

ESTRATÉGIAS DE ADUBAÇÃO NITROGENADA NA CULTURA DO MILHO EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

ÉDINA CRISTIANE PEREIRA LOPES¹, ANIBAL DE MORAES¹,
CLAUDETE REISDORFER LANG¹, ITACIR ELOI SANDINI²,
MARCELO MARQUES LOPES MÜLLER² e EDILSON BATISTA DE OLIVEIRA³

¹UFPR, Curitiba, PR, Brasil, edinacpupes@gmail.com, amoraes@ufpr.br; langc@ufpr.br

²UNICENTRO, Guarapuava, PR, Brasil, isandini@hotmail.com; mmuller@unicentro.br

³EMBRAPA, Colombo, PR, Brasil, edilson.oliveira@embrapa.br

Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.16, n.2, p. 161-177, 2017

RESUMO - Objetivou-se nesse trabalho avaliar o efeito da aplicação de doses de nitrogênio em três épocas: em cobertura na pastagem de inverno; em pré-semeadura e em cobertura no milho, sobre a produtividade de grãos e componentes de rendimento do milho, em um Sistema Integrado de Produção Agropecuária. O experimento foi realizado em Guarapuava, Paraná, em delineamento de blocos casualizados com parcelas sub-subdivididas. A parcela principal consistiu dos tratamentos 0; 75; 150 e 225 kg ha⁻¹ de N, aplicados na pastagem de aveia + azevém. Por sua vez, na subparcela foram aplicados 0 e 75 kg ha⁻¹ de N em pré-semeadura do milho e na sub-subparcela foram utilizados 0; 75; 150; 225 e 300 kg ha⁻¹ de N no milho, correspondendo aos fatores Inverno (I), Pré-semeadura (PS) e Verão (V), respectivamente. A produtividade foi afetada pela interação de todos os tratamentos. A menor produtividade foi de 4.176 kg ha⁻¹ de grãos, sem aplicação de N. Com 75 kg ha⁻¹ de N em PS, a produtividade de grãos de milho foi de 7.148 kg ha⁻¹. Com aplicação de 75 kg ha⁻¹ de N em PS, mais 150 ou 225 kg ha⁻¹ de N no I, não se faz necessária a aplicação de N no Verão.

Palavras-chave: produtividade, componentes de rendimento, teor de N foliar, clorofila.

NITROGEN FERTILIZATION STRATEGIES IN CORN UNDER INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEM

ABSTRACT - The objective of this study was to evaluate the effect of applying N rates at three different times: in coverage in winter pasture ; in pre-sowing and coverage corn on corn yield, on grain yield and corn yield components in an Integrated Crop-Livestock System. The experiment was conducted in Guarapuava, Paraná, Brazil, in a randomized block design with split plots. The main plot treatments consisted of 0; 75; 150 and 225 kg ha⁻¹ N applied in the pasture of oat + ryegrass; in the subplot treatments 0 and 75 kg ha⁻¹ N were applied in the pasture in pre-sowing corn and sub-subplot treatments 0; 75; 150; 225 and 300 kg ha⁻¹ of N in corn, corresponding to factors Winter (I), Pre-sowing (PS) and Summer (V), respectively. Productivity was significant for the triple interaction. The lowest observed productivity was 4.176 kg ha⁻¹ of grain without the application of N with 75 kg ha⁻¹ N in PS, productivity of corn grains was 7.148 kg ha⁻¹. With application of 75 kg ha⁻¹ N in PS, with 150 or 225 kg N ha⁻¹ in I, the application of N in Summer is not necessary.

Keywords: productivity, yield components, leaf nitrogen content, chlorophyll.

O Sistema Integrado de Produção Agropecuária - SIPA (Carvalho et al., 2014) é reconhecido como uma alternativa para a intensificação sustentável (FAO, 2010), com interações positivas entre culturas e animais. Promove maior ciclagem de nutrientes e melhoria do solo (Salton et al., 2014), além de proporcionar alta viabilidade econômica (Balbinot Júnior et al., 2009), desde que tenha manejo adequado da adubação nitrogenada.

Embora a maior apreensão dos agricultores seja a ideia de que pastoreio em sucessão ou rotação com culturas agrícolas poderia comprometer o rendimento de grãos, Moraes et al. (2014) demonstraram uma tendência oposta. Em estudos realizados nas regiões subtropicais brasileiras, a produção de grãos de culturas cultivadas em sucessão ou rotação com pastagens é mais elevada em comparação com as culturas não pastejadas, demonstrando que o pastejo afeta positivamente a produção de grãos (Silveira et al., 2012), sobretudo, quando é associado ao efeito residual do N (Assmann et al., 2003; Novakowski et al., 2011).

O nitrogênio, depois da água, tem sido considerado o principal fator limitante à produção de biomassa nos ecossistemas, exercendo importante função nos processos bioquímicos da planta, sendo constituinte de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucleicos, fitocromos e clorofila (Taiz & Zeiger, 2009). Portanto, o suprimento inadequado deste nutriente é considerado um dos principais limitantes ao rendimento de grãos do milho, pois se caracteriza como o mais exigido em quantidade, e ainda possui recomendações de adubação complexas (Gomes et al., 2007).

A disponibilidade de N no solo, para a cultura do milho, é controlada basicamente pela decomposição da matéria orgânica e por adubações nitrogenadas, sendo que, quando são utilizadas culturas com

baixa relação C:N na matéria seca, em rotação ou sucessão, aliado ao manejo de incorporação dos restos culturais, a decomposição e a mineralização é mais rápida e a ciclagem do N ocorre em curto espaço de tempo (Pavinato et al., 2008).

Um dos aspectos mais discutidos no manejo da adubação nitrogenada na cultura de milho é a época de aplicação de N e a quantidade a ser aplicada (Coelho, 2007). No que se refere à adubação antecipada (em pré-semeadura do milho) após o manejo da cultura de inverno, o N aplicado deve ser imobilizado de forma temporária pela biomassa microbiana, e, posteriormente, disponibilizado, em parte, nos estádios de maior demanda de N pelo milho. Por sua vez, o N aplicado em cobertura promove acúmulo de teores totais de nitrogênio na camada superficial, o que modifica os processos de imobilização, mineralização, lixiviação e desnitrificação, podendo reduzir a disponibilidade de N, principalmente em áreas onde o uso desse sistema já esteja consolidado (Gomes et al., 2007).

As diferentes épocas de aplicação do nitrogênio, quando se trabalha com SIPA, visam permitir a redução das doses de N aplicadas em cobertura na cultura do milho, sem comprometimento da produtividade de grãos, com foco na adubação do sistema. Assim, conduziu-se este trabalho com o objetivo de avaliar diferentes épocas de aplicação e doses crescentes de N, bem como saber como estas podem afetar as características agrônomicas e o rendimento de grãos de milho, em área pastejada por ovinos, em um Sistema Integrado de Produção Agropecuária.

Material e Métodos

O trabalho foi conduzido em um experimento de longa duração implantado em 2006, na Universi-

dade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), no município de Guarapuava-PR. As avaliações foram realizadas na safra 2011/2012. O solo é classificado como Latossolo Bruno distroférico típico (Santos et al., 2006). Foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0 a 20 cm, sendo misturadas para compor uma única amostra para toda a área experimental. A análise do solo apresentou as seguintes características: pH em CaCl_2 : 4,8; matéria orgânica: $44,9 \text{ g dm}^{-3}$; e os elementos seguidos dos extratores: fósforo (P): $3,0 \text{ mg dm}^{-3}$; potássio (K^+): $0,54 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, (extrator Mehlich1); cálcio (Ca^{2+}): $3,02 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; magnésio (Mg^{2+}): $2,73 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; alumínio (Al^{3+}): $0,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (extrator KCL 1M); H+Al: $4,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (solução de acetato de cálcio e titulação alcalimétrica do extrato); capacidade de troca de cátions (CTC): $10,38 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e saturação por bases (V%): 60,4%.

