

Índices de área foliar e SPAD da soja em função de culturas de entressafra e nitrogênio e sua relação com a produtividade

Leaf area index and SPAD of soybean after offseason crops and nitrogen fertilization, and their relation to grain yield

Anderson Hideo Yokoyama¹, Ricardo Henrique Ribeiro², Alvadi Antonio Balbinot Junior^{3,*}, Julio Cezar Franchini³, Henrique Debiassi³ e Claudemir Zucareli¹

¹ Departamento de Agronomia/Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, Brasil

² Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil

³ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Embrapa Soja, Londrina, PR, Brasil

(*E-mail: alvadi.balbinot@embrapa.br)

<http://dx.doi.org/10.19084/RCA18153>

Recebido/received: 2018.05.21

Recebido em versão revista/received in revised form: 2018.06.18

Aceite/accepted: 2018.06.21

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito de culturas de entressafra e da adubação nitrogenada na soja sobre a evolução dos índices de área foliar e SPAD da cultura, bem como a relação dessas variáveis com a produtividade de grãos. O experimento foi realizado em delineamento experimental de blocos casualizados, em parcelas subdivididas (split-plot) e cinco repetições, durante as safras 2016/17 e 2017/18. Nas parcelas foram avaliadas as culturas de entressafra, repetidas nas mesmas parcelas nas duas safras: braquiária (*Urochloa ruziziensis*), crotalária (*Crotalaria spectabilis*), milho segunda safra (*Zea mays*) com 0 e 80 kg de N ha⁻¹ em cobertura, trigo (*Triticum aestivum*) e pousio. Nas subparcelas foram avaliados os efeitos dos níveis de N aplicados na semeadura da soja (0 e 30 kg de N ha⁻¹). As culturas de entressafra influenciaram o IAF e o índice SPAD da soja nas fases de crescimento vegetativo e florescimento, mas não impactaram essas variáveis no enchimento de grãos. A aplicação de N na soja proporcionou aumento do IAF e índice SPAD somente nas fases vegetativa e de florescimento, não afetando a produtividade de grãos. Houve correlação negativa do IAF e do índice SPAD no início do florescimento com a produtividade de grãos na primeira safra, mas não na segunda.

Palavras-chave: *Glycine max* L., Sistema Plantio Direto, plantas de cobertura.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the effect of winter crops and nitrogen fertilization on the evolution of leaf area index and SPAD of soybean, as well as the relationship between these variables and grain yield of soybean. The experiment was carried out in a randomized block design with split-plot scheme and five replications during 2016/17 and 2017/18 cropping seasons. The winter crops were allocated to the plots: palisadegrass (*Urochloa ruziziensis*), crotalaria (*Crotalaria spectabilis*), maize (*Zea mays*) with 0 and 80 kg N ha⁻¹ topdressing, wheat (*Triticum aestivum*) and fallow. Two levels of N for soybean were applied at sowing time (0 and 30 kg N ha⁻¹). The winter crops influenced LAI and SPAD index in the vegetative growth and flowering phases of soybean, but during grain filling these effects were not present. The application of mineral N at sowing soybean increased the LAI and SPAD index only in the vegetative and flowering stages, without affecting grain yield. In the first cropping season, at the beginning of flowering, LAI and the SPAD index were negatively correlated with grain yield, but in the second cropping season these correlations were not present.

Keywords: *Glycine max*, no-tillage system, cover crops.

INTRODUÇÃO

No Brasil, foram cultivados aproximadamente 35 milhões de hectares com soja na safra 2017/18, alcançando produtividade média de 3.359 kg ha⁻¹, sendo a principal cultura agrícola do país (CONAB, 2018a). Na última década, o sistema de sucessão soja-milho segunda safra se consolidou no país, sobretudo em regiões tropicais que apresentam adequada disponibilidade hídrica. Essa sucessão permite o cultivo de duas safras de grãos por ano, intensificando o uso da terra, das máquinas e da mão de obra, sendo utilizada em mais de 11 milhões de hectares no país (CONAB, 2018a). No entanto, os resíduos culturais do milho podem aumentar a imobilização temporária de nitrogênio (N), em função da elevada relação carbono/nitrogênio (C/N), reduzindo a disponibilidade desse nutriente à soja cultivada em sucessão (Blanco-Canqui *et al.*, 2015).

