

CRESCIMENTO E EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DO NITROGÊNIO EM CULTIVARES DE MILHETO FORRAGEIRO NA AMAZÔNIA¹

NILVAN CARVALHO MELO², ANTONIO RODRIGUES FERNANDES³, JESSIVALDO RODRIGUES GALVÃO^{4*}

RESUMO - O milheto é uma forrageira com alto potencial produtivo, principalmente devido a sua alta tolerância ao déficit hídrico e adaptação a solos de baixa fertilidade. Mesmo sendo adaptada a solos de baixa fertilidade é responsiva à adubação nitrogenada. Assim, o objetivo foi avaliar o crescimento e a eficiência nutricional de cultivares de milheto forrageiro em função de doses de nitrogênio (N). O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em um Latossolo Amarelo Distrófico típico. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, arranjado em esquema fatorial 4 x 2, com seis repetições. Os fatores constituíram-se de tratamento controle (sem adubação com N) e três doses de N (75, 150 e 225 kg ha⁻¹) na forma de uréia e sulfato de amônio e duas cultivares de milheto (BN2 e ADR500). E a colheita realizada 80 dias após a emergência. A maior produção de matéria seca da parte aérea foi obtida com a dose estimada de 179 kg ha⁻¹ de N. A cultivar ADR500 apresentou maior altura e maior eficiência de translocação, enquanto a BN2 apresentou maior teor de N da parte aérea e de raízes. A maior eficiência de utilização e translocação de N foram alcançadas com as doses estimadas de 109 e 133 kg ha⁻¹ de N para as cultivares ADR500 e BN2, respectivamente.

Palavras-chaves: Matéria seca. Adubação nitrogenada. Eficiência de utilização.

GROWTH AND NUTRITIONAL EFFICIENCY OF NITROGEN IN CULTIVARS OF FORAGE MILLET IN THE AMAZON

ABSTRACT - The millet is a forage with high yield potential, mainly due to its high tolerance to water deficit and adaptation to soils of low fertility. Even being adapted to soils of low fertility, it is responsive to nitrogen fertilization. The objective was to evaluate the growth and nutritional efficiency of millet forage cultivars, due to nitrogen (N). The experiment was carried out in a greenhouse, in a typical Yellow Oxisol Dystrophic. The experimental design was a completely randomized design, arranged in a 4 x 2 factorial scheme with six repetitions. The factors were the control treatment (without fertilization with N) and three doses of N (75, 150 and 225 kg ha⁻¹) in the form of urea and ammonium sulfate and two cultivars of pearl millet (BN2 and ADR500). The harvest was performed 80 days after the emergency. The higher production of dry matter of aerial part was obtained with the estimated dose of 179 kg ha⁻¹ of N. The cultivar ADR500 showed the highest height and greater efficiency of translocation, while the BN2 showed higher N content of the aerial part and roots. The greater efficiency of use and translocation of N were achieved with doses estimated for 109 and 133 kg ha⁻¹ of N for the cultivars ADR500 and BN2, respectively.

Keywords: Dry matter. Nitrogen fertilization. Use Efficiency.

*Autor para correspondência

¹Recebido para publicação em 03/07/2014; aceito em 24/04/2015.

Artigo extraído da Dissertação do primeiro autor.

²Doutorando em Ciência do Solo, Depto. de Solos e Adubos, UNESP, 14884-900, Jaboticabal (SP).

³Professor Dr. Associado, Instituto de Ciências Agrárias (ICA), UFRA, 66.077-901, Belém (PA).

⁴Doutor em Ciências Agrárias, Instituto de Ciências Agrárias (ICA), UFRA, 66.077-901, Belém (PA); jessivaldogalvão@ufra.edu.br.

INTRODUÇÃO

O milheto (*Pennisetum glaucum* L.) é uma forrageira originária da África e introduzida no Brasil na década de 70 (MARTINS NETTO, 1998). Apresenta boa adaptação a regiões com baixa fertilidade, déficit hídrico e altas temperaturas. Seu sistema radicular vigoroso e sua alta capacidade de absorção de nutrientes são as principais características que fazem com que esta espécie se sobressaia em relação às outras plantas de cobertura (MARCANTE et al., 2011). No entanto, na Amazônia Oriental, o gênero braquiária é um dos mais utilizados, porém devido à intensa exploração desta forrageira o milheto por apresentar boas características agrônomicas poderá vir a ser uma alternativa de cultivo.

A forrageira é de crescimento precoce e alta produção de biomassa, sendo uma alternativa para sistemas de manejo conservacionistas do solo como o plantio direto, utilizada na rotação e sucessão de culturas (TORRES et al., 2008). Apresenta elevada relação carbono /nitrogênio (TEIXEIRA et al., 2014), o que eleva a persistência ao solo, e condição necessária ao uso na região como planta de cobertura do solo, em função da temperatura e precipitação elevadas.

Em condições ótimas de umidade e fotoperíodo o milheto pode produzir até 70 t ha⁻¹ de matéria verde (BONAMIGO, 1999). Para o mesmo autor, em relação à produção de matéria seca, mesmo em condições de baixa umidade e fertilidade é uma forrageira que vem se mostrando mais produtiva do que outras culturas de cobertura. Segundo Salton et al. (1995), o milheto, nas condições citadas anteriormente, tem produzido cerca de 112 kg diário de matéria seca, o que equivale a um total de 6,8 t ha⁻¹. Assim, o fato de ser uma cultura pouco exigente em condições de clima e solo mostra o quanto esta cultura é promissora para o agronegócio brasileiro.

