

Fitomassa e relação C/N em consórcios de sorgo e milho com espécies de cobertura

Paulo Claudeir Gomes da Silva⁽¹⁾, José Salvador Simoneti Foloni⁽²⁾,
Luciana Boulhosa Fabris⁽³⁾ e Carlos Sergio Tiritan⁽¹⁾

⁽¹⁾Universidade do Oeste Paulista, Rodovia Raposo Tavares, Km 572, CEP 19067-175 Presidente Prudente, SP. E-mail: pcgomes@unoeste.br, tiritan@unoeste.br ⁽²⁾Instituto Agrônômico do Paraná, Rodovia Celso Garcia Cid, Km 375, Caixa Postal 481, CEP 86001-970 Londrina, PR. E-mail: sfoloni@iapar.br ⁽³⁾Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, Escola Técnica Professor Dr. Antônio Eufrásio de Toledo, Rodovia Raposo Tavares, Km 561, Bairro Pontilhão, Caixa Postal 3099, CEP 19055-020 Presidente Prudente, SP. E-mail: lufabris@uol.com.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi quantificar a produtividade de fitomassa, o teor e acúmulo de nitrogênio (N), e a relação carbono/nitrogênio (C/N) de monocultivos de sorgo (*Sorghum bicolor*) e milho (*Zea mays*) e de seus consórcios com guandu-anão (*Cajanus cajan*), crotalária (*Crotalaria juncea*), tremoço branco (*Lupinus albus*), girassol (*Helianthus annuus*) e nabo-forrageiro (*Raphanus sativus*), manejados em diferentes estádios. O experimento foi conduzido de março a julho de 2008, em Argissolo Vermelho distroférrico de textura média, no sistema plantio direto. O delineamento experimental foi o de blocos completos ao acaso, com quatro repetições, e parcelas subdivididas, constituído pelos tratamentos: monocultivos de sorgo e milho e seus respectivos consórcios com guandu-anão, crotalária, girassol, nabo-forrageiro e tremoço branco, nas parcelas; e épocas de corte, aos 60, 90 e 120 dias após a semeadura nas subparcelas. Consórcios de sorgo e milho com outras espécies superaram expressivamente a produtividade de fitomassa de seus monocultivos que ainda acumularam menos N e apresentaram maiores relações C/N na fitomassa. Para aumentar a produtividade de fitomassa, a melhor época de corte é aos 120 dias após a semeadura das culturas de cobertura. O corte aos 90 dias após a semeadura propicia o maior acúmulo de N e as menores relações C/N.

Termos para indexação: acúmulo de nitrogênio, cobertura do solo, espécies de cobertura, sistema plantio direto.

Biomass and C/N ratio in intercrops of sorghum and maize with cover crops

Abstract – The objective of this work was to quantify the biomass production, the content and accumulation of nitrogen (N) and the carbon/nitrogen (C/N) relation in monocultures of sorghum (*Sorghum bicolor*) and corn (*Zea mays*), and intercrops with pigeon pea (*Cajanus cajan*), sun hemp (*Crotalaria juncea*), white lupine (*Lupinus albus*), sunflower (*Helianthus annuus*) and turnip forage (*Raphanus sativus*), managed in different stages. The experiment was carried out from March to July 2008, in a Haplic Acrisol, medium texture, under no-tillage. A randomized complete block design, with four replicates and split plots with the following treatments: monocultures of sorghum and maize and their intercrops with pigeon pea, sun hemp, sunflower, turnip forage, white lupine, in the plots; and cut management times, at 60, 90 and 120 days after sowing, in the subplots. Intercrops of sorghum and maize with other species significantly outweighed the biomass productivity of their monocultures, which accumulated less N and had higher C/N ratio of biomass. The best cut management time is at 120 days after sowing of the cover crops, for dry biomass yield. Cutting at 90 days after sowing promoted the greater N accumulation and the lower C/N ratios.

Index terms: nitrogen accumulation, soil mulch, cover crop, no-tillage.

Introdução

O sorgo e o milho são amplamente usados no Brasil Central como culturas de safrinha, principalmente para a produção de grãos em sucessão ao cultivo da soja. Porém, consórcios entre essas gramíneas e outras espécies precisam ser aprimorados, para desenvolver os sistemas de produção de lavouras anuais, no contexto da semeadura direta na palha e da integração lavoura-pecuária (Molina, 2000).

Entre as características desejáveis para a seleção de espécies de cobertura, destacam-se a produção de fitomassa e a capacidade de acumular N, pela fixação biológica ou pela absorção do nutriente no solo. Esses atributos, juntamente com a relação C/N da palhada, permitem estimar o potencial das plantas de cobertura em incrementar a oferta de N para as culturas sucessoras (Oliveira et al., 2002; Boer et al., 2007).

Com ênfase na dinâmica do N e manutenção da palhada no sistema plantio direto (SPD), Giacomini

et al. (2004) argumentam que existe alternativa para melhorar o desempenho das culturas de cobertura, por meio da consorciação de duas ou mais espécies. O intuito, nesse caso, seria produzir fitomassa com relação C/N intermediária, em comparação aos monocultivos, para proporcionar, ao mesmo tempo, maior persistência dos restos vegetais na proteção do solo e taxas mais elevadas de disponibilização de N para as lavouras comerciais.