Outra cultura comercial que pode ser usada na entressafra da soja é o trigo, especialmente em regiões subtropicais ou tropicais com altitudes superiores a 600 m. Além disso, outras culturas de cobertura do solo, como as braquiárias (Loss *et al.*, 2011) e as crotalárias (Carvalho *et al.*, 2013), podem ser usadas na entressafra da soja, com objetivo de melhorar a qualidade do solo e/ou reduzir problemas fitossanitários. Contudo há carência de informações na literatura sobre o impacto dessas culturas na soja semeada em sucessão. Adicionalmente, em várias regiões do país há predomínio do pousio na entressafra da soja, acarretando aumento da erosão, degradação da qualidade do solo e aumento da ocorrência de plantas daninhas de difícil controle (Moraes *et al.*, 2013).

As culturas utilizadas na entressafra da soja alteram a quantidade e a qualidade da biomassa produzida, podendo impactar no desempenho da soja em sucessão (Balbinot Junior *et al.*, 2011). A produção de resíduos com distintas relações C/N pode alterar a quantidade de N imobilizado durante o processo de decomposição e, com isso, influenciar a fixação simbiótica de N e a resposta da cultura da soja à adubação mineral nitrogenada realizada na implantação da cultura.

Uma alternativa para acelerar o crescimento da soja é a aplicação de N na semeadura. Todavia,

estudos mostram que a fertilização com N mineral na implantação da cultura pode aumentar o crescimento das plantas no período vegetativo, porém sem incrementos na produtividade de grãos (Franchini *et al.*, 2015a; Hungria e Mendes, 2015; Werner *et al.*, 2016). Esses trabalhos indicam que é possível que a fertilização com N mineral na implantação da soja aumente o Índice de Área Foliar (IAF) e o índice *Soil Plant Analysis Development* (SPAD) na fase vegetativa, sem que isso impacte na produtividade de grãos.

O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito de culturas de entressafra e da adubação nitrogenada na soja sobre a evolução dos índices de área foliar e SPAD, bem como a relação dessas variáveis com a produtividade de grãos.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da área experimental

O experimento foi conduzido em duas safras, de março de 2016 a março de 2018, na Fazenda Experimental da Embrapa Soja, Londrina, PR (23°11'37"S 51°11'03"W, com altitude de 630 m). O clima é descrito como subtropical (Cfa), de acordo com a classificação de Köppen e os dados de precipitação pluvial e temperatura do período experimental são apresentados na Figura 1, obtidos em estação meteorológica a 500 metros do experimento.

O solo da área experimental foi classificado como latossolo vermelho distroférico (Santos *et al.*, 2013), com os seguintes atributos físicos e químicos analisados na camada de 0-20 cm: 710 g de argila kg⁻¹, 82 g de limo kg⁻¹ e 208 g de areia kg⁻¹; C (Walkley Black) – 17,76 g kg⁻¹; pH em CaCl₂ 5,07; H⁺ + Al³⁺ (SMP) – 5,15 cmol_c kg⁻¹; K⁺ (Mehlich – 1) – 0,85 cmol_c kg⁻¹; P (Mehlich – 1) – 36,95 mg kg⁻¹; Ca²⁺ (KCl) – 4,41 cmol_c kg⁻¹ e Mg²⁺ (KCl) – 1,52 cmol_c kg⁻¹.

A cobertura vegetal anterior na área foi milheto (*Pennisetum glaucum*), manejada 15 dias antes da semeadura das culturas de entressafra, com glyphosate (1.080 g ha⁻¹ de s.a.) e carfentrazone-ethyl (30 g ha⁻¹ de s.a.).