A deficiência de N é um fator que limita a produção das plantas, comprometendo a expressão do potencial produtivo do vegetal, e afeta o teor proteico. Assim, o manejo da adubação nitrogenada se constitui na principal estratégia a ser utilizada durante o desenvolvimento das plantas, uma vez que o N promove o rápido crescimento da planta com aumento da expansão foliar, refletindo em uma forragem de boa qualidade nutricional (JORNADA et al., 2008).

É importante conhecer as exigências nutricionais das plantas em N para racionalizar a adubação, o que resultará em aumento da eficiência e da produtividade da cultura, com diminuição do custo de produção (FAGERIA et al., 2007). Assim, é necessário que se estabeleçam doses adequadas de fertilizantes, de modo que se obtenha alta produtividade tanto qualitativa quanto quantitativamente, haja vista que a baixa eficiência nutricional pode estar relacionada não somente com o genótipo, mas com condições adversas de clima e solo. Portanto, para se aumentar a eficiência nutricional é necessário conhecer se tais

fatores influenciam na absorção e utilização do nutriente pela planta (MOTA; AMARO FILHO, 2001).

A identificação de cultivares, variedades ou híbridos com maior eficiência na utilização de nitrogênio é fundamental para diminuir o custo de produção das culturas (MAJEROWICZ et al., 2002) e reduzir problemas ambientais e de segurança alimentar (ROESCH et al., 2005).

Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o crescimento, o teor de nitrogênio contido na matéria seca e a eficiência nutricional de cultivares de milheto forrageiro em função de doses de nitrogênio.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no período de dezembro/2011 a março/2012 em casa de vegetação no Instituto de Ciências Agrárias da UFRA em Belém (PA). As unidades experimentais foram compostas de vasos com 5 kg de solo, coletado na camada arável de 0-20 cm de um Latossolo Amarelo Distrófico típico (EMBRAPA, 2013), em área de floresta remanescente da Embrapa Amazônia Oriental (01°41'10" S e 48°32'24" W). O clima predominante na área é o Afi (de acordo com a classificação de Köppen), com temperatura média anual de 26 °C, alta pluviosidade, sendo a média de 2.754,4 mm anuais, ocorrendo uma estação chuvosa de dezembro a maio e uma estação menos chuvosa de junho a novembro (NECHET, 1993).

Após a coleta, o solo foi seco ao ar, destorroado, homogeneizado e passado em peneira com malha de 2 mm de abertura, de aço inoxidável. Em seguida foram retiradas três amostras compostas, formadas a partir de seis amostras simples. Na caracterização química foram determinados: pH em água e KCl; Ca; Mg; Al; P e; K; em que Ca, Mg e Al foram extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ e P, K, Cu, Fe, Mn e Zn pelo Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,125 mol L⁻¹); acidez potencial (H+Al), de acordo com Embrapa (1997), e carbono orgânico (C_{org}), conforme Raij et al. (1987). A caracterização física foi realizada por meio da determinação da composição granulométrica do solo, segundo Gee e Bauder (1986), cujos resultados podem ser observados na Tabela 1.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com seis repetições, em esquema fatorial 4 x 2, cujos fatores foram constituídos do tratamento controle (sem adubação com N) e três doses de N (75, 150 e 225 kg ha⁻¹), correspondentes a 139, 556 e 973 mg/vaso de ureia e 626, 625 e 625 mg/vaso de sulfato de amônio, e duas cultivares de milheto (BN2 e ADR500). Em cada vaso plástico foi adicionado 5 kg de solo, como terra fina seca ao ar. As doses de N foram definidas considerando-se o teor de argila e de C_{org} e as doses de N utilizadas por Foloni et al. (2008), cujo solo tinha maior teor de argila e de matéria orgânica.

Tabela 1. Atributos químicos e granulométricos de um Latossolo Amarelo Distrófico típico (camada de 0 a 20 cm).

pH	C _{org}	P	K	Ca	Mg	Al	H + Al	T*	V**	Areia	Silte	Argila
H ₂ O	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³	----- cmol _c dm ⁻³ -----						%	----- g kg ⁻¹ -----		
4,1	15,6	6,7	0,05	0,1	0,2	2,1	9,2	9,5	3,7	750	120	130

C_{org} = Carbono orgânico; *CTC a pH 7,0; e **Saturação por bases.

A cultivar BN2 é oriunda da África, apresenta ciclo vegetativo tardio, altura variando de 1,40 a 2,20 m, panículas com 20 a 35 cm de comprimento, produção de sementes considerada boa, grande perfilhamento e tolerante a solos ácidos (PEREIRA FILHO et al., 2003). Para os mesmos autores a cultivar ADR500 foi lançada pela Sementes Adriana, apresentando crescimento rápido e boa adaptação a diversos tipos de solos e a condições de baixa pluviosidade.

A correção da acidez do solo foi realizada 30 dias antes do semeio do milheto, utilizando-se o equivalente a 4,8 t ha⁻¹ de calcário dolomítico, com 32% de CaO, 15% de MgO e PRNT de 91%, para elevar a saturação por bases a 50% (RAIJ et al., 1997), acondicionado 12,1 g/vaso, em sacos plásticos para a reação do corretivo.

Após o período de incubação, e antes da aplicação da adubação nitrogenada, foi efetuada uma adubação básica por meio da água de irrigação em todos os vasos, com macro e micronutrientes em um total de 350 mg de P, 500 mg de K, 5 mg de Zn, 1,5 mg de Cu, 0,5 mg de B e 0,1 mg de Mo por dm⁻³ de solo, na forma de superfosfato triplo, KCl, ZnCl₂, CuCl₂.2H₂O, H₃BO₃ e (NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O, respectivamente, conforme recomendação proposta por Pereira Filho et al. (2003) e Malavolta (1980).

