea da planta (CNP), absorção de nitrogênio, eficiência de absorção de nitrogênio (EAN), eficiência de utilização de nitrogênio (EUtN) e eficiência de uso de nitrogênio (EUN) com o rendimento de sementes puras (RSP)

	RSP (kg ha ⁻¹)			
	Janeiro 2011	Maió 2011	Janeiro 2012	Maió 2011
CNP (g de N kg de MS ⁻¹)	0,78*	0,81*	0,83*	0,77*
Absorção de N (kg ha ⁻¹)	0,75*	0,87*	0,87*	0,78*
EAN (%)	-0,67*	-0,27 ns	-0,34 ns	0,26 ns
EUtN	0,90*	0,60*	0,90*	0,44 ns
EUN	0,13 ns	0,28 ns	0,47 ns	0,47*

* P ≤ 0,05, para correlação de Pearson. ns - não significativo.

Samonte et al. (2006), em um estudo no Texas, em genótipos de arroz, verificaram que a CNP na maturidade fisiológica e a EUtN foram significativamente correlacionadas com o rendimento de grãos. Para a cultura de trigo, submetida aos diferentes tipos de preparo do solo e manejo dos resíduos de plantas, em dois tipos de solo, arenoso ou com teor alto de silte, Yadvinder-Sing et al. (2009) relatam relação linear entre a CNP com o rendimento de grãos. Regressão linear entre a absorção de N e o rendimento de grãos em culturas de milho e sorgo foi observada por Muchow (1998).

5 CONCLUSÕES

A concentração de nitrogênio nas plantas e a absorção de nitrogênio não foram influenciadas pela remoção ou não de resíduos de plantas em três dos quatro ciclos de produção de sementes do capim-braquiária. A concentração de nitrogênio nas plantas e a absorção de nitrogênio estimadas na maturidade aumentaram de maneira quadrática com o aumento na dose de nitrogênio em todas as colheitas. Nas colheitas de janeiro e maio de 2011, a variação na concentração de nitrogênio nas plantas foi de 0,9 a 1,3 g de N kg de matéria seca⁻¹, enquanto que na absorção de nitrogênio foi de 90 a 200 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

Os resultados de balanço presumido de nitrogênio remanescente após a colheita indicam claramente que a manutenção de resíduos de plantas dos rebaixamentos pode gradativamente melhorar a produtividade do solo por manter maior quantidade de N no sistema solo-planta. A remoção dos resíduos de plantas combinada com a ausência da adubação de N promove balanço presumido de nitrogênio remanescente após a colheita negativo, que atingem valores próximos de - 80 kg ha⁻¹ de nitrogênio. A manutenção dos resíduos de plantas combinada com adubações de nitrogênio entre 100 e 150 kg ha⁻¹ proporciona balanço presumido de nitrogênio remanescente após a colheita positivo, que podem ser entre 150 e 170 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Contrariamente, removendo-se os resíduos de plantas e com adubações de nitrogênio entre 100 e 150 kg ha⁻¹, os resultados de balanço presumido de nitrogênio remanescente após a colheita indicam grande potencial de perdas de nitrogênio, que atingem valores drásticos negativos entre - 150 a - 200 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

A eficiência de absorção de nitrogênio e a eficiência de uso de nitrogênio são melhores usando-se a dose de nitrogênio de 50 kg ha⁻¹. A eficiência de recuperação de nitrogênio não difere nas doses de nitrogênio de 50 e 100 kg ha⁻¹. Os dados sugerem que as eficiências de recuperação do nitrogênio adicionado na adubação, sobretudo nas doses de nitrogênio de 50 e 100 kg ha⁻¹, são elevadas, atingindo médias de valores próximos de 80%. A eficiência fisiológica de nitrogênio no rendimento de sementes puras e a eficiência de produção de biomassa não se alteram com a remoção ou a não remoção dos resíduos de plantas e com o aumento na adubação nitrogenada.