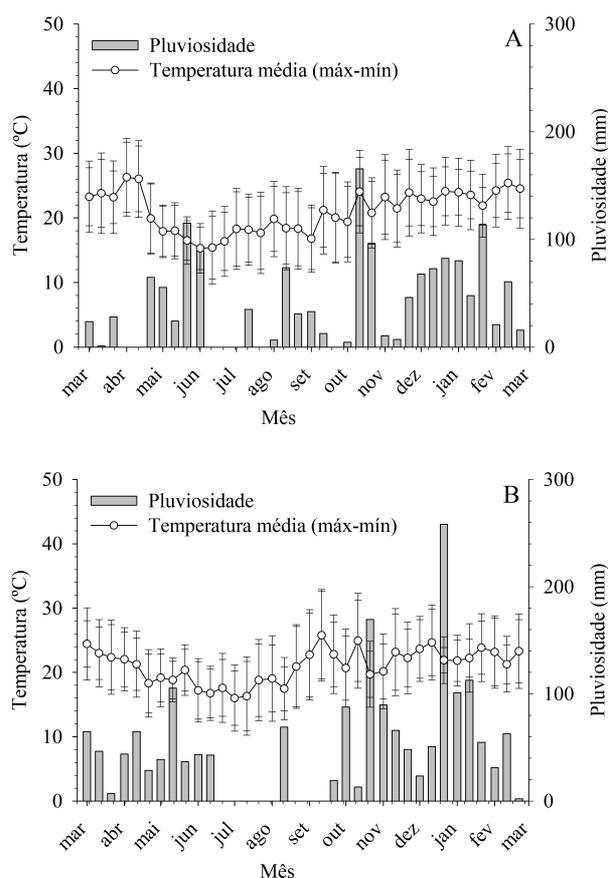


Figura 1 - Precipitação pluvial e temperatura média do ar, com máximas e mínimas, durante o período experimental de: A - março de 2016 a março de 2017 e B - março de 2017 à março de 2018, obtidos da estação meteorológica da Embrapa. Londrina-PR.

Delimitação experimental e manejo

O delineamento experimental foi em blocos completos casualizados, em parcelas subdivididas (*split-plot*) e cinco repetições. Nas parcelas (5,0 x 8,0 m), foram dispostas seis culturas de entressafra: 1 - pousio (área mantida sem presença de plantas entre duas safras de soja), 2 - braquiária (*Urochloa ruziziensis*), 3 - crotalária (*Crotalaria spectabilis*), 4 - milho segunda safra (*Zea mays*) com 0 kg ha⁻¹ de N em cobertura, 5 - milho segunda safra com 80 kg ha⁻¹ de N em cobertura e, 6 - trigo (*Triticum aestivum*) sem N em cobertura. Nas subparcelas (2,5 x 8,0 m), foram alocadas duas doses de N mineral na implantação da soja (0 e 30 kg de N ha⁻¹), na forma de nitrato de amônio (34% de N), a lanço. Os tratamentos foram repetidos nas mesmas parcelas nas duas safras.

Para ambas as safras, a semeadura das culturas do milho, braquiária e crotalária foi realizada em março e a do trigo em abril. O híbrido de milho AG 9010 YG foi semeado com espaçamento entre linhas de 0,90 m, com 55 mil plantas ha⁻¹. A braquiária, a crotalária e o trigo, cultivar BRS Galha Azul, foram semeados em espaçamento de 0,17 m, com 50, 40 e 60 sementes m⁻¹, respectivamente. A adubação de base para o milho e o trigo foi de 260 e 300 kg ha⁻¹ do fertilizante 08-28-16 (N-P₂O₅-K₂O), respectivamente. Na braquiária e crotalária não foi realizada adubação de base ou de cobertura. A fonte de N utilizada em cobertura no milho (80 kg ha⁻¹ de N) foi a ureia (45% N), aplicada no estágio V6 (seis folhas expandidas). No trigo não foi realizada adubação nitrogenada de cobertura. O milho e o trigo foram colhidos em setembro. A área total foi dessecada em outubro, com glyphosate (1.080 g ha⁻¹ de i.a.), a fim de permitir a semeadura da soja em Sistema Plantio Direto (SPD).

Nas duas safras, foi utilizada a cultivar de soja BRS 1010IPRO, que apresenta tipo de crescimento indeterminado e grupo de maturidade relativa 6.1, sendo semeada em meados de outubro, com espaçamento de 0,45 m entre linhas e com densidade de 300 mil plantas ha⁻¹. As sementes utilizadas apresentavam poder germinativo de 96%, sendo tratadas com Standak Top® (1 mL kg⁻¹ de sementes) e inoculante líquido Gelfix 5®, contendo *Bradyrhizobium elkanii* (2 mL kg⁻¹ de sementes). Foram utilizados na semeadura 350 kg ha⁻¹ do adubo formulado 0-20-20 (N-P₂O₅-K₂O). O controle de doenças, pragas e plantas daninhas foi efetuado conforme as recomendações técnicas para a cultura.