De acordo com o sistema de classificação de Köppen, o clima é temperado propriamente dito, sem estação seca definida, e a precipitação total média anual, temperatura, evapotranspiração e umidade relativa estão entre 1.800 a 2.000 mm, 17 a 18 °C, 900 a 1.000 mm e 70 a 75%, respectivamente (Caviglione et al., 2000).

A área experimental esteve cultivada com culturas anuais para produção de grãos, em semeadura direta, desde o ano de 2003. Em 2006, iniciou-se um projeto de SIPA em que, durante o período de inverno, a área experimental é ocupada por ovinos, em pastagem consorciada de aveia e azevém, e, no verão, com cultivo de milho e feijão em rotação de culturas. O método de pastoreio utilizado foi o contínuo, sendo mantida uma altura de pasto de 14 cm, com a técnica do controle da altura do pasto usando lotações variáveis, *put-and-take* (Mott & Lucas, 1952).

A área experimental consistiu em 12 parcelas com 0,2 ha cada, isolando-se de cada parcela uma

área de 96 m^2 que permaneceu sem pastejo. Somente as áreas com pastejo foram avaliadas. A unidade experimental apresentava uma área de $17,6 \text{ m}^2$ total (4 linhas x 0,8 m x 5,5 m). O delineamento utilizado foi em blocos casualizados em parcelas sub-subdivididas, em um esquema fatorial $4 \times 2 \times 5$, com três repetições. Nas parcelas principais foram aplicados quatro níveis de adubação nitrogenada em cobertura, sendo: 0; 75; 150; 225 kg ha^{-1} de N aplicados na pastagem no inverno, considerado como fator Inverno (I). Nas subparcelas foi aplicado 0 e 75 kg ha^{-1} de N ao final do ciclo da pastagem, imediatamente após a retirada dos animais da área e 16 dias antes da semeadura do milho, sendo denominado o fator Pré-semeadura (PS). Por sua vez, nas sub-subparcelas aplicaram-se 0; 75; 150; 225; 300 kg ha^{-1} de N em cobertura no milho correspondendo ao fator Verão (V). Utilizou-se como fertilizante nitrogenado ureia contendo 45% de nitrogênio em sua constituição.

A pastagem foi implantada em 30 de maio de 2011, em sistema de semeadura direta, com mistura de 40 e 60 kg ha^{-1} de sementes de azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) e aveia, (*Avena sativa* L.) respectivamente, com espaçamento de 0,17 m entre linhas, tendo como cultura antecessora o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Na adubação de base utilizaram-se 0 kg ha^{-1} de N, 40 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 40 kg ha^{-1} de K_2O , sendo as respectivas fontes o superfosfato triplo e o cloreto de potássio.

Em 30 de junho, no início do perfilhamento das plantas de aveia e azevém, foi efetuada em aplicação única, a adubação nitrogenada em cobertura, correspondendo aos tratamentos de Inverno.

O pastejo dos ovinos foi iniciado no dia 08/08/2011 e finalizado no dia 17/10/2011, quando se retiraram os animais da área. Nesta data, foi estimada a quantidade de fitomassa no resíduo da pastagem e

logo após foi realizada a aplicação nitrogenada, de 0 e 75 kg ha⁻¹ de N, correspondendo aos tratamentos Pré-semeadura. Realizou-se, então, a dessecação da pastagem com herbicida glifosato (900 g i.a. ha⁻¹) utilizando 2.000 ha⁻¹ de calda, 15 dias antes da semeadura do milho.

A semeadura do híbrido de milho 30F53RR foi realizada no dia 1º de novembro, em semeadura direta sem adubação nitrogenada. A emergência das plântulas ocorreu oito dias após a semeadura. O ajuste da população foi realizado por meio de desbaste das plantas, em estágio V2 de desenvolvimento, contudo, fez-se a contagem antes da colheita do número de plantas na área útil da parcela, de forma a verificar se não houve morte de plantas posteriormente ao desbaste. A população média final foi estimada em 75.191 plantas ha⁻¹.

Para a adubação de verão, o fósforo e o potássio foram aplicados a lanço, antes da semeadura, nas dosagens de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 100 kg ha⁻¹ de K₂O, sendo as fontes o superfosfato triplo (45% de P₂O₅) e cloreto de potássio (60% de K₂O), respectivamente. O N, em conformidade com os tratamentos de Verão, foi aplicado em dose única em cobertura, em estágio V4 do milho (quatro folhas expandidas).

Efetuuou-se o controle de plantas daninhas pela aplicação de atrazina (3.500 g ha⁻¹), mais óleo mineral (0,5 L ha⁻¹), em pós-emergência, no estágio V1 (1 folha expandida). Não foi efetuado controle de pragas e doenças.

Foram determinados os teores de clorofila das folhas-bandeira do milho, ou seja, a primeira abaixo da espiga em florescimento pleno, utilizando métodos não destrutivo e destrutivo de folhas. No método não destrutivo, utilizou-se um clorofilômetro. Os clorofilômetros são instrumentos que aferem, de forma indireta e não destrutiva, os teores de clorofila com

base nas propriedades óticas das folhas (Argenta et al., 2001). O modelo utilizado foi o ClorofiLOG CFL 1030, um sensor comercial nacional que analisa três faixas de frequência de luz na medição e, através de relações de absorção de diferentes frequências, determina um índice de clorofila ICF (Índice de Clorofila Falker) levando em consideração a presença de clorofila dos tipos a e b (Falker Automação Agrícola Ltda, 2008), as quais foram somadas fornecendo os teores de clorofila total (TCT).

As aferições no clorofilômetro, duas por folha, foram realizadas em pontos situados na metade a dois terços do comprimento da folha amostrada, a partir da base, e a dois centímetros de uma das margens da folha, utilizando 10 folhas por parcela. Após as aferições, as folhas foram arrancadas para determinação do teor de N foliar (TN), por meio da concentração de N-NH₄⁺, pelo método espectrofotométrica-azul-de-indofenol (Silva, 2009), caracterizando-se assim, como método destrutivo.

A produtividade de grãos de milho (PG) foi determinada em área útil de 8,8 m² (2 linhas centrais x 0,8 x 5,5 m) e, depois da correção de umidade para 14%, o valor foi convertido para kg ha⁻¹, sendo a colheita de milho efetuada em 14/04/2012. Para avaliação do número de fileiras (FI), grãos por fileira (GF) e grãos por espiga (GE), foram utilizadas dez espigas colhidas em sequência da segunda linha central de cada parcela, que após analisadas foram incorporadas ao peso da parcela. A massa de 1.000 grãos (MMG) foi estimada a partir da pesagem de 300 grãos de cada parcela.

Os dados foram submetidos à análise de variância e avaliados pelo Teste F, e as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Empregou-se para análise dos dados o programa estatístico SANEST - Sistema de Análise Estatística

para Microcomputadores (Zonta & Machado, 1991). Fez-se a análise de coeficiente de correlação de Pearson (r) (Vieira, 2011) entre as variáveis: teor de N foliar (TN) e teor de clorofila total na folha (TCT), com a produtividade. O cálculo da máxima eficiência técnica (valor de X da variável independente para o qual Y (variável dependente) é máximo), para variável produtividade, foi realizado de acordo com metodologia descrita em Storck et al. (2000), por meio da seguinte fórmula:

$$X = -b_1/2b_2$$

Em que: X = ponto da máxima eficiência técnica; b_1 e b_2 = coeficientes da equação.