Há correlação positiva entre a concentração de nitrogênio nas plantas, a absorção de nitrogênio e a eficiência de utilização de nitrogênio com o rendimento de sementes puras.

6 REFERÊNCIAS

- ADJEI, M.B.; MISLEVY, P.; CHASON, W. Timing, defoliation management, and nitrogen effects on seed yield of 'Argentine' Bahiagrass. **Agronomy Journal**, v.92, p.36-41, 2000.
- ANDRADE, R.P.; THOMAS, D.; FERGUNSON, J.E. Seed production of pasture species in a tropical savanna region of Brazil. II. Grasses. **Tropical Grasslands**, v.17, p.59-64, 1983.
- ANDRADE, R.P. **Tecnologias de produção de sementes de espécies do gênero *Brachiaria***. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 11. Piracicaba. Anais. Piracicaba: FEALQ, p.49-71, 1994.
- ANDRADE, R.P. **Manejo de palhada residual em sistemas de produção de sementes de capim nos Estados Unidos da América**. In: SOUZA, F.H.D.; POTT, E.B.; PRIMAVESI, O.; BERNARDI, A.C.C.; RODRIGUES, A.A. (Eds.). Usos alternativos da palhada residual da produção de sementes para pastagens. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, p.29-47, 2006.
- BARTH NETO, A.; BOLETA, V.S.; PANCERA JÚNIOR, E.J.; ALMEIDA, G.M.; CANTO, M.W.; GASPARINO, E.; BALTAZAR L.F. Nitrogênio e época de colheita nos componentes da produtividade de forragem e sementes de capim-mombaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.1312-1320, 2010.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, p.147-224: MAPA/ACS, 2009.
- BOONMAN, J.G. **East Africa's Grasses and Fodders: Their Ecology and Husbandry**. Tasks for Vegetation Science 29, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 343p, 1993.
- BURGUER, M.; JACKSON, L.E. Plant and microbial nitrogen use and turnover: rapid conversion of nitrate to ammonium in soil with roots. **Plant and Soil**, v.266, p.289-301, 2004.
- CAMPBELL, C.A.; ZENTNER, R.P.; SELLES, F.; McCONKEY, B.G.; DYCK, F.B. Nitrogen management for spring wheat grown annually on zero-tillage: yields and nitrogen use efficiency. **Agronomy Journal**, v.85, p.107-114, 1993.
- CANODE, C.L. Grass seed production as influenced by cultivation, gapping, and post-harvest residue management. **Agronomy Journal**, v.64, p.148-151, 2000.
- CANTO, M.W.; BARTH NETO, A.; PANCERA JÚNIOR, E.J.; GASPARINO, E.; BOLETA V.S. Produção e qualidade de sementes do capim-mombaça em função da adubação nitrogenada. **Bragantia**, v.71, p.430-437, 2012.
- CARMO, M.A.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; MANTORANI, E.A. Efecto de La fertilización y la época de cosecha em la producción y la calidad de semillas de *Brachiaria decumbens*. **Pasturas Tropicales**, v.10, p.19-22, 1988.

CASTRO, R.D.; VIEIRA, M.G.G.C.; CARVALHO, M.L.M. Influência de métodos e épocas de colheita sobre a produção e qualidade de sementes de *Brachiaria decumbens* cv. "Basilisk". **Revista Brasileira de Sementes, Brasília**, v.16, p.6-11, 1994.

CHASTAIN, T.G.; KIEMNEC, G.L.; COOK, G.H.; GARBACIK, C.J.; QUEBBEMAN, B.M.; CROWE, F.J. Residue management strategies for Kentucky bluegrass seed production. **Crop Science**, v.37, p.1836-1840, 1997.

CHASTAIN, T.G.; YOUNG III, W.C. Vegetative plant development and seed production in cool-season perennial grasses. **Seed Science Research**, v.8, p.295-301, 1998.

CHILCOTE, D.O.; YOUNGBERG, H.W.; STANWOOD, P.C.; KIM, S. **Post-harvest residue burning effects on perennial grass development and seed yield**. In: HEBBLETHWAITE, P.D. (Ed). Seed production. Butterworths, London, p.91-104, 1980.