O semeio foi realizado utilizando-se em média dez sementes por vaso e mantendo-se duas plantas após o desbaste, realizado dez dias após a emergência (DAE). Durante toda a condução do experimento a umidade foi mantida a 60% do volume total de poros, completando-se, quando necessário, com água destilada. A adubação nitrogenada foi parcelada em três aplicações, sendo a primeira realizada no semeio, a segunda aos 25 dias e a terceira aos 45 dias após o semeio.

Antes da colheita das plantas foram determinados o diâmetro do colmo (com utilização de paquímetro digital) e a altura de planta (medida com uma fita métrica do colo da planta à extremidade final da última folha). O milheto foi cortado aos 80 DAE quando as panículas se encontravam maduras, com grãos totalmente formados e enrijecidos. O solo dos vasos foi revolvido e o sistema radicular das plantas retirado e lavado cuidadosamente para a retirada de resi-

duos de solo. O material vegetal da parte aérea e das raízes do milheto foi lavado em água corrente e destilada, acondicionado em sacos de papel e em seguida seco em estufa com circulação forçada de ar a 65-70 °C por 72 h, até o peso constante. Em seguida, foi determinado a produtividade de matéria seca por meio do peso de folha, colmo e raiz e o teor de N na matéria seca do milheto. O teor de N nas folhas, colmo e raízes foi extraído por digestão sulfúrica e determinado pelo método Kjeldahl, conforme Malavolta et al. (1997).

Os índices utilizados para avaliar a eficiência nutricional foram baseados em metodologia proposta por Siddiqi e Glass (1981), como: a) eficiência de utilização do nutriente = (matéria seca total produzida)² / (teor total do nutriente na planta); b) eficiência de absorção = teor total do nutriente na planta / matéria seca de raízes; e c) eficiência de translocação = 100 x (teor do nutriente na parte aérea / teor total do nutriente na planta).

Os valores de máxima eficiência agrônômica (MEA) de cultivares de milheto foram determinados utilizando a derivada primeira das funções correspondentes a cada variável de crescimento, igualando-as a zero. Além disso, para a produção de matéria seca foi calculado a máxima eficiência econômica (MEE), sendo 90% da MEA (CRUZ et al., 2008).

Os resultados foram submetidos a análise de variância, quando significativo pelo teste F, as cultivares foram comparadas pelo teste Tukey ($p < 0,05$) e o efeito das doses de N analisado por regressão, ajustando-se às equações para expressar adequadamente o comportamento das variáveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As doses de nitrogênio (N) influenciaram ($p < 0,01$) todas as variáveis de crescimento (Tabela 2). As cultivares apresentaram diferenças significativas apenas para as variáveis altura de planta e eficiência de utilização do N. Para os teores de N na parte aérea (NPA), na matéria seca de raízes (NR) e para os índices de eficiência nutricional houve efeito significativo ($p < 0,01$) da interação doses de N e cultivares.

Tabela 2. Análise de variância para altura de planta, diâmetro do colmo, matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca total (MST), teor de N na parte aérea (NPA), teor de N nas raízes (NR), eficiência de utilização (EU), eficiência de absorção (EA) e eficiência de translocação (ET) do N em cultivares de milheto forrageiro em função das doses de N.

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio				
		Altura	Diâmetro	MSPA	MSR	MST
Doses de N (N)	3	2696,206**	1,375*	9,803**	3,982**	68,207**
Cultivares (C)	1	3955,975**	0,651 ^{NS}	2,142 ^{NS}	0,980 ^{NS}	15,392 ^{NS}
N x C	3	74,251 ^{NS}	0,001 ^{NS}	0,788 ^{NS}	0,267 ^{NS}	5,180 ^{NS}
CV (%)	-	5,27	8,63	11,96	13,15	11,79
Fonte de Variação	G.L.	NPA	NR	EU	EA	ET
Doses de N (N)	3	615,386**	25,153**	6,613**	19,379**	55,832**
Cultivares (C)	1	0,158 ^{NS}	0,001 ^{NS}	4,018**	0,592 ^{NS}	3,227 ^{NS}
N x C	3	10,400**	6,973**	6,935**	2,603**	25,882**
CV (%)	-	3,62	10,80	4,89	8,64	2,91

CV = coeficiente de variação; ^{NS} = não significativo; * = significativo ($p < 0,05$); ** = significativo ($p < 0,01$) pelo teste de Tukey.

O crescimento do milheto em altura de planta e diâmetro do colmo apresentou comportamento polinomial em função das doses de adubação nitrogenada (Figura 1). A altura máxima estimada foi de 154 cm, cuja dose estimada foi de 151 kg ha⁻¹ de N (Figura 1a). Já para diâmetro do colmo a dose estimada foi de 155 kg ha⁻¹ e o diâmetro máximo estimado de 8,3 mm (Figura 1b). O N tem papel fundamental no crescimento vegetativo, exercendo influência direta no processo fotossintético, promovendo acréscimo em altura de planta e no diâmetro do colmo (FORNASIERI FILHO, 2007), quando suprido em quantidades adequadas.

A partir da dose de 150 kg ha⁻¹ de N observou-se que as cultivares não responderam mais a aplicação de N, indicando não serem necessárias maiores aplicações devido já haver ocorrido respostas positivas em doses menores. Dessa forma, a seleção de cultivares que possuem a capacidade de absorver e utilizar nitrogênio de modo eficiente é uma estratégia que pode ser utilizada para melhor aproveitamento do N. Na cultura do milho foi observado incremento na produção, redução de custos com insumos e com menor risco ao ambiente (CARVALHO et al., 2011).