Avaliações

A cobertura vegetal proporcionada pelas culturas de entressafra foi avaliada por meio da coleta do material em 1 m² por parcela, 20 dias antes da semeadura da soja, com posterior secagem em estufa a 65 °C até massa constante, sendo os dados extrapolados para kg ha⁻¹. O índice de área foliar (IAF) da soja foi determinado com um analisador de dossel de plantas LI-COR® LAI-2200, com a adoção de cinco posições de leitura no interior do dossel, sendo três na linha e duas na entrelinha da área útil da parcela. O índice *Soil Plant Analysis Development* (SPAD) foi avaliado com o

clorofilômetro Konica Minolta® SPAD 502 plus, o qual possui elevada correlação com o teor relativo de clorofila (Sant'Ana *et al.*, 2010). Para esta avaliação foi amostrada a terceira folha do ápice para a base nos folíolos centrais, em dez plantas por subparcela. As avaliações de IAF e SPAD foram realizadas nos estádios fenológicos V5, V6, R1, R3, R4, R5.1, R5.3, R5.4, R6 e R7 na safra 2016/17 e nos estádios V5, V7, R1, R2, R3, R4, R5.1, R5.3 e R6 na safra 2017/18 (Fehr e Caviness, 1977). A produtividade foi determinada em R8, por meio da colheita dos grãos da área útil (1,35 x 6,00 m), extrapolada para kg ha⁻¹ e corrigida para 13% de umidade.

Análise estatística

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade (Shapiro-Wylk) e homocedasticidade (Hartley) de variâncias e mostraram-se aptos à ANOVA. Em seguida, aplicou-se a análise de variância e teste F ($p \leq 0,05$). Quando constatado efeito significativo dos tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Adicionalmente, foi realizada análise de correlação linear de Pearson ($p \leq 0,05$) entre a produtividade de grãos da soja, IAF e SPAD.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Massa seca da cobertura vegetal

Em junho de 2016 ocorreu geada na área experimental, matando as plantas de crotalária, as quais tiveram sua massa da parte área totalmente decomposta até a coleta da palha. Alvarenga *et al.* (2001) mencionam que as leguminosas comumente apresentam palha com baixa relação C/N, o que favorece a rápida decomposição. Em função das baixas

temperaturas observadas em 2016, o crescimento das plantas de milho foi reduzido, enquanto o do trigo foi favorecido. Em função da geada, a quantidade de palha acumulada pela braquiária não foi elevada, visto que houve morte em função do frio, o que não ocorreu no caso do trigo. Nesse sentido, na safra 2016/17, o milho cultivado sem N em cobertura acumulou menor quantidade de massa seca que o trigo e não se diferenciou do milho com N em cobertura e braquiária (Quadro 1).

Na safra 2017/18, a braquiária, a crotalária e o trigo produziram quantidades de palha inferiores ao milho, com ou sem N (Quadro 1). Salienta-se que sob a ótica do manejo do solo em SPD, a elevada quantidade de palha produzida, com alta porcentagem de cobertura do solo é fundamental para a sustentabilidade do SPD, pois reduz a amplitude térmica do solo, melhora a manutenção hídrica do solo, protege contra a erosão, reduz a incidência de plantas daninhas (Carvalho *et al.*, 2013) e pode aumentar a produtividade da soja (Balbinot Junior *et al.*, 2017).

Índice de área foliar

Não houve interação entre as culturas de entressafra e a aplicação de N na implantação da cultura da soja em sucessão para o IAF da soja, exceto para o estádio R4 da primeira safra (2016/17) (Quadro 2). Em R4, a soja após o trigo resultou em menores valores de IAF do que as demais culturas de entressafra. A adubação com N mineral na semeadura incrementou significativamente o IAF da soja em sucessão ao trigo em relação à ausência de N.