COALDRAKE, P.D.; PEARSON, C.J. Development and dry weight accumulation of pearl millet as affected by nitrogen supply. **Field Crops Research**, v.11, p.193-205, 1985.

COOCKSON, W.R.; ROWARTH, J.S.; CAMERON, K.C. The response of a perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) seed crop to nitrogen fertilizer application in the absence of moisture stress. **Grass Forage Science**, v.55, p.314-325, 2000.

COOCKSON, W.R.; ROWARTH, J.S.; CAMERON, K.C. The fate of autumn-, late winter- and spring-applied nitrogen fertilizer in a perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) seed crop on a silt loam soil in Canterbury, New Zealand. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.84, p.67-77, 2001.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO RS-SC. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.394, 2004.

CONDÉ, A.R.; GARCIA, J. Efeito de níveis e épocas de aplicação de nitrogênio na produção e qualidade das sementes do capim-colômbio. **Revista Brasileira de Sementes**, v.10, p.33-42, 1988.

CRASWELL, E.T.; GODWIN D.C. The efficiency of nitrogen fertilizers applied to cereals grown in different climates. **Advances in Plant Nutrition**, v.1, p.1-55, 1984.

Do VALLE, C.B.; SIMIONI, C.; RESENDE, R.M.S.; JANK, L. **Melhoramento genético de *Brachiaria***. In: RESENDE, R.M.S.; do VALLE, C.B.; JANK, L. (Ed.) Melhoramento de Forrageiras Tropicais. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, p.13-53, 2008.

DAWSON, J.C.; HUGGINS, D.R.; JONES, S.S. Characterizing nitrogen use efficiency in natural and agricultural ecosystems to improve the performance of cereal crops in low-input and organic agricultural systems. **Field Crops Research**, v.107, p.89-101, 2008.

DRECCER, M.F.; SCHAPENDONK, A.H.C.M.; SLAFER, G.A.; RABBINGE, R. Comparative response of wheat and oilseed rape to nitrogen supply: absorption and utilization efficiency of radiation and nitrogen during the reproductive stages determining yield. **Plant Soil**, v.220, p.189-205, 2000.

ELLIOT, G.C.; LÄUCHLI, A. Phosphorus efficiency and phosphate–iron interactions in maize. **Agronomy Journal**, v.77, p.399-403, 1985.

EMBRAPA. EMBRAPA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos**. Manual de métodos a análises de solos. 2. ed. Rio de Janeiro, p.212, 2011.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. **Advances in Agronomy**, v.88, p.97-185, 2005.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; LI, Y.C. The role of nutrient efficient plants in improving crop yields in the twenty first century. **Journal of Plant Nutrition**, v.31, p.1121-1157, 2008.

FRANCO, H.C.J.; DAMIN, V.; FRANCO, A.; MORAES, M.F.; TRIVELIN, P.C.O. Perdas de nitrogênio pela *Brachiaria decumbens* após a antese: relação com a umidade do solo. **Ciência Rural**, v.38, n.1, p.96-102, 2008.

GERLOFF, G.C.; GABELMAN, W.H. **Genetic basis of inorganic plant nutrition**. In: LÄUCHLI, A.; BILIESKI, R.L. (Eds.), *Encyclopedia of Plant Physiology*, Springer-Verlag, New York, New Series v.15B, p.453-480, 1983.

GIAMBALVO, D.; RUISI, P.; MICELI, G.D.; FRENDIA, A.S.; AMATO, G. Nitrogen use efficiency and nitrogen fertilizer recovery of durum wheat genotypes as affected by interspecific competition. **Agronomy Journal**, v.102, p.707-715, 2010.

GISLUM, R.; BOELT, B.; JENSEN, E.S.; WOLLENWEBER, B.; KRISTENSEN, K. Temporal variation in nitrogen concentration of above ground perennial ryegrass applied different nitrogen fertilizer rates. **Field Crops Research**, v.91, p.83-90, 2005.