O crescimento em altura de capim-xaraés

(*Brachiaria brizantha*) submetido à adubação nitrogenada apresentou comportamento linear, com as doses de 108 a 700 kg ha⁻¹ de N (CUNHA et al., 2010). Já Duete et al. (2008) trabalhando com milho verificaram que houve aumento de altura da planta com o incremento da adubação nitrogenada até a dose de 135 kg ha⁻¹. Com relação ao diâmetro, Calixto Júnior et al. (2007) estudando o crescimento de grama-estrela (*Cynodon nlemfuensis*) observaram maior diâmetro do colmo (1,98 mm) com a dose de 100 kg ha⁻¹ de N.

A cultivar ADR500 apresentou maior altura de planta (149,2 cm) comparada com a BN2 (132,9 cm) (Figura 2). O desempenho em resposta ao N é inerente de cada cultivar, sendo, portanto, atributos dependentes da constituição genética (VON; MENDONÇA NETO, 2007). Como a altura é uma variável que tem relação direta com a produção de biomassa a cultivar ADR500 apresenta maior potencial que a BN2, o que pode ser resultante do melhoramento genético (BOER et al., 2008). Trabalhando com as mesmas cultivares, Pereira Filho et al. (2003) verificaram que a cultivar ADR500 apresentou altura média de planta entre 192 e 265 cm e a BN2 entre 140 a 220 cm no final do ciclo produtivo.

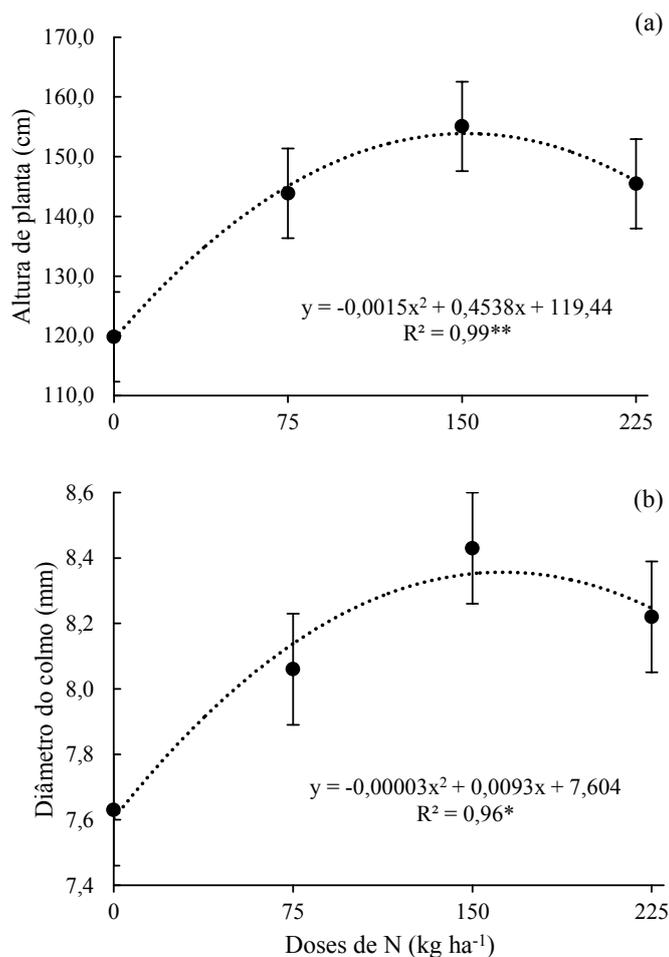


Figura 1. Altura de planta (a) e diâmetro do colmo (b) de milho forrageiro em função das doses de N. Barras verticais em cada ponto representam os erros-padrão das médias. * e ** = $p < 0,05$ e $p < 0,01$ significativos, respectivamente, pelo teste t.

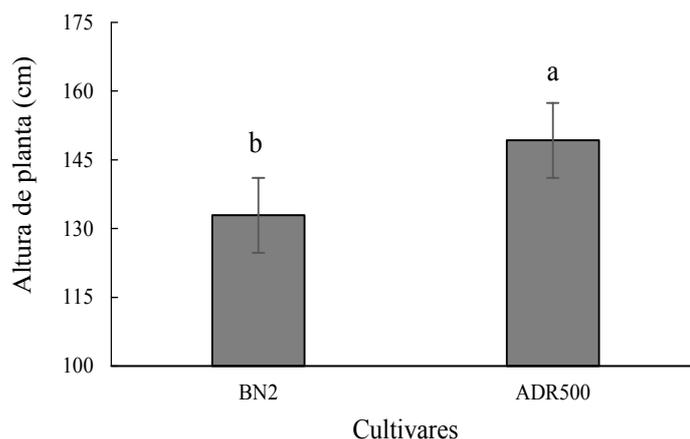


Figura 2. Altura de cultivares de milho forrageiro. Barras verticais representam os erros-padrão das médias. Letras distintas indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,01$).

Independente da cultivar a matéria seca da parte aérea (MSPA) e a matéria seca de raízes (MSR) aumentaram ($p < 0,01$) com as doses de N até um ponto máximo (Figura 3). A maior produção de MSPA estimada foi de 8,1 g/planta, alcançada com a dose equivalente a 179 kg ha⁻¹ de N, sendo que a

produção correspondente a 90% da máxima foi de 7,3 g/planta (Figura 3a). Para a MSR a maior produção foi de 5,3 g/planta alcançada com a dose estimada de 148 kg ha⁻¹ de N, sendo sua produção correspondente a 90% da máxima igual a 4,8 g/planta (Figura 3b).