Nas culturas consorciadas de gramíneas e leguminosas, por exemplo, geralmente as gramíneas contribuem com quantidades relativamente elevadas de fitomassa, caracterizada pela alta relação C/N, o que pode aumentar a persistência da cobertura do solo, porém, com frequentes problemas em decorrência da forte imobilização de N (Andreola et al., 2000; Perin et al., 2004). Por outro lado, as leguminosas comumente apresentam altos teores de N na matéria vegetal e produzem, em geral, palhadas de baixa relação C/N, cuja decomposição é relativamente rápida, com expressiva disponibilização de N para as lavouras subsequentes (Alvarenga et al., 2001). De acordo com Cantarella (2007), a rapidez na disponibilização do N proveniente dos restos vegetais de cultivos de cobertura, depende de vários fatores, dos quais os mais importantes são a quantidade de N acumulada na matéria seca e a relação C/N da palhada.

Cazetta et al. (2005) compararam cultivos isolados e consorciados de milho e *Crotalaria juncea*, e constataram que o cultivo consorciado produziu mais fitomassa e maior acúmulo de N na palhada do que o monocultivo de crotalária, e que a persistência da cobertura do solo da crotalária + milho foi equivalente à do milho isolado. Em outro experimento, Perin et al. (2004) observaram que o consórcio milho + *Crotalaria juncea* apresentou produtividade de fitomassa equivalente à do monocultivo de milho; além disso, na lavoura consorciada, o acúmulo de N na palhada foi de 218 kg ha⁻¹, enquanto na gramínea isolada foram obtidos somente 97 kg ha⁻¹ de N.

Teixeira et al. (2008) verificaram que o monocultivo de guandu-anão produziu apenas 680 kg ha⁻¹ de massa de matéria seca, no ambiente de safrinha, enquanto no consórcio milho + guandu-anão foram obtidos 2.505 kg ha⁻¹ de fitomassa, sob as mesmas condições edafoclimáticas e de manejo. Silva et al. (2009) observaram produtividades semelhantes entre o monocultivo e o cultivo consorciado de

milho e crotalária, com produtividade em torno de 20 Mg ha⁻¹ de massa de matéria seca, em solo com elevada fertilidade para cultivo do tomateiro. Giacomini et al. (2003) observaram que o consórcio de aveia-preta + ervilhaca apresentou produtividade de fitomassa equivalente à do cultivo isolado de aveia-preta e superior à da ervilhaca; o acúmulo de N, na palhada da lavoura consorciada, foi superior ao do monocultivo da gramínea e equivalente ao da leguminosa. Os autores também constataram que a relação C/N do consórcio aveia-preta + ervilhaca foi inferior à do cultivo isolado da gramínea e superior à da leguminosa.

O objetivo deste trabalho foi quantificar a produtividade de fitomassa, o acúmulo de N e a relação C/N de monocultivos de sorgo e milho e de seus consórcios com guandu-anão, *Crotalaria juncea*, tremoço branco, girassol e nabo forrageiro, manejados aos 60, 90 e 120 dias após a semeadura.

Material e Métodos

O trabalho foi realizado na fazenda experimental da Universidade do Oeste Paulista (Unoeste), em Presidente Prudente, SP, a 22°07'22"S, 51°27'02"W e 409 m de altitude, de março a julho de 2008, em solo classificado como Argissolo Vermelho distroférico (Sistema brasileiro de classificação de solos, 1999), de relevo suave ondulado, com horizontes bem desenvolvidos e boa drenagem. Na Figura 1, estão apresentados os dados diários de temperaturas máximas e mínimas e de precipitação pluvial, coletados em estação meteorológica, a aproximadamente 1 km da área experimental.

Em janeiro de 2008, fez-se a amostragem do solo, na camada de 0–20 cm de profundidade, para análise química (Raij et al., 2001) e granulométrica (Claessen, 1997), com os seguintes resultados: pH (CaCl₂) de 6,2; 22 g dm⁻³ de MO; 18 mg dm⁻³ de P_{resina}; 24 mmol_c dm⁻³ de H+Al; 1,8 mmol_c dm⁻³ de K; 42 mmol_c dm⁻³ de Ca; 17 mmol_c dm⁻³ de Mg; 61 mmol_c dm⁻³ de SB; 85 mmol_c dm⁻³ de CTC; saturação por bases de 72%; teor de areia de 690 g kg⁻¹; 90 g kg⁻¹ de silte; 220 g kg⁻¹ de argila.

Em 5/3/2008, o experimento foi instalado sobre a palhada de labe-labe (*Dolichos lablab* cv. Rongai), submetido à dessecação química prévia com 2,4 kg ha⁻¹ do equivalente ácido de glifosato.

A produtividade de massa de matéria seca amostrada em quatro pontos ao acaso, por ocasião do manejo do labe-labe, foi de $6.318 \pm 828 \text{ kg ha}^{-1}$. Utilizou-se uma semeadora-adubadora tratorizada, desenvolvida para o sistema plantio direto (SPD), para demarcar as linhas de semeadura, que foram espaçadas em 0,40 m, e para adubação com 200 kg ha^{-1} do formulado NPK 08-28-16, nos sulcos. A adubação de semeadura foi baseada na recomendação de Cantarella et al. (1997) para a cultura do sorgo, tendo-se considerado o nível de produtividade esperada de 30 a 40 Mg ha^{-1} de matéria verde.