GISLUM, R.; GRIFFITH, S.M. Tiller production and development in perennial ryegrass in relation to nitrogen use. **Journal of Plant Nutrition**, v.27, n.12, p.2135-2148, 2004.

GOBIUS, N.R.; PHAIKAEV, C.; PHOLSEN, P.; RODCHOMPOO, O.; SUSENA, W. Seed yield and its components of *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, *Digitaria milanjiana* cv. Jarra and *Andropogon gayanus* cv. Kent in north-east Thailand under different rates of nitrogen application. **Tropical Grasslands**, v.35, p.26-33, 2001.

GOURLEY, C.J.P.; ALLAN, D.L.; RUSSELLE, M.P. Plant nutrient efficiency: a comparison and suggested improvement. **Plant Soil**, v.158, p.29-37, 1994.

HACKER, J.B. **Crop growth and development: Grasses**. In: LOCH, D.S.; FERGUNSON, J.E. (Eds.) *Forage Seed Production. Tropical and Subtropical Species*. Oxford, UK: CAB International, v.2, p.41-56, 1999.

HICKEY, V.G.; ENSIGN, R.D. Kentucky bluegrass seed production characteristics as affected by residue management. **Agronomy Journal**, v.75, p.107-110, 1983.

- HIREL, B.; LEMAIRE, G. From agronomy and ecophysiology to molecular genetics for improving nitrogen use efficiency in crops. **Journal of Crop Improvement**, v.15, p.213-257, 2005.
- HIREL, B.; LE GOUIS, J.; NEY, B.; GALLAIS, A. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: Towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. **Journal of Experimental Botany**, v.58, p.2369-2387, 2007.
- HUGGINS, D.R.; PAN, W.L. Nitrogen efficiency component analysis: an evaluation of cropping system differences in productivity. **Agronomy Journal**, v.85, p.898-905, 1993.
- HUMPHREYS, L.R.; RIVEROS, F. **Tropical Pasture Seed Production**. 3 ed. Roma: FAO, 1986, p.203. (FAO plant production and protection paper, 8).
- JOAQUÍN, B.M.; HERNANDEZ, J.; PÉREZ, J.G.; HERRERA, G; GARCIA, G.; TREJO C. Fertilización nitrogenada y momento de cosecha em la producción de semilla de pasto guinea (*Panicum maximum* Jacq.): parámetros y componentes de rendimiento. **Pasturas Tropicales**, v.23, p.10-15, 2001.
- JOHNSON, R.C.; JOHNSTON, W.J.; GOLOB, C.T. Residue management, seed production, crop development, and turf quality in diverse Kentucky bluegrass germplasm. **Crop Science**, v.43, p.1091-1099, 2003.
- KANNEGANTI, V.R.; KLAUSNER, S.D. Nitrogen recovery by orchard grass from dairy manure applied with or without fertilizer nitrogen. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v.25, p.2771-2783, 1994.
- KATROSCHAN, K-U.; UPTMOOR, R.; STÜTZEL, H. Nitrogen use efficiency of organically fertilized white cabbage and residual effects on subsequent beetroot. **Plant and Soil**, v.382, p.237-251, 2014.
- KENNEDY, C.; BELL, P.; CALDWELL, D.; HABETZ, B.; RABB, J.; ALISON, M.A. Nitrogen application and critical shoot nitrogen concentration for optimum grain and seed protein yield of pearl millet. **Crop Science**, v.42, p.1966-1973, 2002.
- KESSEL, B.A.; SCHIERHOLT, A.; BECKER, H.C. Nitrogen use efficiency in a genetically diverse set of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). **Crop Science**, v.52, p.2546-2554, 2012.
- KUMAR, K.; GOH, K.M. Crop residues and management practices: effects on soil quality, soil nitrogen dynamics, crop yield and nitrogen recovery. **Advances in Agronomy**, v.68, p.197-319, 1999.
- LAFARGE, T. H.; HAMMER, G. L. Predicting plant leaf area production: shoot assimilate accumulation and partitioning and leaf area ratio are stable for a wide range of sorghum population densities. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.77, p.137-151, 2002.
- LAMB, P.F.; MURRAY, G.A. Kentucky bluegrass seed and vegetative responses to residue management and fall nitrogen. **Crop Science**, v.39, p.1416-1423, 1999.