Em estudo com aveia preta (*Avena strigosa*) e milho foi verificado que a adubação nitrogenada proporcionou aumentos na matéria seca da parte

aérea de 1,7 e 2,8 vezes, respectivamente, considerando a maior dose de N (FOLONI et al., 2008).

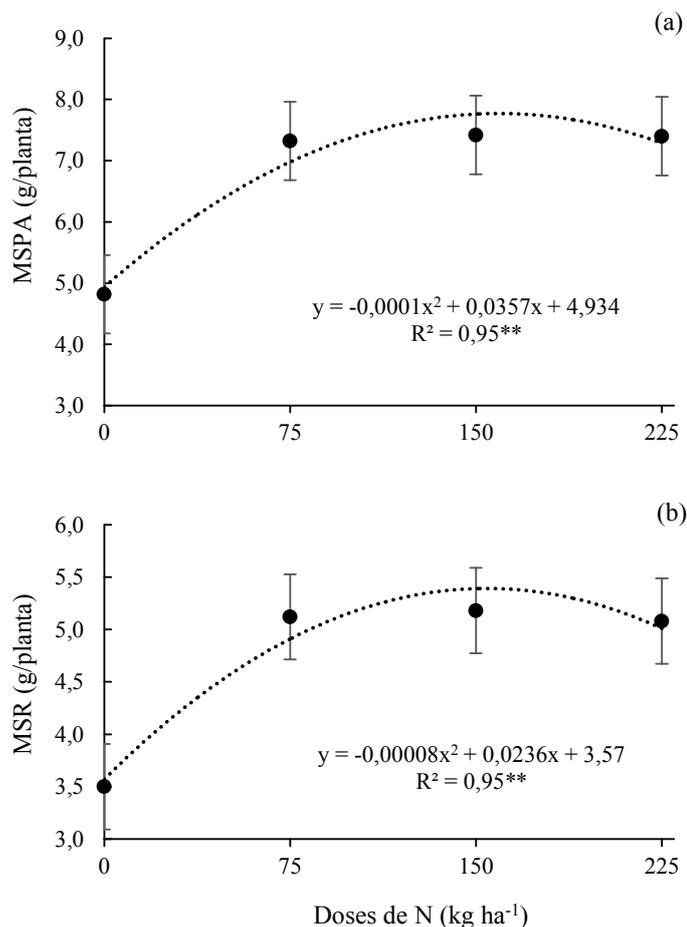


Figura 3. Matéria seca da parte aérea (MSPA) (a) e matéria seca de raízes (MSR) (b) de milho forrageiro em função das doses de N. Barras verticais em cada ponto representam os erros-padrão das médias. ******Significativo ($p < 0,01$) pelo teste t.

Com relação a produção de matéria seca de raízes, são encontrados poucos trabalhos com milho relacionados a doses de N. No entanto, para outras forrageiras, verifica-se influência do N na produção de matéria seca de raízes, conforme observado por Rodrigues et al. (2007) em capim-xaraés (*Brachiaria brizantha*), cuja máxima produção de matéria seca de raízes foi alcançada com a dose de 159 mg dm⁻³ de N.

Observou-se a ocorrência de efeito quadrático em relação a aplicação das doses de N para a produção de MST. O maior valor estimado foi de 20,9 g/planta, obtido com a dose estimada de 158 kg ha⁻¹ de N, com produção de 18,8 g/planta, correspondente a 90% da máxima (Figura 4). Esse fato justificaria a aplicação das doses de N até 200 kg ha⁻¹, haja vista a redução da produção de MST quando se aplicou a dose de 225 kg ha⁻¹ de N.

Costa et al. (2009), trabalhando com aplicação de nitrogênio em cultivares de *Brachiaria brizantha* (Marandu, Xaraés e MG-4), encontraram efeito linear das doses de nitrogênio sobre a produção de matéria seca da forrageira. Santos et al. (2009), ao estudarem pastos diferidos de capim-braquiária adubados com nitrogênio, observaram que a matéria seca total e dos seus componentes morfológicos aumentaram de forma linear com o aumento das doses de nitrogênio.

O aumento das doses de N elevou o teor de N da matéria seca, com ajuste linear (Figura 5). Para o teor de N da parte aérea (NPA) a dose máxima proporcionou teores de 37,8 g kg⁻¹ de N para a cultivar ADR500 e de 39,8 g kg⁻¹ de N para a cultivar BN2 (Figura 5a). O mesmo ocorreu para o teor de N nas raízes (NR), em que os teores máximos de N foram de 13,6 e 10,6 g kg⁻¹ de N para as cultivares BN2 e

ADR500, respectivamente (Figura 5b). A cultivar BN2 apresentou maior teor de N, na maior dose, sugerindo que absorveu mais ou gastou menos N para produzir a mesma quantidade de matéria seca.

Por outro lado, na cultivar ADR500, observou-se maior teor na ausência da adubação nitrogenada, sugerindo que é mais eficiente na aquisição do N.