As sementes utilizadas no experimento foram tratadas previamente com fungicidas, com 60 g do ingrediente ativo Carboxin para 100 kg de sementes, e com 60 g do ingrediente ativo Thiram para 100 kg de sementes. Após a demarcação das linhas e adubação, fez-se a semeadura manual das espécies e, aos 12 dias após a semeadura (DAS), realizaram-se os desbastes. Aos 20 DAS, foi efetuada a pulverização com inseticida, com 5 g ha^{-1} do ingrediente ativo Deltametrina, para controle de lagartas desfolhadoras, com consumo de calda de 240 L ha^{-1} . Aos 12 e 35 DAS, foram realizadas capinas manuais nas entrelinhas das

unidades experimentais. Aos 60 DAS, foram realizadas contagens em oito pontos ao acaso, de 2 m contíguos de linha de semeadura, para determinar as densidades populacionais das espécies em estudo, com os seguintes resultados: $2,81 \pm 0,41$ caules por metro, em linha de semeadura de milho (*Zea mays* cv. AG 1051); $8,54 \pm 2,32$ caules por metro, em sorgo (*Sorghum bicolor* cv. BRS 800); $2,57 \pm 0,27$ caules por metro, em girassol (*Helianthus annuus* cv. Catissol 01); $11,24 \pm 2,87$ caules por metro, em crotalária (*Crotalaria juncea* cv. IAC KR 1); $14,86 \pm 3,13$ caules por metro, em guandu-anão (*Cajanus cajan* cv. IAPAR 43); $9,91 \pm 2,01$ caules por metro, em tremoço branco (*Lupinus albus* cv. comum); e $19,32 \pm 5,01$ caules por metro, em nabo forrageiro (*Raphanus sativus* cv. CATIAL 1000).

Foi utilizado o delineamento experimental de blocos completos ao acaso, com quatro repetições e parcelas subdivididas, com os seguintes tratamentos nas parcelas: monocultivos de sorgo e milho e consórcios de sorgo e guandu-anão, sorgo e crotalária, sorgo e girassol, sorgo e nabo forrageiro, sorgo e tremoço branco, milho e guandu-anão, milho e crotalária, milho e girassol, milho e nabo forrageiro e milho e tremoço branco; e, nas subparcelas, as épocas de corte

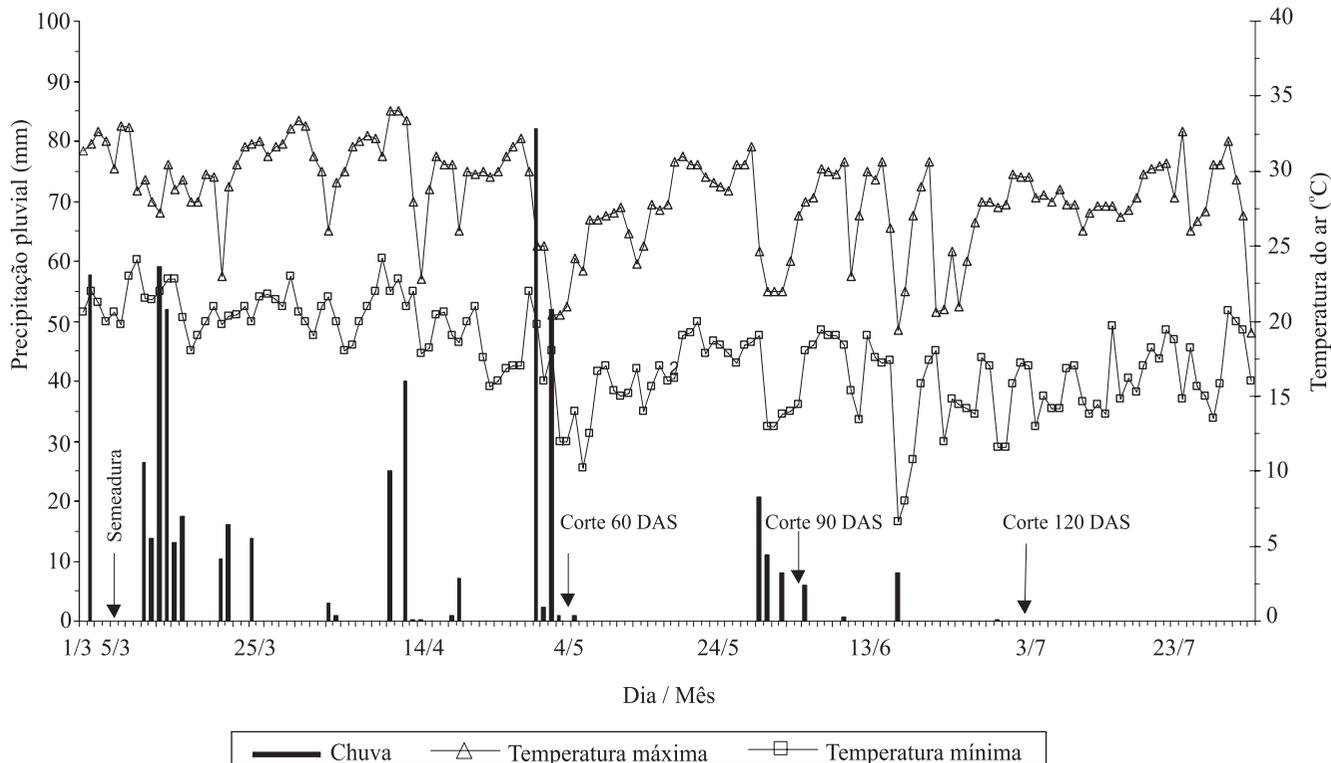


Figura 1. Precipitação pluviométrica e temperaturas máximas e mínimas diárias ocorridas durante os meses de março a julho de 2007 na área experimental, em Presidente Prudente, SP.

aos 60, 90 e 120 DAS. As unidades experimentais constituíram-se de oito linhas de semeadura com 6 m de comprimento; foram avaliadas as quatro linhas centrais, tendo-se considerado bordaduras de 1 m de lavoura nas extremidades. Nos monocultivos, as espécies foram semeadas nas oito linhas seguidas e, nos consórcios, fizeram-se as semeaduras de maneira intercalada (linhas alternadas para cada espécie).