Resultados e Discussão

Os quadrados médios das variáveis analisadas e suas interações apresentam-se na Tabela 1. A produtividade de grãos de milho (PG) na interação entre os fatores Inverno (I), Verão (V) e Pré-semeadura (PS), com zero de N kg ha⁻¹ em pré-semeadura, é apresentada nas Figuras 1A e 1B. Observa-se na Figura 1A que houve resposta linear e significativa para a dose 0 kg ha⁻¹ de N no verão, constatando que houve efeito residual do N aplicado na pastagem (Sandini et al., 2011). Esta dose apresentou a menor produtividade constatada, que foi de 4.176 kg ha⁻¹. Contudo, essa média de produtividade não esteve muito distante da média paranaense da safra 2011/2012, que foi de 5.580 kg ha⁻¹ (CONAB, 2017). Considerando ainda que não houve aplicação de N na cultura do milho, essa produtividade evidencia a elevada disponibilidade de N no solo. Bayer e Fontoura (2006) atestaram o bom potencial no rendimento de milho em um solo com alto teor de matéria orgânica, obtendo rendimento de 5 t ha⁻¹ em sucessão à aveia-preta, sem aplicação nitrogenada, na região de Guarapuava, Paraná, e neste experimento o

teor de matéria orgânica foi de 44,9 g dm⁻³. Fontoura e Bayer (2009) destacaram que para a obtenção de rendimentos de milho entre 12,1 e 14 t ha⁻¹, as doses de N podem variar de 130 a 300 kg ha⁻¹ em função dos teores de matéria orgânica do solo e da cultura antecessora. Num solo com teor de matéria orgânica na faixa média (41 a 60 g kg⁻¹), a dose de N indicada é de 260 kg ha⁻¹ após cultivo de gramíneas no inverno.

A produtividade grãos de milho (PG) não foi afetada positivamente frente às doses 75; 150 e 225 kg ha⁻¹ de N no Inverno (I). Este resultado difere de outros autores (Assmann et al., 2003; Novakowski et al., 2011; Sandini et al., 2011), indicando que não houve efeito residual do N aplicado na pastagem. Porém, com essas aplicações de N no inverno a produtividade foi de 7.248; 8.017 e 11.965 kg ha⁻¹ de grãos de milho, respectivamente, correspondendo a 73,6; 92,0 e 186,5% de incremento em relação à área que não recebeu fertilizante nitrogenado em nenhuma época de aplicação, que teve, então, a menor produtividade, que foi de 4.176 kg ha⁻¹.

Conforme a Figura 1B, a produtividade de grãos de milho (PG) foi afetada com resposta quadrática para a interação Inverno (I), Verão (V) e Pré-semeadura (PS). Constatou-se efeito das doses de N aplicadas em cobertura na cultura do milho para as doses de N aplicadas na pastagem, mostrando que houve resposta significativa para as doses 0; 75 e 150 kg ha⁻¹ de N aplicadas no inverno, indicando que para essas doses foram necessárias aplicações nitrogenadas na cultura do milho. Com isso, as aplicações de 261; 222 e 211 kg ha⁻¹ de N no verão seriam obtidas as máximas produtividades de 13.402; 13.007 e 13.311 kg ha⁻¹ de grãos de milho para as doses 0; 75; 150 kg ha⁻¹ de N no inverno, respectivamente. Respostas similares foram obtidas por Sandini et al. (2011), com a diferença de que estes autores obtive-

Tabela 1. Resumo da análise de variância para as variáveis avaliadas na cultura do milho: produtividade de grãos (PG) (kg ha⁻¹); número de fileiras (FI); número de grãos por fileira (GF); número de grãos por espiga (GE); massa de mil grãos (MMG) (g); teor de N (TN) (g kg⁻¹); teor de clorofila total (TRC) em valor ICF. Guarapuava-PR, 2012.

QUADRADOS MÉDIOS									
FV	GL	PG	FI	GF	GE	MMG	TN	TCT	
Bloco	2	3571956	0,07	9,72	157672	632,08	37,39	20,70	
Inverno (I)	3	24235949*	0,35 ^{ns}	41,39*	115193 ^{ns}	2203,53*	330,38**	27,47 ^{ns}	
Resíduo (a)	6	2553156	0,23	11,07	161586	602,62 ^{ns}	20,43	22,87	
CV a (%)		4,49	0,91	3,38	22,59	2,30	3,54	2,76	
Verão (V)	4	49819229**	0,25 ^{ns}	26,04*	11710 ^{ns}	6546,38**	602,54**	66,24**	
V x I	12	14556700**	0,28 ^{ns}	11,16 ^{ns}	123102 ^{ns}	883,00 ^{ns}	25,34 ^{ns}	8,54 ^{ns}	
Resíduo (b)	32	2632647	0,24	9,52	158539	772,32	24,41	6,34	
CV b (%)		10,19	2,10	7,01	50,05	5,83	8,65	3,26	
Pré-semeadura (PS)	1	12256250**	0,15 ^{ns}	5,56 ^{ns}	163540 ^{ns}	36,89 ^{ns}	82,28*	39,61*	
PS x V	4	9299371**	0,37 ^{ns}	19,12 ^{ns}	210111 ^{ns}	999,77 ^{ns}	33,82 ^{ns}	18,85*	
PS x I	3	7127574**	0,25 ^{ns}	35,26*	215303 ^{ns}	2922,79**	18,08 ^{ns}	3,10 ^{ns}	
PS x V x I	12	6260789**	0,53 ^{ns}	10,73 ^{ns}	203787 ^{ns}	748,90 ^{ns}	21,08 ^{ns}	4,92 ^{ns}	
Resíduo (c)	40	1288860	0,25	9,37	163188	581,57	18,50	5,69	
CV c (%)		10,08	3,02	9,83	71,81	7,16	10,65	4,36	
Médias		11254	16,73	31,13	562,50	336,51	40,37	54,64	

ns – não significativo; * p<0.05; ** p<0.01 de probabilidade pelo Teste F.