- LEMKE, B.M.; GIBSON, L.R.; KNAPP, A.D.; DIXON, P.M.; MOORE, K.J.; HINTZ, R. Maximizing seed production in eastern gamagrass. **Agronomy Journal**, v.95, p.863-869, 2003.
- LIANG, Z.; BRONSON, K.F.; THORP, K.R.; MON, J.; BADARUDDIN, M.; WANG, G. Cultivar and N fertilizer rate affect yield and N use efficiency in irrigated durum wheat. **Crop Science**, v.54, p.1175-1183, 2014.
- LOEPKY, H.A.; COULMAN, B.E. Crop residue removal and nitrogen fertilization affects seed production in meadow bromegrass. **Agronomy Journal**, v.94, p.450-454, 2001.
- LÓPEZ-GARCÍA, J.A.; OCUMPAUGH, W.R.; ORTEGA-SANTOS, J.A.; LLOYD-REILLEY, J. MUIR, J.P. North american bristlegrass seed yield response to nitrogen fertilizer and environment. **Crop Science**, v.51, p.361-369, 2011.
- MAAK, R. **Geografia física do estado do Paraná**. Curitiba, Banco de Desenvolvimento do Paraná, 1968, p.350.
- MAMAN, N.; MASON, S.C.; GALUSHA, T.; CLEGG, M. Hybrid and nitrogen influence on pearl millet in Nebraska: yield, growth, and nitrogen uptake, and nitrogen use efficiency. **Agronomy Journal**, v.91, p.737-743, 1999.
- MALHI, S.S.; SOON, Y.; GRANT, C.A.; LEMKE, R. Influence of controlled-release urea (polymer-coated ESN) on seed yield and N uptake in northeastern Saskatchewan. **Canadian Journal of Soil Science**, v.90, p.363-372, 2010.
- MALHI, S.S.; NYBORG, M.; SOLBERG, E.D.; DYCK, M.F.; PUURVEEN, D. Improving crop yield and N uptake with long-term straw retention in two contrasting soil types. **Field Crops Research**, v.124, p.378-391, 2011.
- MARANVILLE, J.W.; CLARK, R.B.; ROSS, W.M.; Nitrogen efficiency in grain sorghum. **Journal of Plant Nutrition**, v.2, p.577-589, 1980.
- MARINO, M.A.; MAZZANTI, A.; ASSUERO, S.G.; GASTAL, F.; ECHEVERRÍA, H.E.; ANDRADE, F. Nitrogen dilution curves and nitrogen use efficiency during winter-spring growth of annual ryegrass. **Agronomy Journal**, v.96, p.601-607, 2004.
- MATHEWS, B.W.; MIYASAKA, S.C.; TRITSCHLER, J.P. **Mineral nutrition of C₄ forage grasses**. In: MOSER, L.E.; BURSON, B.L.; SOLLENBERGER, L.E. (Eds.) Warm-Season (C₄) Grasses. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, p.217-265, 2004.
- McLAUGHLIN, M.R.; FAIRBROTHER, T.E.; ROWE, D.E. Forage yield and nutrient uptake of warm-season annual grasses in a swine effluent spray field. **Agronomy Journal**, v.96, p.1516-1522, 2004.
- MEINTS, P.D.; CHASTAIN, T.G.; YOUNG III, W.C.; BANOWETZ, G.M.; GARBACIK, C.J. Stubble management effects on three creeping red fescue cultivars grown for seed production. **Agronomy Journal**, v.93, p.1276-1281, 2001.