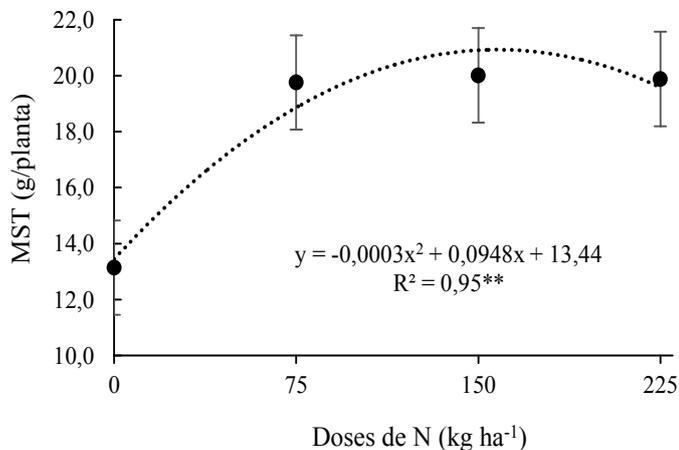


Figura 4. Matéria seca total (MST) de milho forrageiro em função das doses de N. Barras verticais em cada ponto representam os erros-padrão das médias. **Significativo ($p < 0,01$) pelo teste t.

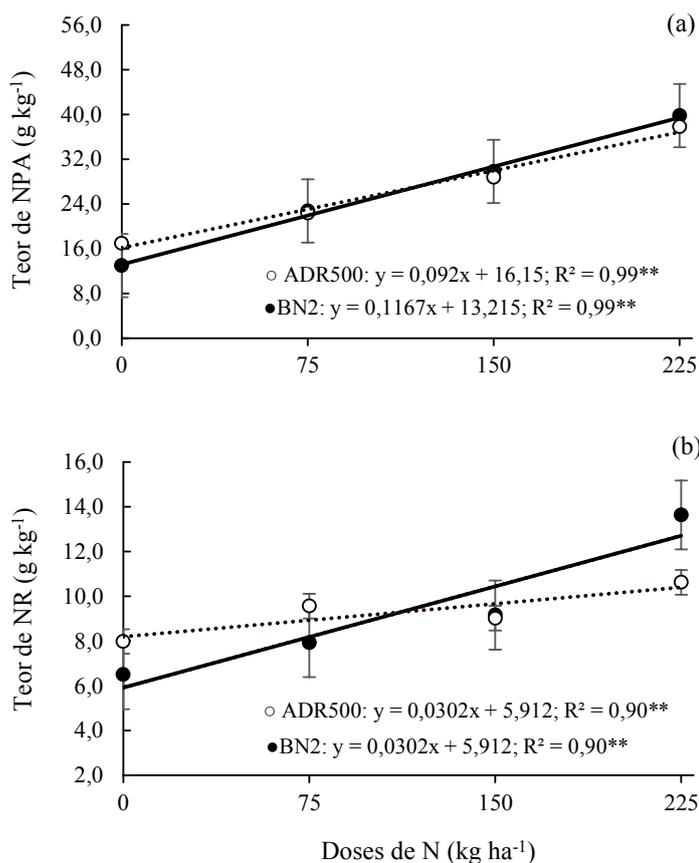


Figura 5. Teor de N na matéria seca da parte aérea (NPA) (a) e na matéria seca de raízes (NR) (b) de cultivares milho forrageiro em função das doses de N. Barras verticais em cada ponto representam os erros-padrão das médias. **significativo ($p < 0,01$) pelo teste t.

Os teores médios de N obtidos para parte aérea a partir da dose de 75 kg ha⁻¹ de N, independente da cultivar, estão acima da faixa considerada adequada para a cultura, conforme Malavolta et al. (1997), variando entre 11,3 e 18,0 g kg⁻¹. O aumento nas doses N e o cultivo em ambiente controlado são fatores que promovem maior absorção devido a alta solubilidade do N no solo com menor perda e, consequentemente, maior disponibilidade. Isto levou ao aumento na produção de matéria seca, que segundo Fontoura e Bayer (2009), estudando a cultura do

milho, a quantidade absorvida de N aumenta com a elevação da produção. O fato do aumento no teor não ter sido proporcional ao aumento na produção de matéria seca em todas as doses pode estar relacionado a fisiologia da planta, uma vez que a medida que o rendimento aumenta a capacidade da planta em converter N em biomassa diminui (FERNANDES, 1998). Por outro lado, quando o teor de N na planta for acima do nível adequado e não há mais resposta da planta em produção indica que ocorreu consumo de luxo (MALAVOLTA et al., 1997).