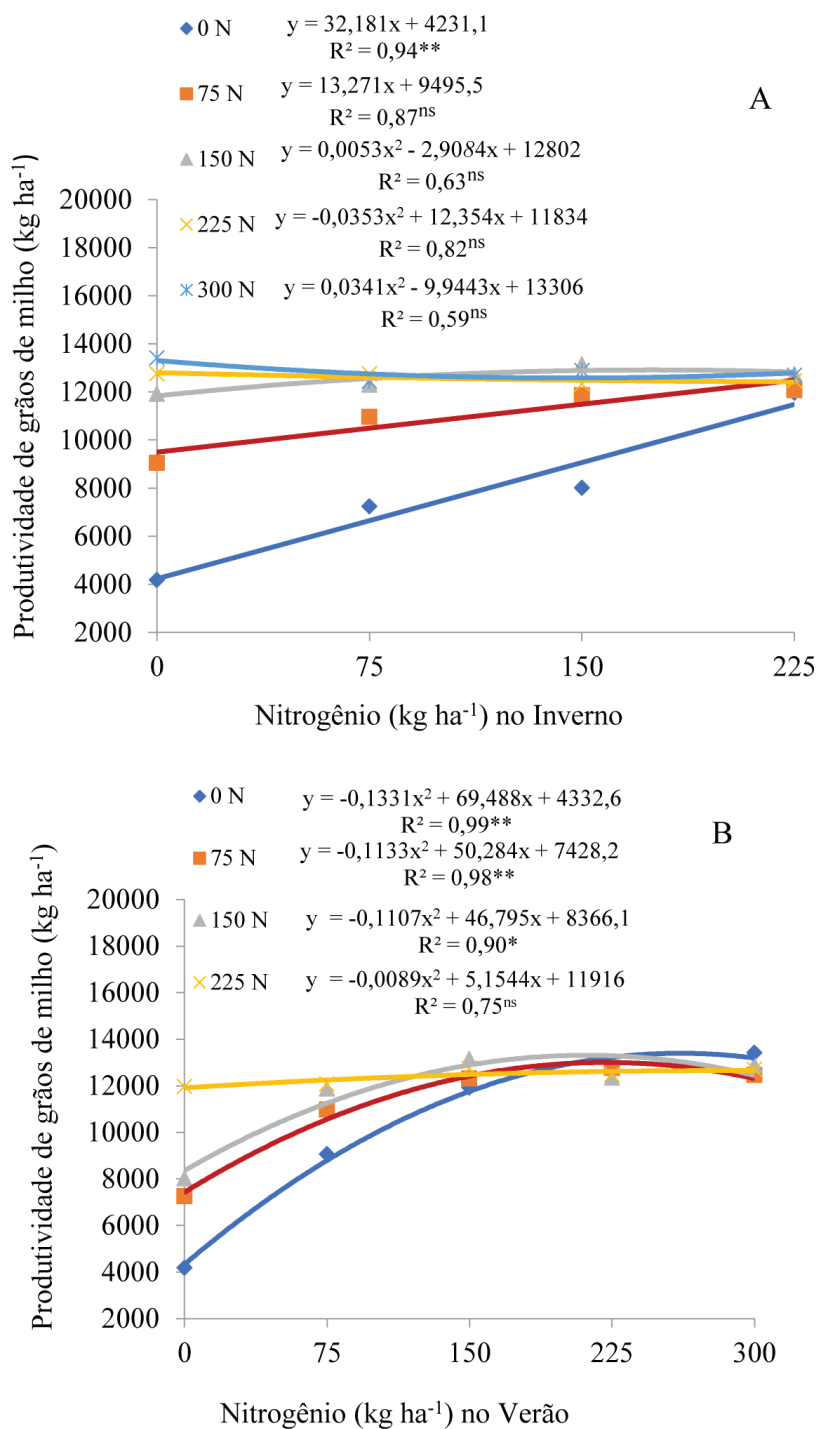


Figura 1. Produtividade de grãos de milho sob interação das doses de Inverno, Pré-semeadura e Verão, com a dose 0 kg ha⁻¹ de N na Pré-semeadura (A e B). Guarapuava-PR, 2012.

ram significância também para a dose 225 kg ha⁻¹ de N no inverno.

As parcelas que receberam 225 kg ha⁻¹ de N no Inverno (I) não responderam à adição de N no milho (V), em média, apresentaram elevadas produtividades de grãos de milho (12.338 kg ha⁻¹), comprovando, neste caso, que grande parte do N aplicado no inverno estava disponível para o cultivo posterior e, conseqüentemente, não necessitaria de adubações nitrogenadas, conforme Assmann et al. (2003). Tais resultados são semelhantes aos obtidos por Novakowski et al. (2011), em que os autores verificaram que com aplicação de 150 kg ha⁻¹ de N no inverno na pastagem não se teve resposta da adubação nitrogenada na cultura do milho subsequente, decorrente do fato de que grande parte do N aplicado no inverno estava disponível para o cultivo posterior e, conseqüentemente, não houve necessidade de adubações nitrogenadas. Silveira et al. (2012) verificaram efeito residual do N aplicado na pastagem sobre a cultura do milho em SIPA, onde este sistema possibilitou a reciclagem e disponibilização de nitrogênio, sendo que o pastoreio favoreceu a ciclagem mais rápida do N, estimulando a absorção pelas plantas.

Ainda quanto à produtividade de grãos de milho (PG), a interação entre os fatores Inverno (I), Verão (V) e Pré-semeadura (PS), agora com 75 de N kg ha⁻¹ em pré-semeadura (PS), é apresentada nas Figuras 2A e 2B. Das doses de N aplicadas de verão frente às doses de inverno, foi verificada significância para a dose 0 de N kg ha⁻¹, obtendo-se resposta linear com nível de significância de 1% (Figura 2A). Mostrou-se, então, que houve incremento na produtividade de grãos de milho com a aplicação nitrogenada em pré-semeadura (PS). Assim, com aplicação de 75 kg ha⁻¹ de N em pré-semeadura (PS), com 0 kg ha⁻¹ de N no inverno e no verão, a produtividade de grãos foi de 7.148 kg

ha⁻¹, obtendo um incremento de 71,16% em comparação à produtividade sem nenhuma aplicação nitrogenada. Isto mostra que o rendimento de grãos de milho é influenciado pela disponibilidade de nitrogênio.

As diferenças não foram significativas para a produtividade grãos de milho, frente às doses 75; 150 e 225 kg ha⁻¹ de N no Inverno (I), evidenciando mais uma vez, que não houve efeito residual do N aplicado na pastagem sobre a cultura do milho, nem mesmo quando houve aplicação nitrogenada em pré-semeadura. Provavelmente, a ocorrência desse fato se deve às altas e consecutivas aplicações nitrogenadas. Esses resultados concordam com o trabalho desenvolvido por Fernandes et al. (2005), que, estudando a eficiência de uso de N em cultivares de milho, utilizando doses de 0 a 180 kg ha⁻¹ de N, relataram que os aproveitamentos de N decresceram com a elevação das doses aplicadas, em razão de o suprimento de nitrogênio exceder as necessidades da cultura do milho. Essa diminuição é oriunda de prováveis perdas de amônia e perdas de nitrato por lixiviação após o processo de nitrificação, que aumentam com a dose aplicada, e esse aumento pode ser linear ou exponencial.

A maior produtividade obtida foi sem a aplicação de N em pré-semeadura (PS), sem aplicação no inverno e com 300 kg ha⁻¹ de N no verão (V), obtendo-se 13.406 kg ha⁻¹ de grãos (Figura 1A). Quando se utilizou a aplicação de 75 kg ha⁻¹ de N em pré-semeadura (PS), porém, sem nitrogênio no inverno (I) e com 300 kg ha⁻¹ de N no verão (V), foi constatada a produtividade de 12.771 kg ha⁻¹ de grãos (Figura 2A). Isso representa 4,74% a menos de incremento em produtividade de grãos. E essa diminuição no rendimento é devida ao aumento das doses de N, com as quais a eficiência do uso do nitrogênio diminuiu.

Foi verificada resposta linear com nível de significância de 1 e 5%, para as doses 0 e 75 kg ha⁻¹ de

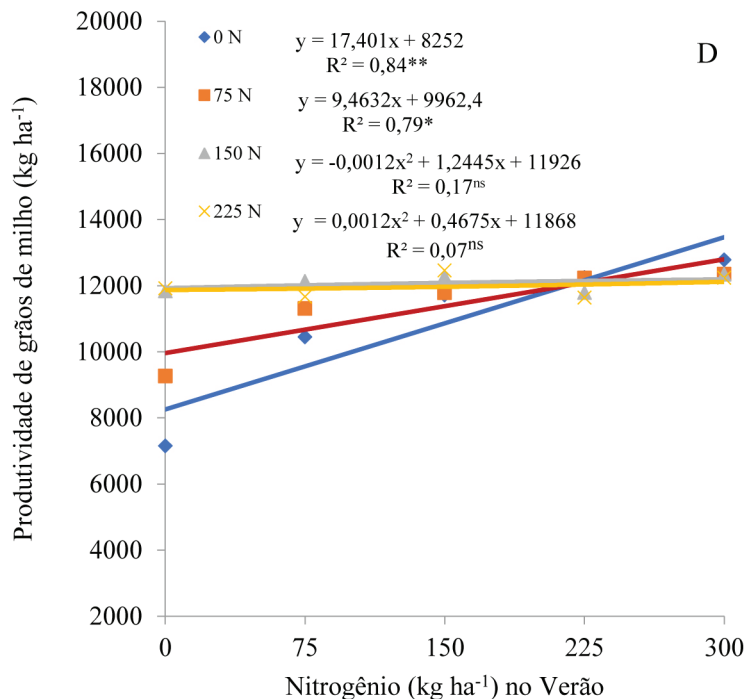
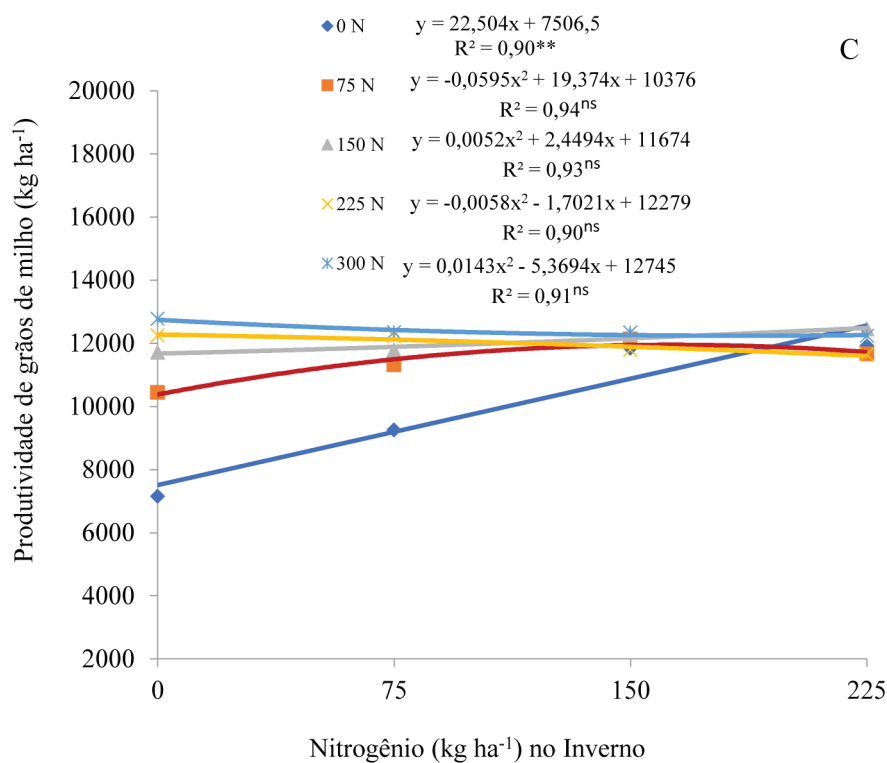