Para quantificar a produção de fitomassa aos 60, 90 e 120 DAS, foram coletadas as plantas de quatro subamostras de 0,70 m, em quatro linhas centrais de semeadura para cada espécie nos consórcios, e quatro subamostras de 0,70 m de quatro linhas nos monocultivos, em pontos ao acaso na área útil das unidades experimentais. As plantas foram cortadas rente à superfície do solo, e fez-se a pesagem dos materiais vegetais, separadamente. Imediatamente após as pesagens, as amostras foram totalmente picadas (± 5 cm) com tesouras de poda e homogêneas. Em seguida, retiraram-se alíquotas de aproximadamente 20% (volume/volume) do total de fitomassa, separadamente para cada espécie nos consórcios, com o auxílio de balde e becker graduados, que foram acondicionadas em sacos de plástico vedados. Posteriormente, fez-se a pesagem das alíquotas (matéria fresca) e a secagem em estufa de circulação forçada de ar a 60°C, até atingirem massa constante, o que permitiu calcular o teor de água e a produtividade de massa de matéria seca para cada espécie. Paralelamente, o restante das amostras de cada unidade experimental, coletadas nos monocultivos e consórcios (as duas espécies juntas), foi homogêneo por meio de trituração mecânica em equipamento forrageiro estacionário, e retiraram-se alíquotas de aproximadamente 20% (volume/volume) do total de fitomassa triturada, com o auxílio de balde e becker graduados. As amostras trituradas foram levadas à secagem em estufa a 60°C, até atingirem massa constante, e preparadas para determinações dos teores de N (Malavolta et al., 1997) e de C (Tedesco et al., 1995), para os cálculos de acúmulo de N e da relação C/N.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e, quando houve diferença significativa entre tratamentos, a 5% de probabilidade pelo teste F, fizeram-se comparações das médias por meio do teste Tukey, também a 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

Não houve interação significativa entre culturas de cobertura e épocas de corte para a produção de fitomassa. Contudo, na média geral dos três estádios de manejo (60, 90 e 120 DAS), vários consórcios mostraram-se superiores aos monocultivos de sorgo e milho.

Na Tabela 1, estão apresentadas as percentagens de massa de matéria seca (MS) de cada espécie, em relação ao total produzido nas culturas consorciadas, no entanto sem que esses resultados tenham sido submetidos à análise estatística. O sorgo e o milho aparentemente contribuíram com quantidades relativamente superiores de fitomassa, em comparação à grande maioria das espécies consorciadas (crotalária, guandu-anão, nabo forrageiro e tremoço branco), aos 60, 90 e 120 DAS, com exceção do girassol, que aparentemente foi mais produtivo do que as duas gramíneas em todos os estádios avaliados.

No consórcio sorgo e girassol, a gramínea contribuiu com apenas 25, 18 e 28% do total da fitomassa produzida, para os cortes realizados aos 60, 90 e 120 DAS, respectivamente. Nesse mesmo consórcio, o milho produziu 35, 37 e 36% do total da MS acumulada (Tabela 1).

A maior produtividade de MS foi observada no consórcio milho e girassol, com 9.559 kg ha⁻¹, com rendimento cerca de 75% superior ao do monocultivo de milho (5.476 kg ha⁻¹), considerando-se a média das três épocas de corte (Tabela 1). Outro resultado expressivo foi o do consórcio milho e nabo forrageiro, com 8.718 kg ha⁻¹ de fitomassa, na média geral dos três estádios de manejo.

O monocultivo de sorgo apresentou resultados estatisticamente equivalentes ao consórcio de sorgo e guandu, e inferior aos consórcios dessa gramínea com crotalária, nabo, girassol e tremoço (Tabela 1).

O monocultivo do milho produziu quantidades de MS estatisticamente equivalentes aos seus consórcios com crotalária e guandu; e significativamente inferiores aos consórcios com nabo, girassol, e tremoço (Tabela 1). Assim, tanto para o sorgo como para o milho, os consórcios com guandu-anão não aumentaram a produtividade de MS, em relação aos cultivos isolados das gramíneas.

Teixeira et al. (2008) avaliaram culturas consorciadas de milheto, feijão-de-porco e guandu-anão, no ambiente de safrinha (março a julho), e constataram

2.505 kg ha⁻¹ de MS no consórcio milho e guandu, dos quais somente 13,3% eram oriundos da leguminosa. Esses autores argumentam que o desempenho pouco expressivo do guandu-anão, no cultivo de safrinha, provavelmente ocorreu em razão das baixas temperaturas, já que seu máximo desenvolvimento acontece entre 20 e 30°C (Calegari, 1995). Amabile et al. (2000) testaram três épocas de semeadura do guandu, na região do Cerrado brasileiro (12 de novembro, 7 de janeiro e 4 de março), e observaram forte redução no rendimento de MS à medida que se aproximou o período de outono-inverno.