MILES, J.W.; Do VALLE, C.B.; RAO, I.; EUCLIDES, V.P.B. **Brachiaria grasses**. In: MOSER, L.E.; BURSON, B.L.; SOLLENBERGER, L.E. (Eds.). Warm-Season (C4) Grasses. Madison: ASA, CSSA, SSSA, p.745-783, 2004.

MILLS, A.; MOOT, D.J.; JAMIESON, P.D. Quantifying the effect of nitrogen on productivity of cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) pastures. **European Journal of Agronomy**, v.30, p.63-69, 2009.

MONTEIRO, J.M.C.; FAVORETTO, V.; REIS, R.A. Épocas de rebaixamento e níveis de nitrogênio na produção e qualidade de sementes de capim-colonião. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.19, p.545-552, 1984.

MOLL, R.H.; KAMBRATH, E.J.; JACKSON, W.A. Analysis and interpretation of factors, which contribute to efficiency of nitrogen utilization. **Agronomy Journal**, v.74, p.562-564, 1982.

MOSIER, A.; SYERS, J.K.; FRENEY, J.R. **Agriculture and the Nitrogen Cycle. Assesing the Impacts of Fertilizer Use on Food Production and the Environment**. Washington: Island Press, 2004, 296p.

MUCHOW, R.C. Nitrogen utilization efficiency in maize and grain sorghum. **Field Crops Research**, v.56, p.209-216, 1998.

MUELLER-WARRANT, G.W.; ROSATO, S.C. Weed control for stand duration perennial ryegrass seed production: I. Residue removed. **Agronomy Journal**, v.94, p.1181-1191, 2002.

MUURINEM, S.; SLAFER, G.A.; PELTONEN-SAINIO, P. Breeding effects on nitrogen use efficiency of spring cereals under northern conditions. **Crop Science**, v.46, p.561-568, 2006.

NOVOA, R.; LOOMIS, R.S; Nitrogen and plant production. **Plant Soil**, v.58, p.177-204. 1981.

ORTIZ-MONASTERIO, J.I.R.; SAYER, K.D.; RAJARAM, S.; McMAHON, M. Genetic progress in wheat yield and nitrogen use efficiency under four N rates. **Crop Science**, v.37, p.898-904, 1997.

PANCERA JÚNIOR, E.J. **Produção de sementes do capim-braquiária submetido à irrigação e doses de nitrogênio**. Dissertação de Mestrado em Zootecnia. Universidade Estadual de Maringá, p.47, 2011.

PHAIKAEW, C.; NAKAMANEE, G.; INTARIT, S.; TUDSRI, S.; ISHII, Y.; NUMAGUCHI, H.; TSUZUKI, E. Effects of soil fertility and fertilizer nitrogen rate on seed yield and seed quality of *Paspalum atratum*. **Tropical Grasslands**, v.36, p.138-149, 2002.

POWLSON, D.S.; GLENDINING, M.J.; COLEMAN, K.; WHITMORE, A.P.; Implications for soil properties of removing cereal straw: results from long-term studies. **Agronomy Journal**, v.103, p.279-287, 2011.

PUMPHREY, F.V. Residue management in Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.) and red fescue (*Festuca rubra* L.) seed fields. **Agronomy Journal**, v.57, p.559-561, 1965.

RAHMAN, M.A.; CHIKUSHI, J.; SAIFIZZAMAN, M.; LAUREN, J.G. Rice straw mulching and nitrogen response of no-till wheat following rice in Bangladesh. **Field Crops Research**, v.91, p.71-81, 2005.

RAUN, W.R.; JOHNSON, G.V. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. **Agronomy Journal**, v.91, p.357-363, 1999.

RATHKE, G.W.; BEHRENS, T. DIEPENBROCK, W. Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): A review. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.117, p.80-108, 2006.

RECOUS, S.; ROBIN, D.; DARWIS, D.; MARY, B. Soil organic N availability: effect on maize residue decomposition. **Soil Biology and Biochemistry**, v.27, p.1529-1538, 1995.