Figura 2. Produtividade de grãos de milho sob interação das doses de Inverno, Pré-semeadura e Verão, com a dose 75 kg ha⁻¹ de N Pré-semeadura (A e B). Guarapuava-PR, 2012.

N, respectivamente, na Figura 2B. Constataram-se os efeitos dessas doses de Verão (V) sobre as doses de Inverno (I), demonstrando que, dependendo da quantidade de N utilizado no inverno, associada à aplicação nitrogenada em pré-semeadura, faz-se necessária aplicações nitrogenadas na cultura do milho. Com exceção das doses 150 e 225 kg ha⁻¹ de N no Inverno (I), as quais revelam que a utilização de 75 kg ha⁻¹ de N, em pré-semeadura, é válida para não precisar realizar aplicações nitrogenadas no verão, quando utilizadas altas doses de N no inverno, correspondendo à produtividade de 11.837 e 11.913 kg ha⁻¹ de grãos de milho.

Quanto aos componentes de rendimento, para o número de grãos por fileira (GF) são apresentadas respostas significativas para os fatores Inverno (I), Verão (V) e para a interação Pré-semeadura x Inverno (PS x I), como se observam nas Figuras 3A, 3B e 3C. Para o fator Inverno (I), o número de grãos por fileira apresentou resposta quadrática, tendo-se obtido coeficiente de determinação (R²) muito estreito (0,99). Isso demonstra que a adubação nitrogenada exerceu forte influência no número de grãos por fileira, até a dose 150 kg ha⁻¹. Quando o N foi aplicado em cobertura no milho (V) também se obteve resposta quadrática, diferindo de Caires e Milla (2016), que obtiveram resposta linear com as doses de N aplicadas em cobertura no milho. Para a interação Pré-semeadura x Inverno (PS x I), notou-se a comportamento quadrático e significativo para a dose 0 kg ha⁻¹ de N em Pré-semeadura sobre o Inverno, sendo não significativo quando adicionado 75 kg ha⁻¹ de N em pré-semeadura.

A massa de 1.000 grãos (MMG) também sofreu influência dos fatores Inverno (I), Verão (V) e da interação Pré-semeadura x Inverno (I) (Figuras 4A, 4B e 4C). Para todos, observou-se comportamento quadrático e significativo, indicando que a massa de 1.000 grãos (MMG) foi influenciada positivamente

pela aplicação nitrogenada. Em vários estudos, foram observados resultados semelhantes, com aumento significativo na massa de 1.000 grãos de milho quando se aumentou a dose de N (Melo et al., 2011; Caires & Milla, 2016). Doses mais altas de N mantêm as folhas fisiologicamente ativas por mais tempo, prolongando a duração do período de enchimento de grãos e favorecendo a produção de grãos mais pesados (Silva et al., 2005).

Os teores de N na folha (TN) apresentaram significância para os fatores Inverno (I), com resposta linear, conforme o aumento da aplicação nitrogenada na pastagem. Gomes et al. (2007), Mota et al. (2015) e Caires e Milla (2016) também observaram elevação linear no teor de N das folhas, em resposta ao incremento de doses de N no milho. O crescimento das plantas de milho é diretamente dependente da área fotossintética, a qual tem uma estreita relação com a extensão da área foliar e o tempo de permanência das folhas em plena atividade fotossintética (Gomes et al., 2007). Por esse motivo, quando se aumentam as doses de N na pastagem de inverno, o teor de N nas folhas de milho também é aumentado, podendo maximizar o processo fotossintético e, conseqüentemente, a produtividade de grãos. Para o Verão (V), a resposta foi quadrática, corroborando com Melo et al. (2011). Para a Pré-semeadura (PS), não foi possível realizar o gráfico, porém, o Teste de Tukey indicou que houve diferença para as médias 39,37 e 41,2 g kg⁻¹, para as doses 0 e 75 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Isso indica que a aplicação nitrogenada em Pré-semeadura (PS) contribuiu para o acréscimo das concentrações de N-NH₄⁺ (Figuras 5A e 5B). As médias dos teores de N foliar para o Inverno (I), Verão (V) e Pré-semeadura (PS) foram, respectivamente, 40,28; 40,29 e 40,28 g kg ha⁻¹. Os resultados são semelhantes aos de Pariz et al. (2011), em que adubação nitrogenada na