Nas duas safras, os maiores efeitos das culturas de entressafra e da adubação nitrogenada na soja

Quadro 1 - Médias da massa seca da palhada das culturas de entressafra (kg ha⁻¹), de duas safras, em um período de 20 dias anteriores à semeadura da soja. Londrina, PR

| Safra | Massa seca da palhada das culturas de entressafra (kg ha ⁻¹) | | | | | | CV(%) |
|---------|--|------------|-----------|------------|---------|--------|-------|
| | Braquiária | Crotalária | Milho 0 N | Milho 80 N | Pousio | Trigo | |
| 2016/17 | 3430ab | ausente | 2462b | 2764ab | ausente | 4753a | 33,8 |
| 2017/18 | 2902cd | 1545d | 5010ab | 6382a | ausente | 2673cd | 23,6 |

Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Milho 0 N = milho segunda safra sem adubação nitrogenada de cobertura. Milho 80 N = milho segunda safra com 80 kg de N ha⁻¹.

sobre o IAF da oleaginosa ocorreram até a fase de formação das vagens. Na safra 2016/17, em V5, o IAF da soja cultivada após o trigo foi inferior à soja cultivada após o milho com N (Quadro 2). Nos estádios R1 e R3, a soja cultivada em sucessão ao trigo apresentou menor IAF, comparativamente aos demais tratamentos, que não diferiram entre si. É possível que a maior quantidade de palhada do trigo (Quadro 1) tenha provocado maior imobilização temporária de N, reduzindo a disponibilidade desse nutriente à soja, sobretudo na fase vegetativa da cultura. Do estádio R5.1 a R7, o IAF da soja praticamente não variou em função das culturas de entressafra, com exceção de R6, em que a soja após braquiária, milho com N e trigo apresentou valores de IAF superiores ao medido após pousio.

Na safra 2017/18, ocorreram diferenças significativas de IAF da soja em função das culturas de entressafra nos estádios V7, R1, R3 e R4. Em V7, a crotalária proporcionou maior IAF na soja em relação à braquiária e ao pousio. Em R1, a soja após crotalária apresentou maior IAF do que após o milho sem N e o pousio. Já, em R3, o IAF da soja após pousio foi inferior aos obtidos após as demais culturas de entressafra, sem diferir do milho sem N. Em R4, os valores de IAF na soja cultivada após o milho adubado com N e após o pousio foram inferiores à soja cultivada após a crotalária. Embora a produção de biomassa pela crotalária tenha sido menor em relação às outras culturas de entressafra, foi a que permitiu maior crescimento foliar pela soja na segunda safra avaliada. Isso pode estar relacionado com a rápida mineralização do

Quadro 2 - Índice de área foliar (IAF) da soja durante o ciclo de desenvolvimento da cultura, em função de culturas de entressafra e de adubação nitrogenada na semeadura da soja em duas safras. Londrina, PR