De acordo com Cazetta et al. (2005), as elevadas taxas de crescimento inicial das gramíneas tropicais ocorrem, entre outros aspectos, em razão da maior eficiência fotossintética. Menezes & Leandro (2004) e Suzuki & Alves (2006) também argumentam que uma das principais vantagens das gramíneas de cobertura é a rapidez de crescimento inicial, com forte supressão de plantas daninhas, mesmo em condições de deficiência hídrica. Porém, há ressalvas, pois apesar de o sorgo e o milho apresentarem via fotossintética do tipo C₄ e o girassol C₃ (Tesar, 1984), constatou-se, no presente trabalho, expressiva superioridade da oleaginosa cultivada em linhas intercaladas às das gramíneas, em todos os estádios de desenvolvimento estudados. Silva et al. (2009) observaram que a crotalária foi mais competitiva que o milho, em consórcios realizados em solo fértil, na época chuvosa. Teixeira et al. (2008) observaram que, no consórcio milho e feijão-de-porco, não houve domínio expressivo da gramínea sobre a leguminosa, ou seja, ocorreu maior equilíbrio entre ambas as espécies, tendo sido produzidos 3.275 kg ha⁻¹ de fitomassa, dos quais 51% provenientes da gramínea e 49% da leguminosa. Perin et al. (2004) também verificaram que, no cultivo consorciado de milho e crotalária, a gramínea não foi mais capacitada do que a leguminosa, pois a crotalária contribuiu com 65% do total de fitomassa produzida, com manejo da cultura aos 68 DAS. No trabalho de Bertin et al. (2005), o milho cresceu menos que a crotalária, o feijão-de-porco e o labe-labe, nos estádios iniciais de 15 e 30 DAS, porém, aos 45 DAS a gramínea superou as leguminosas.

Giacomini et al. (2003) estudaram, por três anos consecutivos, culturas de cobertura consorciadas com diferentes proporções de espécies, com 15% aveia-preta e 85% ervilhaca, 30% aveia-preta e 70% ervilhaca, 45% aveia-preta e 55% ervilhaca, 15% aveia-preta e

Tabela 1. Massa de matéria seca produzida em monocultivos de sorgo e milho (Espécie 1) e em seus consórcios (Espécie 2) com crotalária, guandu-anão, nabo forrageiro, girassol e tremoço branco, cortados aos 60, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS)⁽¹⁾.

Cultura de cobertura	60 DAS			90 DAS			120 DAS			Média
	Espécie 1		Total	Espécie 1		Total	Espécie 1		Total	
	(kg ha ⁻¹)	(%)		(kg ha ⁻¹)	(%)		(kg ha ⁻¹)	(%)		
Sorgo	3.311	100	3.311	6.061	100	6.061	7.057	100	7.057	5.476e
Milho	4.548	100	4.548	6.998	100	6.998	7.250	100	7.250	6.265de
Sorgo + crotalária	3.501	60	5.854	4.478	58	7.753	6.084	60	10.069	7.892bc
Sorgo + guandu	4.293	90	4.747	5.907	89	734	6.763	82	8.231	6.540cde
Sorgo + nabo	3.490	71	4.910	4.427	58	3.275	5.858	62	9.464	7.355bcd
Sorgo + girassol	1.410	25	4.220	75	6.632	82	2.750	28	6.999	7.837bc
Sorgo + tremoço	3.050	69	4.420	4.978	61	3.155	6.436	62	3.979	7.656bcd
Milho + crotalária	2.245	62	1.380	38	2.575	30	8.496	61	4.067	7.477bcd
Milho + guandu	4.146	93	4.476	6.516	90	700	7.498	77	2.191	7.127cd
Milho + nabo	4.355	67	2.105	33	3.775	41	9.274	64	3.776	8.718ab
Milho + girassol	2.215	35	4.045	65	6.954	63	4.156	36	7.300	9.559a
Milho + tremoço	3.860	78	1.110	22	3.050	35	8.615	64	3.741	10.268
Média			4.934C			7.998B			9.532A	

⁽¹⁾Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Percentagens representam as quantidades de massa de matéria seca de cada espécie, em relação ao total produzido nos consórcios. Os coeficientes de variação para culturas de cobertura e épocas de corte foram de 13,48 e 14,78%, respectivamente.

85% nabo forrageiro e 30% aveia-preta com 70% nabo forrageiro, e concluíram que a contribuição de cada espécie na produção total de MS depende – além da densidade de semeadura – da disponibilidade de N no sistema (palhada, solo e adubo) e das condições climáticas.

Na definição da melhor época de manejo da cobertura, constatou-se que, na média geral das 12 coberturas estudadas, a maior produtividade ocorreu aos 120 DAS, com 9.532 kg ha⁻¹ de MS, que foi 93% superior à produtividade de 4.934 kg ha⁻¹ alcançada aos 60 DAS, e 19% superior à observada aos 90 DAS, de 7.998 kg ha⁻¹ (Tabela 1). Com base nas médias gerais das culturas de cobertura, a maior taxa de incremento diário de MS ocorreu no intervalo de 60 para 90 DAS, com 153 kg ha⁻¹ por dia, ao passo que na fase final de 90 a 120 DAS, o ganho foi de 51 kg ha⁻¹ por dia e, no início do desenvolvimento da semeadura aos 60 DAS, foram acumulados 82 kg ha⁻¹ por dia de MS.