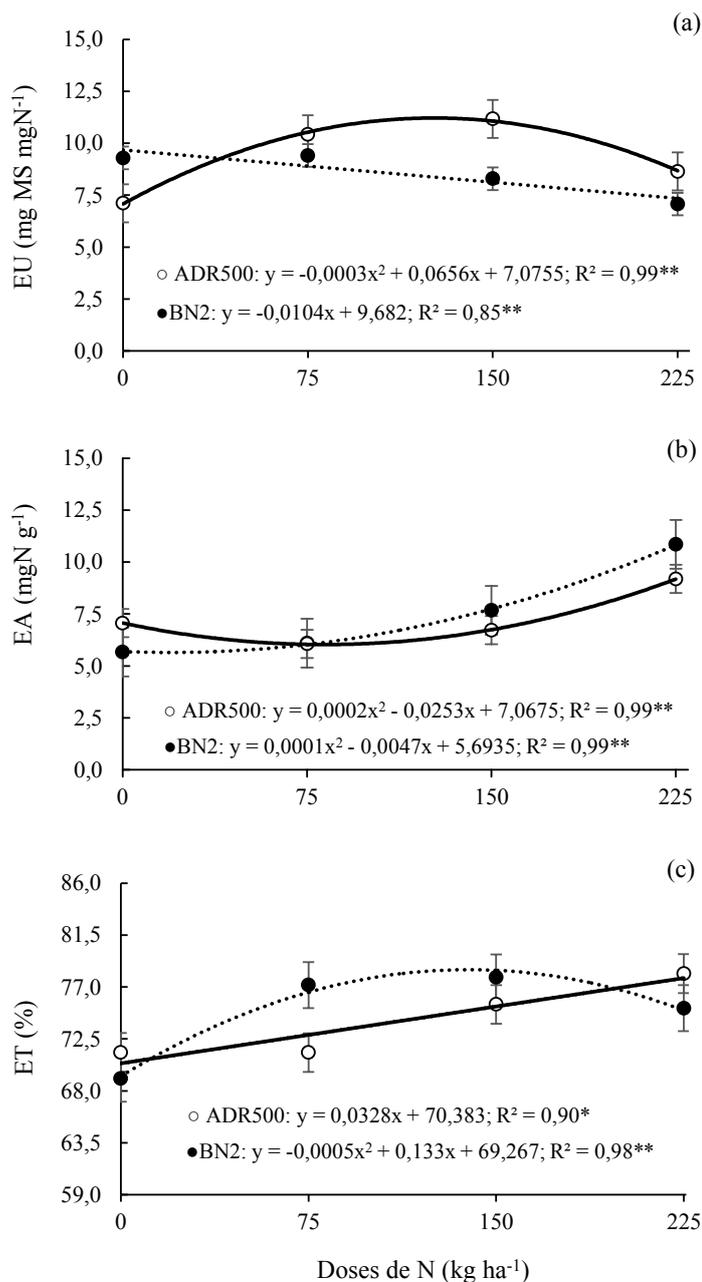


Figura 6. Eficiência de utilização (EU) (a), eficiência de absorção (EA) (b) e eficiência de translocação (ET) do N em cultivares de milheto forrageiro em função das doses de N. Barras verticais em cada ponto representam os erros-padrão das médias. * e ** = $p < 0,05$ e $p < 0,01$ significativos, respectivamente, pelo teste t.

A eficiência de utilização (EU), absorção (EA) e translocação (ET) do N foram distintas entre as duas cultivares (Figura 6). Para a cultivar ADR500 a máxima EU do N foi obtida com a dose estimada de 109 kg ha⁻¹ de N, sendo a maior eficiência de produção atingida com 10,7 mg de MS por mg N (Figura 6a). Já para a cultivar BN2, a EU do N apresentou comportamento linear decrescente com o aumento das doses de N. A eficiência de utilização de N em cultivares de milho, submetidas a adubação nitrogenada, diminuiu com o aumento das doses em razão do suprimento de N exceder as necessidades da cultura (FERNANDES et al., 2005).

Para a cultivar BN2, a eficiência de absorção (EA) aumentou com o fornecimento de N, iniciando com 5,7 mg g⁻¹ de N no tratamento controle e atingindo eficiência máxima de 10,9 mg g⁻¹ de N na dose de 225 kg ha⁻¹ (Figura 6b). A cultivar ADR500 apresentou uma eficiência de 7,0 mg g⁻¹ de N no tratamento controle, aumentando para 9,2 mg g⁻¹ de N com a dose máxima de 225 kg ha⁻¹. Essa diferença de comportamento das cultivares pode ser explicada em função do crescimento radicular do milheto, que foi linear para a ADR500 e quadrático para a BN2, uma vez que a EA é calculada pelo quociente entre o teor de N na planta e a matéria seca de raízes.

Para o índice de eficiência de translocação (ET) fora verificado que a cultivar BN2 apresentou maior porcentagem (78,1%), obtida com a dose máxima estimada de 133 kg ha⁻¹ de N. A cultivar ADR500 apresentou comportamento linear, tendo sua ET incrementada com o aumento das doses de N (Figura 6c).

A resposta à eficiência de utilização do N pelas forrageiras é variável. Heringer e Moojen (2002), trabalhando com milheto sob adubação nitrogenada (0, 150, 300, 450, 600 kg ha⁻¹), obtiveram resposta linear negativa para a eficiência de utilização do N. Os autores observaram que houve uma progressiva redução na produção de matéria seca para cada 1 kg de nitrogênio, com valores de 45 e 14 para as doses de nitrogênio de 150 e 600 kg ha⁻¹, respectivamente.

Segundo Prado (2008), a eficiência de translocação indica a capacidade da planta de transportar os nutrientes da raiz para a parte aérea. Assim, as plantas que obtêm melhor eficiência de absorção em solo com baixo teor do nutriente são ditas eficientes, ou seja, produzem mais em condições adversas.

CONCLUSÕES

As cultivares de milheto apresentaram comportamento semelhante em relação a adubação nitrogenada, quando cultivadas em Latossolo Amarelo de baixo teor de matéria orgânica e baixa capacidade de troca de cátions, sendo que a maior produção de matéria seca da parte aérea foi obtida com a dose estimada de 179 kg ha⁻¹ de N.

A cultivar ADR500 apresentou maior altura de planta e maior eficiência de translocação, enquanto que a BN2 apresentou maior teor de N da parte aérea e de raízes, sendo que o teor de N na matéria seca de milheto aumentou com o incremento da adubação nitrogenada.

A maior eficiência de utilização e translocação de N foram alcançadas com as doses estimadas de 109 e 133 kg ha⁻¹ de N para as cultivares ADR500 e BN2, respectivamente.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico/CNPq (441187/2010-3) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Procad 1551/2007) pelo apoio financeiro e à Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) pelo apoio logístico.