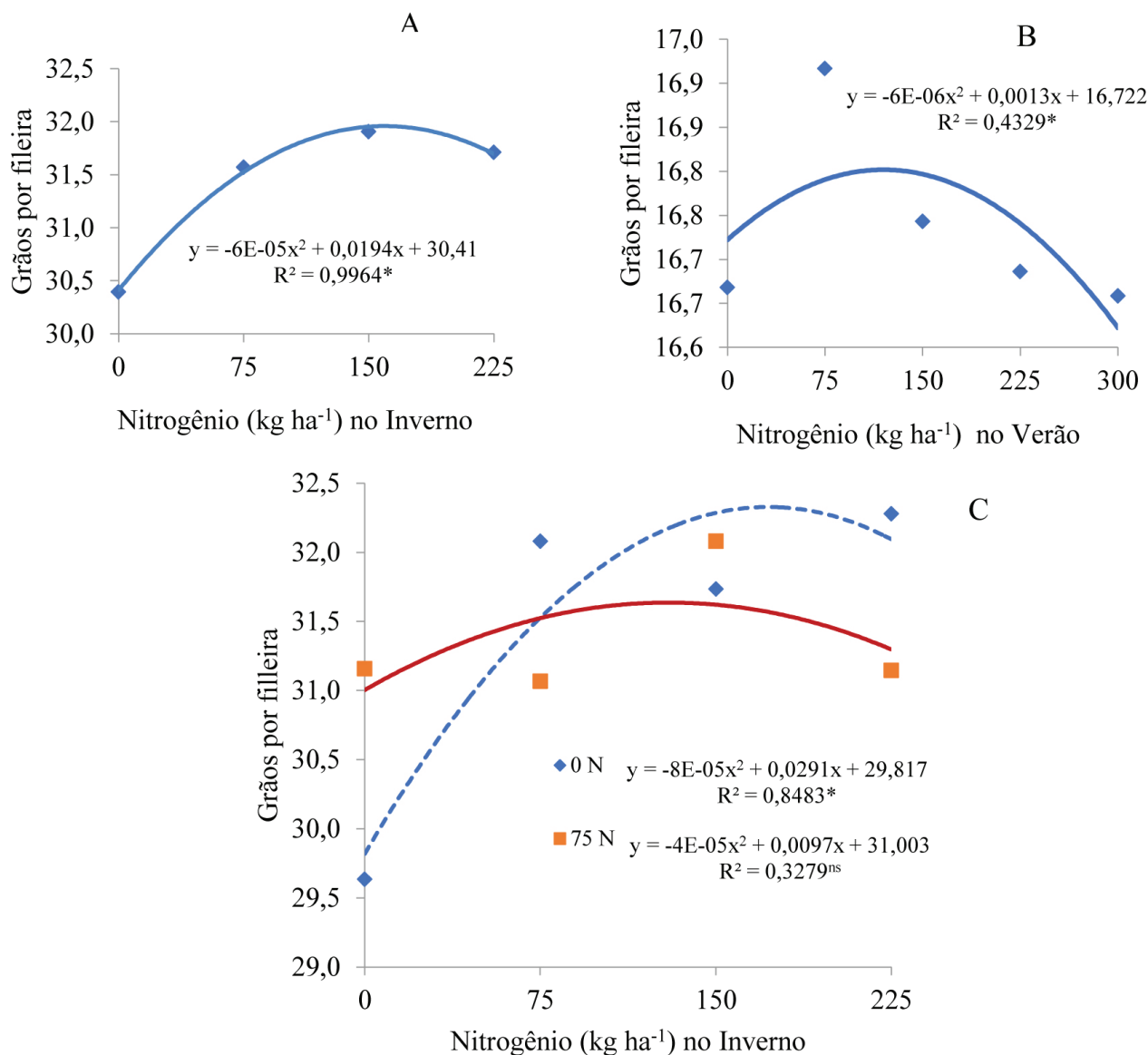


Figura 3. Número de grãos por fileira de milho sob as doses de N aplicadas no Inverno (A), no Verão (B) e sob a interação das doses das de Pré-semeadura e Verão (C). Guarapuava-PR, 2012.

pastagem influenciou o teor de N foliar da cultura do milho em sucessão.

No que se refere aos teores de clorofilas totais (TCT), verificou-se significância para a interação Pré-semeadura x Verão (PS x V). Pela Figura 5C, onde está representada a leitura (em unidades ICF) da clorofila total das folhas de milho, em função das

doses de N aplicado no Verão (V), observou-se comportamento quadrático para clorofila total. Resultados obtidos por Mota et al. (2015) mostram incremento linear do TCT nas folhas de milho em resposta à elevação das doses.

Na Figura 5D, observou-se resposta quadrática para a interação Pré-semeadura (PS) x Verão (V),

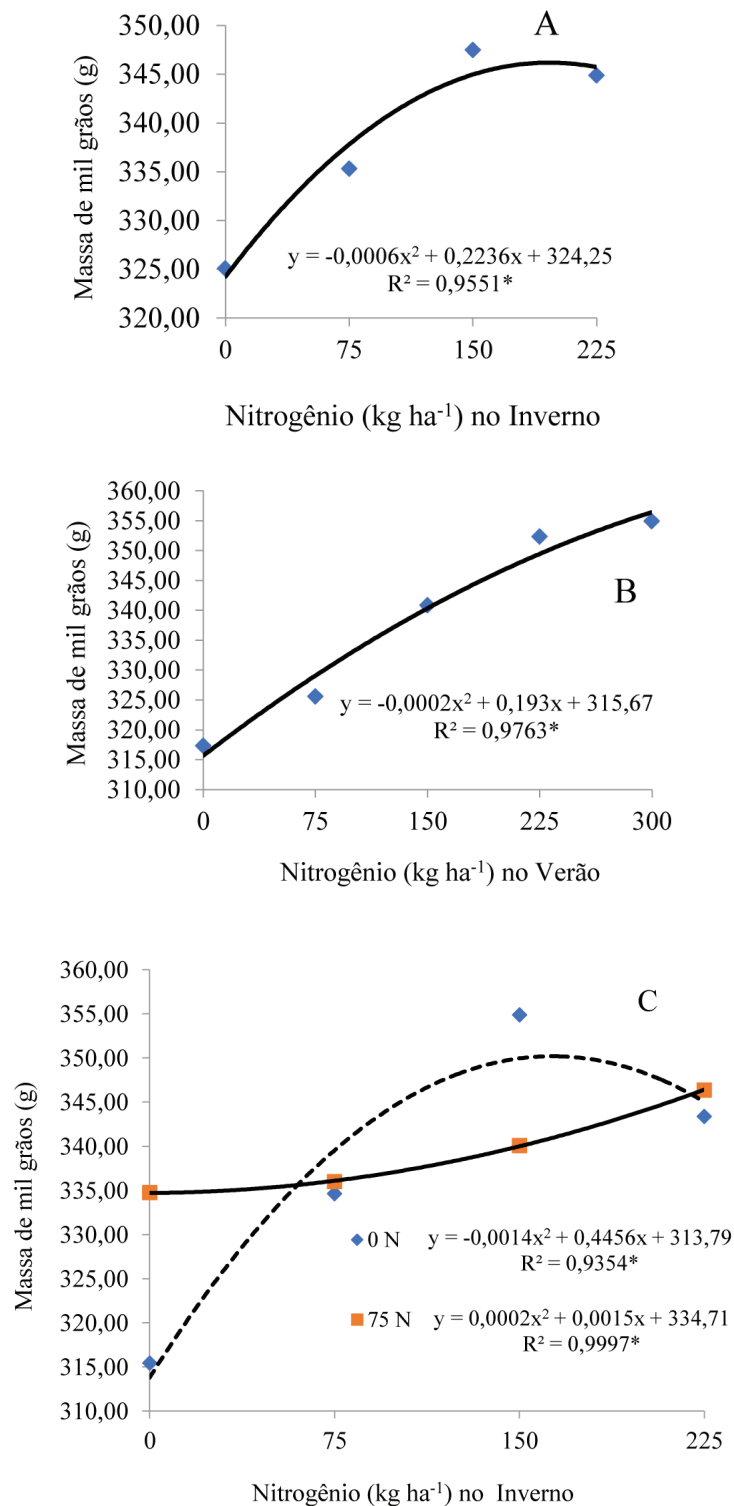


Figura 4. Massa de 1.000 grãos de milho sob as doses de N aplicadas no Inverno (A), no Verão (B) e sob a interação das doses das de Pré-semeadura e Inverno (C). Guarapuava-PR, 2012.