Ocorreram interações significativas entre culturas de cobertura e épocas de corte, quanto aos teores e acúmulos de N na fitomassa (Tabela 2). De maneira geral, o cultivo intercalado de espécies C₃ com o sorgo e o milho proporcionou maiores teores de N nas fitomassas produzidas, em comparação aos monocultivos das gramíneas. Com manejo realizado aos 60 DAS, os teores de N dos monocultivos de sorgo e milho foram significativamente inferiores a praticamente todos os consórcios, com exceção do sorgo com nabo. No corte realizado aos 90 DAS, o menor teor de N foi observado no cultivo isolado do milho, estatisticamente equivalente ao do monocultivo de sorgo. Aos 120 DAS, o sorgo isolado apresentou o menor teor de N na palhada, entre todas as culturas estudadas.

De acordo com Marschner (1995), nas espécies C₄, menos de 10% do N total das folhas são comprometidos na formação da enzima RuBP carboxilase (RuBisCO), e de 2 a 5% na formação da enzima PEP carboxilase, enquanto nas espécies C₃ a RuBisCO imobiliza de 20 a 30% do N total contido nos tecidos foliares. Além disso, a enzima RuBisCO representa aproximadamente 50% do total de proteínas solúveis contidas nas folhas de plantas C₃, contra menos de 10% nas plantas C₄ e, por isso, há maior disponibilidade de N para a formação de novos tecidos vegetais em plantas C₄, ao passo que nas plantas C₃ a RuBisCO funciona como reserva de N solúvel foliar (Pimentel, 1998).

Portanto, é compreensível o maior incremento, observado no presente trabalho, nos teores de N das fitomassas produzidas nas lavouras consorciadas, em comparação aos monocultivos de milho e sorgo (Tabela 2). É preciso ressaltar, também, que as leguminosas utilizadas neste trabalho apresentam elevada capacidade de fixação biológica de N (Derpsch & Calegari, 1992; Perin et al., 2004; Teixeira et al., 2005).

Os maiores teores de N foram encontrados nas fitomassas dos consórcios de milho com crotalária e de sorgo com tremoço, com 33 e 30 g kg⁻¹ na MS aos 60 DAS, respectivamente (Tabela 2). Aos 90 DAS, grande parte dos consórcios superou os monocultivos das gramíneas, porém, com valores menos expressivos em comparação ao primeiro estágio de corte. Aos 120 DAS, os teores de N das palhadas produzidas nas lavouras consorciadas foram fortemente reduzidos, mas ainda assim com relativa superioridade em comparação aos cultivos isolados das gramíneas.

Aos 60 DAS, as quantidades de N acumuladas nos monocultivos de sorgo e milho foram de 58 e 81 kg ha⁻¹ (Tabela 2), enquanto em alguns consórcios, como os de milho e nabo, milho e girassol e sorgo e crotalária, foram produzidas fitomassas com 172, 165, 163 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Portanto, espécies C₃, cultivadas em linhas intercaladas às gramíneas tropicais, proporcionaram forte acúmulo de N na MS, num intervalo relativamente curto de tempo.

Aos 90 DAS, os monocultivos de sorgo e milho foram estatisticamente equivalentes entre si, com 78 e 66 kg ha⁻¹ de N na fitomassa, respectivamente; já os consórcios de milho com girassol, nabo, ou com crotalária de 201, 182 e 141 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. O sorgo consorciado com tremoço, nabo, girassol, ou crotalária apresentou 180, 175, 167 e 154 kg ha⁻¹ de N na MS, respectivamente (Tabela 2). Assim, tanto para o sorgo quanto para o milho, os consórcios apresentaram-se expressivamente viáveis em acúmulo de N na palhada, em razão da fixação biológica, no caso das leguminosas, e devido a elevada capacidade de absorção de N do solo apresentada pelas espécies das demais famílias.

Na última época de corte, aos 120 DAS, as quantidades de N acumuladas na MS da maior parte das culturas consorciadas ainda foram bastante superiores às dos cultivos isolados das gramíneas (Tabela 2), mesmo em estágio em que as plantas apresentavam avançada senescência de folhas

(avaliações visuais). Os destaques foram para as lavouras consorciadas com as leguminosas crotalária e tremoço branco, provavelmente em razão da elevada capacidade de fixação biológica de N dessas espécies (Derpsch & Calegari, 1992; Perin et al., 2004; Teixeira et al., 2005).

Os resultados de acúmulo de N, observados no presente trabalho, corroboram os de Perin et al. (2004), que verificaram que o monocultivo de milho acumulou 97 kg ha⁻¹ de N na MS aos 68 DAS, enquanto que seu consórcio com crotalária acumulou 218 kg ha⁻¹ de N. No trabalho de Giacomini et al. (2003), a aveia-preta cultivada isoladamente não conseguiu acumular mais que 60 kg ha⁻¹ de N, em três anos consecutivos de estudo, ao passo que as quantidades de N obtidas nos consórcios de aveia com ervilhaca e aveia com nabo forrageiro foram significativamente superiores às dos monocultivos da gramínea, em todos os anos avaliados.

Tabela 2. Teor e acúmulo de N na fitomassa produzida em monocultivos de sorgo e milho e em seus consórcios com crotalária, guandu-anão, nabo forrageiro, girassol e tremoço branco, cortados aos 60, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS).