REFERÊNCIAS

- BOER, C. A. et al. Biomassa, decomposição e cobertura do solo ocasionada por resíduos culturais de três espécies vegetais na região Centro-Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 843-851, 2008.
- BONAMIGO, L. A. A cultura do milheto no Brasil, implantação e desenvolvimento no cerrado. In: WORKSHOP INTERNACIONAL DE MILHETO. 1999. Planaltina. **Anais...** Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999. p. 31-65.
- CALIXTO JÚNIOR, M.; JOBIM, C. C.; CANTO, M. W. Taxa de desidratação e composição químico-bromatológica do feno de grama-estrela (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst) em função de doses de adubação nitrogenada. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 28, n. 3, p. 493-502, 2007.
- CARVALHO, R. P.; VON PINHO, R. G.; DAVIDE, L. M. C. Desempenho de cultivares de milho quanto à eficiência de utilização de nitrogênio. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 10, n. 2, p.108-120, 2011.
- COSTA, K. A. P. et al. Produção de massa seca e nutrição nitrogenada de cultivares de *Brachiaria brizantha* (A. Rich) Stapf sob doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 6, p. 1578-1585, 2009.
- CRUZ, S. C. S. et al. Adubação nitrogenada para o milho cultivado em sistema plantio direto, no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia**

- Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 1, p. 62-68, 2008.
- CUNHA, F. F. et al. Cobertura do solo e altura do capim-xaraés em diferentes estações anuais, intervalos de desfolha e manejos de adubação. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 11, n. 2, p. 317-330, 2010.
- DUETE, R. R. C. et al. Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (^{15}N) pelo milho em Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n.1, p. 161-171, 2008.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212 p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Revista e ampliada, Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.
- FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B.; CUTRIM, V. A. Produtividade de arroz irrigado e eficiência de uso do nitrogênio influenciadas pela fertilização nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 7, p. 1029-1034, 2007.
- FERNANDES, F. C. S. et al. Doses, eficiência e uso do nitrogênio por seis cultivares de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 4, n. 2, p. 195-204, 2005.
- FERNANDES, S. B. V. **Disponibilidade e eficiência de uso do nitrogênio pelo milho em sistemas de cultura**. 1998. 137 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.
- FOLONI, J. S. S. et al. Adubação nitrogenada e qualidade dos restos vegetais de milho e aveia preta. **Agrarian**, Dourados, v. 1, n. 2, p. 45-57, 2008.
- FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C. Adubação nitrogenada para alto rendimento de milho em plantio direto na região centro-sul do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1721-1732. 2009.
- FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 2007. 576 p.
- GEE, G. W.; BAUDER, J. W. **Particle-size analysis**. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis*. Part 1. Physical and mineralogical methods. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. p. 383-411. (Agronomy Series, 9).
- HERINGER, I.; MOOJEN, E. L. Potencial produtivo, alterações da estrutura e qualidade da pastagem de milho submetida a diferentes níveis de nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 875-882, 2002. Suplemento.
- JORNADA, J. B. J. et al. Efeito da irrigação, épocas de corte da forragem e doses de nitrogênio sobre a qualidade de sementes de milho (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke). **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 30, n. 3, p. 10-15, 2008.
- MAJEROWICZ, N. et al. Estudo da eficiência de uso do nitrogênio em variedades locais e melhoradas de milho. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 129-136, 2002.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, Agronômica Ceres, 1980. 215 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. POTAFOS, Piracicaba, 1997, 319 p.
- MARCANTE, N. C.; CAMACHO, M. A.; PAREDES, F. P. J. Teores de nutrientes no milho como cobertura de solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 2, p. 196-204, 2011.
- MARTINS NETTO, D. A. **A cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS, 1998. 6 p. (Comunicado Técnico, 11).
- MOTA, J. C. A.; AMARO FILHO, J. Índices de eficiência nutricional para nitrogênio em Meloeiro (*Cucumis melo* L.). **Agropecuária Técnica**, Areia, v. 22, n. 1/2, p. 53-57, 2001.
- NECHET, D. Análise da Precipitação em Belém de 1896 a 1991. **Boletim de Geografia Teórica**, Rio Claro, v. 23, n. 45-46, p. 150-156, 1993.
- PEREIRA FILHO, I. A. et al. **Manejo da cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica 29, 2003. 17 p.
- PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Ed. UNESP, 2008. 378 p.
- RAIJ, B. V. et al. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargil, 1987. 107 p.
- RAIJ, B. van. et al. **Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 1997. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

RODRIGUES, R. C. et al. Reservas orgânicas, relação parte aérea-raiz e C-N e eliminação do meristema apical no capim-xaraés sob doses de nitrogênio e potássio. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 8, n. 3, p. 505-514, 2007.

ROESCH, L. F. et al. Identificação de cultivares de milho eficientes na absorção de nitrogênio e na associação com bactérias diazotróficas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 4, p. 924-927, 2005.

SALTON, J. C.; PITOL, C.; ERBES, E. J. Cultivos de primavera: alternativas para produção de palha em Mato Grosso do Sul. **Jornal do Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 27, p. 6-7, 1995.

SANTOS, M. E. R. et al. Capim-braquiária diferido e adubado com nitrogênio: produção e características da forragem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, n. 4, p. 650-656, 2009.

SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: A modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal Plant Nutrition**, v. 4, n. 3, p. 289-302, 1981.

TEIXEIRA, R. A. et al. Grasses and legumes as cover crop in no-tillage system in northeastern Pará Brazil. **Acta Amazônica**, v. 44, n. 4, p. 411 – 418, 2014.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; FABIAN, A. J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 3, p. 421-428, 2008.

VON, E. V. R. P.; MENDONÇA NETO, R. P. Uso de marcadores moleculares para a identificação de cultivares. **Seed News**, Pelotas, v. 11, n. 4, p. 14-15, 2007.