| Índice de área foliar da soja - IAF | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|------------|------------|-----------|------------|--------|-------|------|------|-------|------|
| 2016/17 | V5 | V6 | R1 | R3 | R4 | R5.1 | R5.3 | R5.4 | R6 | R7 |
| Braquiária | 2,3ab | 4,0 | 4,6a | 5,7a | 7,0 | 7,9 | 7,1 | 6,6 | 5,8a | 3,8 |
| Crotalária | 2,3ab | 4,1 | 4,5a | 5,8a | 7,2 | 7,7 | 6,6 | 6,4 | 5,7ab | 3,4 |
| Milho 0 N | 2,2ab | 4,0 | 4,5a | 5,6a | 7,0 | 7,6 | 6,9 | 6,6 | 5,5ab | 3,6 |
| Milho 80 N | 2,6a | 4,4 | 5,1a | 6,4a | 7,5 | 7,6 | 6,9 | 6,4 | 5,8a | 3,2 |
| Pousio | 2,3ab | 3,4 | 4,5a | 5,6a | 7,0 | 7,6 | 6,7 | 6,5 | 5,3b | 3,7 |
| Trigo | 1,7b | 3,5 | 3,0b | 4,2b | 5,7 | 7,8 | 7,1 | 6,9 | 5,9a | 3,9 |
| CV(%) | 22,6 | 20,0 | 15,0 | 14,3 | 8,0 | 3,5 | 5,0 | 5,9 | 6,4 | 22,2 |
| Soja 0 N | 2,1 | 3,6b | 4,1b | 5,3b | 6,6 | 7,7 | 6,9 | 6,6 | 5,6 | 3,6 |
| Soja 30 N | 2,3 | 4,2a | 4,6a | 5,8a | 7,2 | 7,7 | 6,8 | 6,5 | 5,7 | 3,7 |
| CV(%) | 22,5 | 23,3 | 8,0 | 7,5 | 5,6 | 3,2 | 5,0 | 6,0 | 8,2 | 13,8 |
| Interação | ns | ns | ns | ns | * | ns | ns | ns | ns | ns |
| Desdobramento para IAF da soja em R4 | | | | | | | | | | |
| | Braquiária | Crotalária | Milho 0 N | Milho 80 N | Pousio | Trigo | | | | |
| Soja 0 N | 6,8Aa | 7,1Aa | 6,8Aa | 7,4Aa | 6,8Aa | 5,0Bb | | | | |
| Soja 30 N | 7,2Aa | 7,3Aa | 7,3Aa | 7,6Aa | 7,2Aa | 6,3Ba | | | | |
| Índice de área foliar da soja - IAF | | | | | | | | | | |
| 2017/18 | V5 | V7 | R1 | R2 | R3 | R4 | R5.1 | R5.3 | R6 | |
| Braquiária | 0,9 | 1,5b | 3,3ab | 3,9 | 5,0a | 5,7ab | 7,0 | 6,9 | 5,9 | |
| Crotalária | 0,7 | 2,2a | 3,8a | 4,0 | 5,1a | 5,9a | 6,9 | 6,5 | 5,2 | |
| Milho 0 N | 0,8 | 1,6ab | 3,0b | 3,4 | 4,6ab | 5,5ab | 7,2 | 6,6 | 5,3 | |
| Milho 80 N | 0,8 | 1,7ab | 3,1ab | 3,6 | 5,0a | 5,3b | 7,2 | 6,4 | 5,6 | |
| Pousio | 0,9 | 1,5b | 3,0b | 3,3 | 4,2b | 5,2b | 6,9 | 6,5 | 5,7 | |
| Trigo | 0,9 | 1,8ab | 3,6ab | 3,9 | 5,0a | 5,4ab | 7,2 | 6,9 | 5,9 | |
| CV(%) | 59,5 | 25,2 | 14,6 | 15,1 | 11,0 | 7,3 | 9,0 | 6,8 | 10,6 | |
| Soja 0 N | 0,8 | 1,7 | 3,1b | 3,5b | 4,7b | 5,5 | 7,0 | 6,7 | 5,1 | |
| Soja 30 N | 0,8 | 1,8 | 3,5a | 3,8a | 5,0a | 5,5 | 7,1 | 6,7 | 5,6 | |
| CV(%) | 64,7 | 27,1 | 14,6 | 12,3 | 8,9 | 7,3 | 8,8 | 9,1 | 11,0 | |
| Interação | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | |

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna e pelas mesmas letras maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Milho 0 N = milho segunda safra sem adubação nitrogenada de cobertura. Milho 80 N = milho segunda safra com 80 kg de N ha⁻¹

N contido na biomassa da crotalária, em função da baixa relação C/N da palha (Alvarenga *et al.*, 2001).

A adubação nitrogenada na implantação da soja proporcionou maiores IAF da soja nos estádios V6, R1 e R3 na primeira safra e em R1, R2 e R3 na segunda safra (Quadro 2). Especialmente no estádio V5 e após R5.1 não foram observados efeitos do N sobre o IAF da cultura, como observado por Werner *et al.* (2016).

Até o estádio V5, é provável que as reservas de N na semente e o N disponível no solo foram suficientes para o desenvolvimento da planta, incluindo as folhas, já que nessa fase a taxa de acúmulo de N na biomassa da soja é menor do que nas fases de florescimento e início de enchimento de grãos (Franchini *et al.*, 2015b). Por outro lado, após o estádio R5.1, provavelmente o processo de

fixação biológica de N (FBN), juntamente com o N disponível na solução do solo, foram suficiente para sustentar a emissão e a expansão de folhas novas (Hungria *et al.*, 2006). Além disso, é necessário considerar que na fase de enchimento de grãos, o sistema radicular da soja está bem desenvolvido, maximizando a absorção de nitrogênio presente na solução do solo.