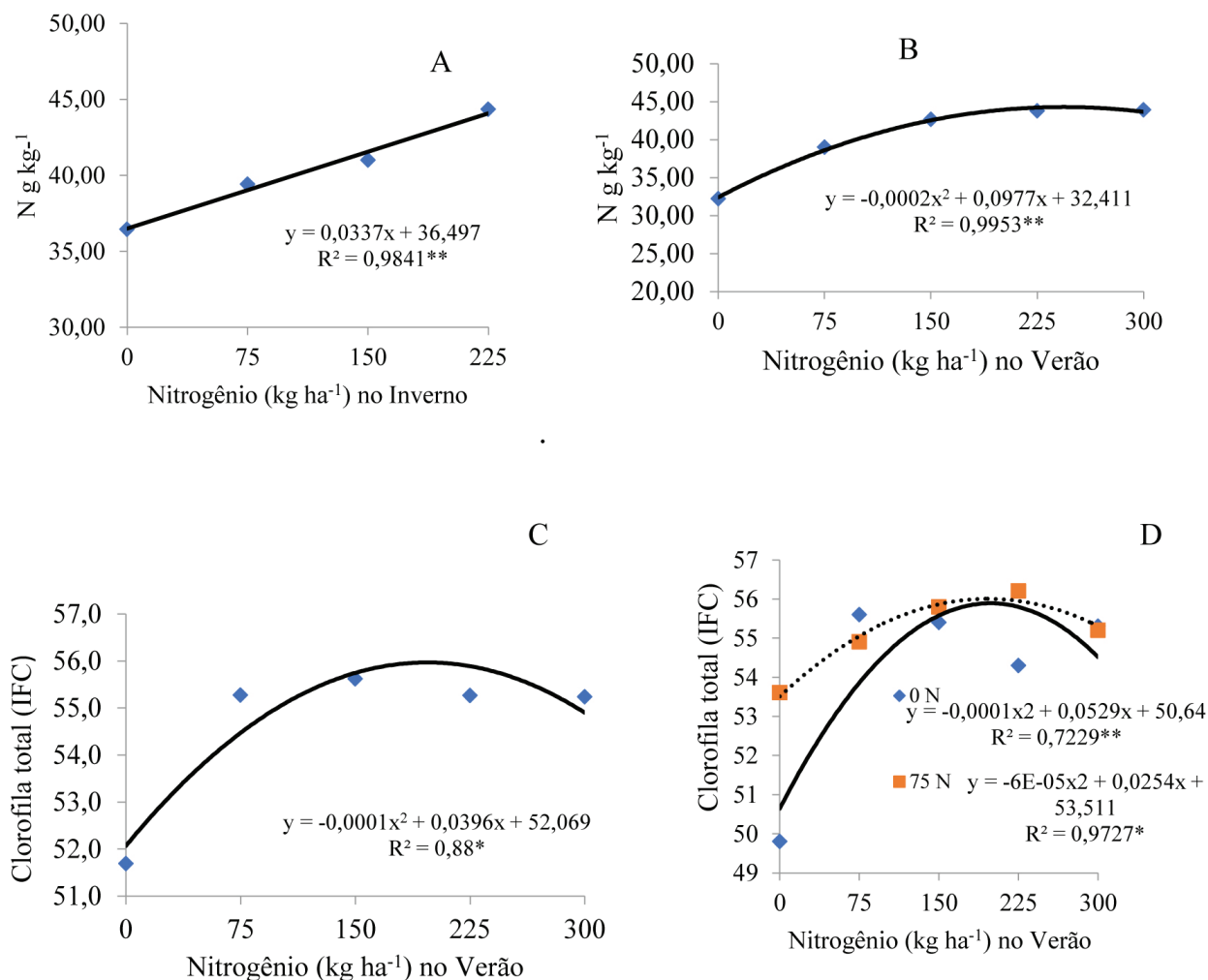


Figura 5. Teor de N foliar de milho sob as doses de N aplicadas no Inverno (A) e Verão (B) e teor relativo de clorofila total em folhas de milho sob as doses de N aplicadas no Verão (C) e sob a interação Pré-semeadura e Verão (D). Guarapuava-PR, 2012.

com aumento do teor de clorofila total nas folhas de milho pela aplicação de 75 kg ha⁻¹ de N em Pré-semeadura (PS), correspondendo à média de 55,2 para este tratamento e de 54,1 para a dose 0 de N em Pré-semeadura (PS). O teor de clorofila pode ser usado como um indicador de níveis de nitrogênio na planta, além de proporcionar uma boa correlação com o rendimento de algumas culturas,

como no caso do milho (Rambo et al., 2007). A dose de 225 kg ha⁻¹ de N no Verão (V) com 75 kg ha⁻¹ de N em Pré-semeadura (PS), apresentou o maior incremento na formação de clorofila nas folhas de milho, com 56,2 (ICF), sendo que a partir desta dose houve diminuição da formação da clorofila, indicando que a planta não respondeu a altas doses de N. Observou-se, então, que hou-

ve efeito significativo de N sobre o teor de N na folha e sobre o TCT na folha-índice. Esse efeito da aplicação nitrogenada sobre ambas indica que as quantidades de N absorvidas pela planta até o florescimento foram diferentes para as épocas de aplicação testadas no trabalho.

A análise de correlação de Pearson (r) entre as variáveis teor de N foliar (TN) e teor de clorofila total na folha (TCT), com a produtividade de grãos de milho, foi significativa para os diferentes tratamentos aplicados no Inverno (I), Pré-secmeadura (PS) e Verão (V), conforme Tabela 2. Evidenciou-se que a produtividade de grãos (PG) teve correlação forte com os teores de clorofila total (TCT) para o fator Inverno; correlação perfeita para o fator Pré-secmeadura em que $r = 1$ e para o fator Verão teve correlação forte. Foi apresentada também correlação forte entre a variável produtividade e N foliar (TN) no fator Inverno e, novamente, para o fator Pré-secmeadura a correlação foi perfeita ($r = 1$) e correlação forte no fator Verão. As leituras do clorofilômetro referentes aos teores de clorofila total correlacio-

naram-se positivamente com o teor de N na folha, sendo próximos aos resultados obtidos por Basi (2013), em que a leitura do clorofilômetro e o teor de N na folha foram fortemente correlacionados ($r = 0,98$), sendo que neste experimento a correlação foi perfeita no fator Pré-secmeadura, evidenciando a correlação existente entre o teor de clorofila na folha e N foliar. Netto (2012) também constatou alta correlação entre o teor de N foliar e a leitura do índice TCT foliar medida pelo clorofilômetro, atribuindo essa correlação ao fato de que mais de 50% do N presente nas folhas faz parte das moléculas de clorofila. Assim, a correlação entre o teor de clorofila total, com o teor de N foliar, e estes com a produtividade, mostra a importância de aplicar o N a fim de promover melhor aproveitamento pela planta que irá responder em produtividade.

Com esses resultados, pode-se afirmar que a dinâmica do nitrogênio em uma área de SIPA, e, conseqüentemente, a eficiência de uso desse elemento pela cultura do milho, é dependente da quantidade e época de aplicação do fertilizante.

Tabela 2. Correlação de Pearson (r) entre as variáveis: produtividade de grãos de milho (PG), teor de clorofila total na folha (TCT), teor de N foliar (TN). Guarapuava, PR, 2012.

Inverno (I)		
Variáveis	TCT	TN
PG	0,93	0,97
TCT	-	0,94
Pré-secmeadura (PS)		
Variáveis	TCT	TN
PG	1	1
TCT	-	1
Verão (V)		
Variáveis	TCT	TN
PG	0,93	0,99
TCT	-	0,91

0,75 < r < 1,00: correlação forte positiva e perfeita positiva se $r = 1$, de acordo com Vieira, 2011.

Conclusões

A adubação nitrogenada promove incrementos na produtividade de milho em um sistema integrado de produção agropecuária, pastejado por ovinos.

A estratégia de indicação de N para a cultura do milho baseada na aplicação de 150 ou 225 kg ha⁻¹ de N na pastagem de inverno associada a 75 kg ha⁻¹ de N em pré-semeadura do milho mostra-se adequada, conforme evidenciado na produtividade de grãos de milho.

Agradecimentos

Ao REUNI-CNPq, pela concessão de bolsa de Doutorado à primeira autora.

Ao Projeto Redes Nacionais de Pesquisa em Agrobiodiversidade e Sustentabilidade Agropecuária -REPENSA, pelo financiamento e apoio à pesquisa.

Referências

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F. da; BORTOLINI, C. G.; FORSTHOFER, E. L.; STRIEDER, M. L. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 13, n. 2, p. 158-167, 2001. DOI: [10.1590/S0103-31312001000200005](https://doi.org/10.1590/S0103-31312001000200005).

ASSMANN, T. S.; RONZELLI JÚNIOR, P.; MORAES, A.; ASSMANN, A. L.; KOEHLER, H. S.; SANDINI, I. Rendimento de milho em área de integração lavoura-pecuária sob o sistema plantio direto, em presença, a e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, n. 4, p. 675-683, 2003. DOI: [10.1590/S0100-06832003000400012](https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000400012).