Cultura de cobertura	60 DAS	Teor de N (g kg ⁻¹)	
		90 DAS	120 DAS
Sorgo	18,03Ae	12,92Bcd	8,68Cc
Milho	17,69Ae	9,36Bd	12,44Babc
Sorgo + crotalária	27,94Abc	20,00Bab	16,92Ba
Sorgo + guandu	23,37Acd	18,10Bab	10,71Cbc
Sorgo + nabo	12,45Bf	22,64Aa	13,20Babc
Sorgo + girassol	20,94Ade	20,67Aab	14,52Bab
Sorgo + tremoço	30,44Aab	22,63Ba	16,29Ca
Milho + crotalária	33,52Aa	16,55Bbc	15,72Bab
Milho + guandu	24,59Acd	17,57Bbc	11,95Cabc
Milho + nabo	26,70Abc	19,44Bab	12,67Cabc
Milho + girassol	26,73Abc	18,22Bab	12,53Cabc
Milho + tremoço	26,50Abc	20,27Bab	15,80Ca
		Acúmulo de N (kg ha ⁻¹)	
Sorgo	58,44Ae	78,32Ade	61,85Ac
Milho	81,16Acde	65,61Ae	89,73Abc
Sorgo + crotalária	163,39Aab	153,75Aabc	169,87Aa
Sorgo + guandu	109,78Abcde	120,07Acde	87,14Abc
Sorgo + nabo	61,76Cde	174,98Aabc	124,52Bab
Sorgo + girassol	118,89Babcd	167,15Aabc	140,56ABab
Sorgo + tremoço	134,42Babc	179,87Aabc	168,28ABa
Milho + crotalária	121,92Aabc	140,74Abc	163,20Aa
Milho + guandu	109,22Abcde	126,14Abcd	115,60Aabc
Milho + nabo	171,89ABa	181,59Aab	131,88Bab
Milho + girassol	164,69ABab	201,26Aa	143,06Bab
Milho + tremoço	131,67Aabc	173,97Aabc	161,57Aa

¹⁾Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os coeficientes de variação para culturas de cobertura e épocas de corte foram de 11,08 e 11,05%, respectivamente.

Em contrapartida, Cazetta et al. (2005) verificaram que o milho em monocultivo acumulou 265 kg ha⁻¹ de N, e superou o consórcio de milho com crotalária, que acumulou 204 kg ha⁻¹ de N na MS. No experimento de Torres et al. (2008), foram observadas fortes variações de um ano para o outro no acúmulo de N de culturas de cobertura avaliadas no pleno florescimento, com os seguintes resultados: no primeiro ano, foram obtidos 165, 84, 118, 29, 51 e 131 kg ha⁻¹ de N do milho, sorgo, crotalária, aveia-preta, guandu e *Brachiaria brizantha*, respectivamente; e no segundo ano foram observadas quantidades bastante inferiores de 56, 45, 76, 46, 62 e 42 kg ha⁻¹ de N no milho, sorgo, crotalária, aveia-preta, guandu e *Brachiaria brizantha*, respectivamente. Portanto, argumenta-se que a capacidade das espécies de cobertura de incorporar N na fitomassa está fortemente relacionada ao ambiente de produção e manejo (Menezes & Leandro, 2004; Cazetta et al., 2005; Suzuki & Alves, 2006; Torres et al., 2008).

Foi observada interação significativa entre culturas de cobertura e épocas de corte quanto às relações C/N das fitomassas. No estágio de manejo aos 60 DAS, a consorciação de espécies nos cultivos de cobertura reduziu os valores de C/N das palhadas em relação aos monocultivos de sorgo e milho que foram semelhantes entre si; e teve significativa redução na relação C/N da MS para os consórcios: milho com crotalária, nabo, girassol, tremoço, guandu; sorgo com guandu, girassol, crotalária e tremoço. A exceção foi para o consórcio sorgo com nabo, que não apresentou redução significativa (Tabela 3).

De maneira geral, à medida que as culturas de cobertura foram chegando ao final do ciclo, as relações C/N das palhadas ficaram maiores (Tabela 3). Contudo, analisando-se somente o estágio de manejo de 90 DAS, para a maior parte dos consórcios, as relações C/N foram ainda mais estreitas quando comparadas aos cultivos isolados das gramíneas. Aos 120 DAS, a redução das relações C/N foi minimizada, em comparação aos monocultivos das gramíneas, provavelmente em razão do estado avançado de senescência das plantas (constatação visual). Contudo, alguns consórcios apresentaram valores de C/N da MS expressivamente menores que os dos monocultivos de sorgo e milho (Tabela 3).

Os resultados do presente estudo corroboram os de Giacomini et al. (2003), que constataram, por três safras, que consórcios de aveia-preta com ervilhaca

Tabela 3. Relação C/N de fitomassa produzida em monocultivos de sorgo e milho e em seus consórcios com crotalária, guandu-anão, nabo forrageiro, girassol e tremoço branco, cortados aos 60, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS).

Cultura de cobertura	60 DAS	90 DAS	120 DAS
Sorgo	49,39Cb	73,19Bb	104,57Aa
Milho	49,59Cb	88,02Aa	71,32Bbcde
Sorgo + crotalária	31,14Bc	46,20Acde	54,63Af
Sorgo + guandu	37,25Cbc	49,04Bcde	85,56Ab
Sorgo + nabo	64,66Aa	39,44Bde	68,96Acdef
Sorgo + girassol	39,75Bbc	36,19Be	61,65Acdef
Sorgo + tremoço	28,42Cc	41,54Bde	56,79Aef
Milho + crotalária	25,83Bc	56,81Ac	58,75Adef
Milho + guandu	35,96Cbc	53,60Bcd	76,34Abc
Milho + nabo	30,32Cc	46,35Bcde	71,87Abcd
Milho + girassol	31,38Cc	50,51Bcde	73,10Abcd
Milho + tremoço	31,41Cc	45,52Bcde	59,17Adef

⁽¹⁾Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os coeficientes de variação para culturas de cobertura e épocas de corte foram de 12,79 e 11,57%, respectivamente.

ou nabo forrageiro produziram palhadas com relações C/N significativamente menores do que as dos cultivos isolados de aveia-preta.