REINERTSEN, S.A.; ELLIOTT, L.F.; COCHRAN, V.L.; CAMPBELL, G.S. Role of available carbon and nitrogen in determining the rate of wheat straw decomposition. **Soil Biology and Biochemistry**, v.16, p.459-464, 1984.

RICKLI, M.E. **Produtividade de forragem e de sementes de *Brachiaria decumbens* Stapf cv. Basilisk em função de irrigação, corte e adubação nitrogenada.** Dissertação de Mestrado em Zootecnia. Universidade Estadual de Maringá, p.47, 2010.

ROTZ, C.A.; TAUBE, F.; RUSSELLE, M.P.; OENEMA, J.; SANDERSON, M.A.; WACHEBDORF, M. Whole-Farm perspectives of nutrient flows in grassland agriculture. **Crop Science**, v.45, p.2139-2159, 2005.

SAMONTE, S.O.P.B.; WILSON, L.T.; MEDLEY, J.C.; PINSON, S.R.M.; McCLUNG, A.M.; LALES, J.S. Nitrogen utilization efficiency: relationships with grain yield, grain protein and yield-related traits in rice. **Agronomy Journal**, v.98, p.168-176, 2006.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; OLIVEIRA, J.B.; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. In: **Sistema brasileiro de classificação de solos** (Ed.). Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006, p.306.

SARTOR, L.R.; ASSMANN, T.S.; SOARES, A.B.; ADAMI, P.F.; ASSMANN, A.L.; PITTA, C.S.R. Nitrogen fertilizer use efficiency, recovery and leaching of an alexandergrass pasture. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.899-906, 2011.

SCHULTEN, H.R.; SCHNITZER, M. The chemistry of soil organic nitrogen: a review. **Biology of Fertilized Soils**, v.26, p.1-15, 1998.

SIDDIQI, M.Y.; GLASS, A.D. Utilization index: a modified phosphorus nutrition of eight forms of two clover species, *Trifolium ambiguum* and *T. repens*. **Journal of Plant Nutrition**, v.4, p.289-302, 1981.

SILVEIRA, M.L.; HABY, V.A.; LEONARD A.T. Response of Coastal bermudagrass yield and nutrient uptake efficiency to nitrogen sources. **Agronomy Journal**, v.99, p.707-714, 2007.

SORGONÀ, A.; ABENAVOLI, M.R.; GRINGERI, P.G.; CACCO, G. A comparison of nitrogen use efficiency definitions in *Citrus* rootstocks. **Scientiae Horticulturae**, v.109, p.389-393, 2006.

SOUZA, F.H.D.; POTT, E.B.; PRIMAVESI, O.; BERNARDI, A.C.C.; RODRIGUES, A.A. **Usos alternativos da palhada residual da produção de sementes para pastagens**. 1. ed. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2006, p.241.

SOUZA, F.H.D.; SILVEIRA, G.C. **A palhada residual da produção de sementes de capins tropicais no Brasil**. In: SOUZA, F.H.D.; POTT, E.B.; PRIMAVESI, O.; BERNARDI, A.C.C.; RODRIGUES, A.A. (Eds.). Usos alternativos da palhada residual da produção de sementes para pastagens. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, p.14-28, 2006.

SOUZA, F.H.D. **Produção de sementes para pastagens tropicais e subtropicais**. In: Reis, R.A.; Bernardes, T.F.; Siqueira G.R. (Eds) Forragicultura. Ciência, Tecnologia e Gestão dos Recursos Forrageiros. Jaboticabal, Brasil: UNESP, p.367-380, 2014.

SPIERTZ, J.H.J. Nitrogen, sustainable agriculture and food security. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v.30, p.43-55, 2010.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE - SAS Institute, Version 9.01. **SAS user's guide: statistics**, Cary, NC, USA, 2002, p.419.

STÜR, W.W.; HUMPHREYS, L.R. **Burning, cutting and the structure of seed yield in *Brachiaria decumbens***. Proceedings of the XV Internacional Grassland Congress, Kyoto, p.303-304, 1985.