BALBINOT JÚNIOR, A. A.; MORAES, de A.; VEIGA, M.; PELISSARI, A.; DIECKOW, J. Integração lavoura-pecuária: intensificação do uso de áreas agrícolas. **Ciência**

Rural, Santa Maria, v. 39, n. 6, p. 1925-1933, 2009. DOI: [10.1590/S0103-84782009005000107](https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000107).

BASI, S. **Associação de *Azospirillum brasilense* e de nitrogênio em cobertura na cultura de milho**. 2013. 50 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2013.

BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V. Dinâmica do nitrogênio no solo, pré-culturas e o manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho em plantio direto. In: FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C. (Ed.). **Manejo e fertilidade de solos em plantio direto**. Guarapuava: Fundação Agrária, 2006. p. 61-89.

CAIRES, E. F.; MILLA, R. Adubação nitrogenada em cobertura para o cultivo de milho com alto potencial produtivo em sistema plantio direto de longa duração. **Bragantia**, Campinas, v. 75, n. 1, p. 87-95, 2016.

CARVALHO, P. C. F.; MORAES, A.; PONTES, L. S.; ANGHINONI, I.; SULC, R. M.; BATELLO, C. Definições e terminologias para Sistema Integrado de Produção Agropecuária. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, p. 1040-1046, 2014. DOI: [10.1590/S1806-66902014000500020](https://doi.org/10.1590/S1806-66902014000500020).

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. de. Cartas climáticas do Paraná. Londrina: IAPAR, 2000. 1 CD-ROM. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>>. Acesso em: 22 maio 2017.

COELHO, A. M. **Manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007. 11 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 96).

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Séries históricas de área plantada, produtividade e produção, relativas às safras 1976/77 a 2015/16 de grãos, 2001 a 2016 de café, 2005/06 a 2016/17 de cana-de-açúcar**. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252>>. Acesso em: 23 maio 2017.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **An internacional consultation on integrated**

- crop-livestock systems for development: the way forward for sustainable production intensification.** Roma, 2010. v. 13.
- FALKER AUTOMAÇÃO AGRÍCOLA LTDA. **Manual do medidor eletrônico de clorofila ClorofiLOG CFL 1030.** Porto Alegre, 2008. 4 p.
- FERNANDES, F. C. S.; BUZETTI, S.; ARF, O.; ANDRADE, J. A. C. Doses, eficiência e uso de nitrogênio por seis cultivares de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 4, n. 2, p. 195-204, 2005. DOI: [10.18512/1980-6477/rbms.v4n2p195-204](https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v4n2p195-204).
- 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**, Campinas, v. 33, n. 6, p. 1721-1732, 2009. DOI: [10.1590/S0100-06832009000600021](https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000600021).
- GOMES, R. F.; SILVA, A. G. da; ASSIS, R. L.; PIRES, F. R. Efeito de doses e época de aplicação de nitrogênio nos caracteres agrônômicos da cultura do milho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p. 931-938, 2007. DOI: [10.1590/S0100-06832007000500010](https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000500010).
- MELO, F. de B.; CORÁ, J. E.; CARDOSO, M. J. Fertilização nitrogenada, densidade de plantas e rendimento de milho cultivado no sistema plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 1, p. 27-31, 2011. DOI: [10.1590/S1806-66902011000100004](https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000100004).
- MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; ANGHINONI, I.; LUSTOSA, S. B. C.; COSTA, S. V.; KUNRATH, T. R. Integrated crop-livestock systems in the Brazilian subtropics. **European Journal of Agronomy**, v. 57, p. 4-9, 2014. DOI: [10.1016/j.eja.2013.10.004](https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.10.004).
- MOTA, M. R.; SANGOI, L.; SCHENATTO, D. E.; DALL'IGNA, L. Fontes estabilizadas de nitrogênio como alternativa para aumentar o rendimento de grãos e a eficiência de uso do nitrogênio pelo milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 39, n. 2, p. 512-522, 2015. DOI: [10.1590/01000683rbcs20140308](https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20140308).
- MOTT, G. E.; LUCAS, H. L. The design, conduct en interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 6., 1952, State College. **Proceedings...** State College: Pennsylvania State College, 1952. p. 1380-1395.
- NETTO, A. P. C. Efeito de diferentes fontes de nitrogênio no teor de clorofila em diferentes híbridos de milho cultivados em segunda safra. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29., 2012, Águas de Lindóia. **Diversidade e inovações na era dos transgênicos: resumos expandidos.** Campinas: Instituto Agronômico; Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2012. 1 CD-ROM.
- NOVAKOWISKI, J. H.; SANDINI, I. E.; NOVAKOWISKI, J. H. Efeito residual da adubação nitrogenada e inoculação de Azospirillum brasilense na cultura do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, p. 1687-1698, 2011. Suplemento 1. DOI: [10.5433/1679-0359.2011v32n4Sup1p1687](https://doi.org/10.5433/1679-0359.2011v32n4Sup1p1687).
- PARIZ, C. M.; ANDREOTTI, M.; MELLO, L. M.; LIMA, R. C. Produtividade de grãos de milho e massa seca de braquiárias em consórcio no sistema de integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 5, p. 875-882, 2011. DOI: [10.1590/S0103-84782011000500023](https://doi.org/10.1590/S0103-84782011000500023).
- PAVINATO, P. S.; CERETTA, C. A.; GIROTTO, E.; MOREIRA, I. C. L. Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 358-364, 2008. DOI: [10.1590/S0103-84782008000200010](https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000200010).
- RAMBO, L.; SILVA, P. R. F.; STRIEDER, M. L.; SANGOI, L.; BAYER, C.; ARGENTA, G. Monitoramento do nitrogênio na planta e no solo para predição da adubação nitrogenada em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 3, p. 407-417, 2007. DOI: [10.1590/S0100-204X2007000300015](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000300015).
- SALTON, J. C.; MERCANTE, F. M.; TOMAZI, M.; ZANATTA, J. A.; CONCEÇO, G.; SILVA, W. M.; RETORE, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: toward a sustainable production system.

Agriculture, Ecosystems & Environment, v. 190, n. 1, p. 70-79, 2014. DOI : [10.1016/j.agee.2013.09.023](https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.09.023).

SANDINI, I. E.; MORAES, A.; PELISSARI, A.; NEUMANN, M.; FALBO, M. K.; NOVAKOWISKI, J. H. Efeito residual do nitrogênio na cultura do milho no sistema de produção integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 8, p. 1315-1322, 2011. DOI: [10.1590/S0103-84782011005000099](https://doi.org/10.1590/S0103-84782011005000099).

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

SILVA, F. C. da. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 627 p.

SILVA, E. C.; FERREIRA, S. M.; SILVA, G. P.; ASSIS, R. L.; GUIMARÃES, G. L. Épocas e formas de aplicação de nitrogênio no milho sob plantio direto em solo de cerrado.

Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 29, n. 5, p. 725-733, 2005. DOI: [10.1590/S0100-06832005000500008](https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000500008).

SILVEIRA, E. R.; PELISSARI, A.; MORAES, A. de; PIAZZETTA, H. von L.; LANG, C. R.; CARVALHO, P. C. de F. Intensidade de pastejo e adubação nitrogenada na massa seca de aveia e produtividade do milho na integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 4, p. 1323-1332, 2012. DOI: [10.5433/1679-0359.2012v33n4p1323](https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n4p1323).

STORCK, L.; GARCIA, D. C.; LOPES, S. J. **Experimentação vegetal**. Santa Maria: UFSM, 2000. 198 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p.

VIEIRA, S. **Introdução à bioestatística**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011. 345 p.

ZONTA, E. P.; MACHADO, A. A. **Manual do SANEST: sistema de análise estatística para microcomputadores**. Pelotas: UFPEL, 1991. 102 p.