Conclusões

1. Consorciações de sorgo e milho com outras espécies superam a produtividade de fitomassa dos monocultivos dessas gramíneas.

2. Cultivos isolados de sorgo e milho acumulam menos N e apresentam maiores relações C/N das fitomassas produzidas do que os seus consórcios com outras espécies.

3. O corte aos 120 dias após a semeadura das culturas de cobertura proporciona o maior rendimento de matéria seca, enquanto que o corte aos 90 dias proporciona maior aporte de N e palhadas com menor relação C/N.

4. A consorciação de espécies de cobertura apresenta elevado potencial para incrementar a oferta de N nos sistemas de produção.

Referências

ALVARENGA, R.C.; CABEZAS, W.A.L.; CRUZ, J.C.; SANTANA, D.P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. *Informe Agropecuário*, v.22, p.25-36, 2001.

AMABILE, R.F.; FANCELLI, A.L.; CARVALHO, A.M. de. Comportamento de espécies de adubos verdes em diferentes épocas de semeadura e espaçamentos na Região dos Cerrados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, p.47-54, 2000.

ANDREOLA, F.; COSTA, L.M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral

sobre as propriedades físicas de uma terra roxa estruturada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, p.857-865, 2000.

BERTIN, E.G.; ANDRIOLI, I.; CENTURION, J.F. Plantas de cobertura em pré-safra ao milho em plantio direto. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.27, p.379-386, 2005.

BOER, C.A.; ASSIS, R.L.; SILVA, G.P.; BRAZ, A.J.B.P.; BARROSO, A.L.L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F.R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.42, p.1269-1276, 2007.

CALEGARI, A. *Leguminosas para adubação verde de verão no Paraná*. Londrina: Iapar, 1995. 118p.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. de; FONTES, R.L.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). *Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.375-470.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van; CAMARGO, C.E.O. Adubação de cereais. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomico, 1997. p.43-50. (IAC. Boletim técnico, 100).

CAZETTA, D.A.; FORNASIERI FILHO, D.; GIROTTO, F. Composição, produção de matéria seca e cobertura do solo em cultivo exclusivo e consorciado de milheto e crotalária. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.27, p.575-580, 2005.

CLAESSEN, M.E.C. *Manual de métodos de análise de solo*. 2.ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPQ, 1997. 212p.

DERPSCH, R.; CALEGARI, A. *Plantas para adubação verde de inverno*. 2.ed. Londrina: Iapar, 1992. 80p.

GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; CHIAPINOTTO, I.C.; HÜBNER, A.P.; MARQUES, M.G.; CADORE, F. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. II - Nitrogênio acumulado pelo milho e produtividade de grãos. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.28, p.751-762, 2004.

GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E.R.O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R.S.; FRIES, M.R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.325-334, 2003.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 210p.

MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. 2nded. London: Academic Press, 1995. 889p.

MENEZES, L.A.S.; LEANDRO, W.M. Avaliação de espécies de coberturas do solo com potencial de uso em sistema de plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.34, p.173-180, 2004.

MOLINA, L.R. *Avaliação nutricional de seis genótipos de sorgo colhidos em três estágios de maturação*. 2000. 65p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

OLIVEIRA, T.K. de; CARVALHO, G.J. de; MORAES, R.N. de S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, p.1079-1087, 2002.

- PERIN, A.; SANTOS, R.H.S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, J.G.M.; CECON, P.R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.35-40, 2004.
- PIMENTEL, C. **Metabolismo de carbono na agricultura tropical**. Rio de Janeiro: Edur, 1998. 159p.
- RAIJ, B. van.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. 284p.
- SILVA, A.C da; HIRATA, E.K.; MONQUERO, P.A. Produção de palha e supressão de plantas daninhas por plantas de cobertura, no plantio direto do tomateiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, V44, p.22-28, 2009.
- SISTEMA brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.
- SUZUKI, L.E.A.S.; ALVES, M.C. Fitomassa de plantas de cobertura em diferentes sucessões de culturas e sistemas de cultivo. **Bragantia**, v.65, p.121-127, 2006.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, planta e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p.
- TEIXEIRA, C.M.; CARVALHO, G.J. de; ANDRADE, M.J.B. de; FURTINI NETO, A.E. Fitomassa, teor e acúmulo de micronutrientes do milheto, feijão-de-porco e guandu-anão, em cultivo solteiro e consorciado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.30, p.533-538, 2008.
- TEIXEIRA, C.M.; CARVALHO, G.J. de; FURTINI NETO, A.E.; ANDRADE, M.J.B. de; MARQUES, E.L.S. Produção de biomassa e teor de macronutrientes do milheto, feijão-de-porco e guandu-anão em cultivo solteiro e consorciado. **Ciência e Agrotecnologia**, v.29, p.93-99, 2005.
- TESAR, M.B. **Physiological basis of crop growth and development**. Madison: American Society of Agronomy, 1984. 341p.
- 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**, v.43, p.421-428, 2008.

Recebido em 4 de agosto de 2009 e aprovado em 29 de outubro de 2009