SU, W.; LU, J.; WANG, W.; LI, X.; REN, T.; CONG, R. Influence of rice mulching on seed yield and nitrogen use efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) in intensive rice-oilseed rape cropping system. **Field Crops Research**, v.159, p.53-61, 2014.

SYLVESTER-BRADLEY, R.; KINDRED, D.R. Analyzing nitrogen responses of cereals to prioritize routes to the improvement of nitrogen use efficiency. **Journal of Experimental Botany**, v.60, p.1939-1951, 2009.

TEASDALE, J.R.; ABDUL-BAKI, A.A.; PARK, Y.B. Sweet corn production and efficiency of nitrogen use in high cover crop residue. **Agronomy for Sustainable development**, v.28, p.559-565, 2008.

THOMASON, W.E. **Winter wheat nitrogen use efficiency in grain and forage production systems**. Thesis (M.S.) – Oklahoma State University, Stillwater, 1998.

TRINSOUTROT, I.; NICOLARDOT, B.; JUSTES, E.; RECOUS, S. Decomposition in the field of residues of oilseed rape grown at two levels of nitrogen fertilization. Effects on the dynamics of soil mineral nitrogen between successive crops. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.56, p.125-137, 2000.

TORRES, B.M.J.; CANCINO, S.J.; HERNANDEZ-GARAY, A.; PÉREZ J.P. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y calidad de semilla de pasto guinea. **Técnica Pecuaria en México**, v.47, p.69-78, 2009.

VAN OOSTEROM, E.J.; BORRELL, A.K.; CHAPMAN, S.C.; BROAD, I.J.; HAMMER, G.L. Functional dynamics of the nitrogen balance of sorghum: I. N demand of vegetative plant parts. **Field Crops Research**, v.115, p.19-28, 2010.

YADVINDER-SINGH.; GUPTA, R.K.; GURPREET-SINGH.; JAGMOHAN-SINGH.; SIDHU, H.S.; BIJAY-SINGH. Nitrogen and residue management effects on agronomic productivity and nitrogen use efficiency in rice-wheat system in Indian Punjab. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.84, p.141-154, 2009.

YOUNG III, W.C.; YOUNGBERG, H.W.; SILBERSTEIN, T.B. Management studies on seed production of turf-type tall fescue: II. Seed yield components. **Agronomy Journal**, v.90, p.478-483, 1998.

ZHU, G.X.; MIDMORE, D.J.; YULE, D.F.; RADFORD, B.J.; YULE, D.F. Effect of timing of defoliation on wheat (*Triticum aestivum*) in central Queensland 1. Crop response and yield. **Field Crops Research**, v.88, p.211-226, 2004.

ZHU, G.X.; MIDMORE, D.J.; YULE, D.F.; RADFORD, B.J. Effect of timing of defoliation on wheat (*Triticum aestivum*) in central Queensland. **Field Crops Research**, v.96, p.160-167, 2006.

WALLEY, F.; YATES, T.; VAN GROENINGEN, J.W.; VAN KESSEL, C. Relationships between soil nitrogen availability indices, yield and nitrogen accumulation of wheat. **Soil Science Society American Journal**, v.66, p.1549-1561, 2002.

WEIH, M.; ASPLUND, L.; BERGKVIST, G. Assessment of nutrient use in annual and perennial crops: A functional concept for analyzing nitrogen use efficiency. **Plant and soil**, v.339, p.513-520, 2011.

WIDOWATI, L.R.; de NEVE, S.; SUKRISTYOUNNUBOWO; SETYORINI, D.; KASNO, A.; SIPAHUTAR, I.A.; SUKRISTYYOHASTOMO. Nitrogen balances and nitrogen use efficiency of intensive vegetable rotations in South East Asian tropical Andisols. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.91, p.131-143, 2011.

WHITEHEAD, D.C. **Grassland Nitrogen**. Wallingford: CAB International, 1995, 397p, 1995.

WREGGE, M.S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; ALMEIDA, I.R. **Atlas climático da região sul do Brasil**. Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa, p.333, 2011.