Nas duas safras, os valores máximos de IAF ocorreram somente no estádio R5.1, já que a cultivar utilizada possui tipo de crescimento indeterminado, continuando a emissão de folhas depois do início do florescimento (Quadro 2). Após o pico de IAF, não ocorreram diferenças significativas devido às culturas de entressafra e à adubação nitrogenada na soja, demonstrando a capacidade da soja em formar novas folhas durante o período de enchimento dos grãos (Procópio *et al.*, 2013).

Quadro 3 - Soil Plant Analysis Development (SPAD) da soja durante o ciclo de desenvolvimento da cultura, em função de culturas de entressafra e de adubação nitrogenada na semeadura da soja. Londrina-PR

| Soil plant analysis development - SPAD | | | | | | | | | | |
|--|--------|-------|--------|--------|------|------|------|------|-------|------|
| | V5 | V6 | R1 | R3 | R4 | R5.1 | R5.3 | R5.4 | R6 | R7 |
| 2016/17 | | | | | | | | | | |
| Braquiária | 41,1 | 37,1a | 39,1ab | 38,4bc | 36,7 | 41,1 | 50,8 | 49,6 | 44,9 | 35,9 |
| Crotalária | 40,3 | 38,3a | 39,1ab | 41,6a | 35,8 | 42,2 | 50,7 | 49,6 | 46,4 | 36,7 |
| Milho 0 N | 40,8 | 37,1a | 38,3ab | 38,9b | 36,4 | 42,1 | 45,6 | 48,9 | 44,7 | 35,9 |
| Milho 80 N | 41,6 | 38,9a | 40,0a | 41,7a | 36,3 | 41,9 | 50,4 | 49,3 | 44,8 | 35,2 |
| Pousio | 40,3 | 36,9a | 37,2b | 38,7b | 34,9 | 41,4 | 49,7 | 49,2 | 45,3 | 35,7 |
| Trigo | 40,1 | 32,3b | 32,3c | 36,4c | 35,8 | 42,0 | 49,4 | 49,3 | 45,93 | 35,8 |
| CV(%) | 3,4 | 4,4 | 4,5 | 3,9 | 5,8 | 4,5 | 11,9 | 1,7 | 5,1 | 10,2 |
| Soja 0 N | 39,8b | 35,4b | 36,2b | 38,3b | 35,8 | 41,6 | 48,3 | 49,2 | 45,4 | 36,0 |
| Soja 30 N | 41,6a | 38,1a | 38,5a | 40,3a | 36,2 | 41,9 | 50,6 | 49,4 | 45,3 | 35,7 |
| CV(%) | 3,1 | 5,1 | 3,8 | 4,7 | 4,4 | 3,8 | 12,5 | 1,3 | 4,4 | 11,1 |
| Interação | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| Soil plant analysis development - SPAD | | | | | | | | | | |
| | V5 | V7 | R1 | R2 | R3 | R4 | R5.1 | R5.3 | R6 | |
| 2017/18 | | | | | | | | | | |
| Braquiária | 34,2ab | 35,1 | 32,9ab | 38,3 | 40,5 | 38,1 | 40,0 | 46,5 | 43,2 | |
| Crotalária | 35,2a | 34,6 | 34,3a | 38,6 | 41,5 | 37,8 | 40,1 | 48,3 | 44,9 | |
| Milho 0 N | 33,4b | 34,5 | 33,1ab | 39,0 | 39,5 | 38,0 | 39,9 | 47,1 | 43,9 | |
| Milho 80 N | 35,2a | 35,0 | 33,2ab | 38,8 | 40,8 | 38,5 | 39,9 | 46,5 | 43,7 | |
| Pousio | 35,3a | 34,3 | 31,7b | 38,4 | 40,4 | 38,2 | 40,6 | 46,2 | 44,0 | |
| Trigo | 34,2ab | 34,2 | 32,8ab | 37,2 | 41,1 | 37,5 | 41,2 | 46,3 | 44,6 | |
| CV(%) | 2,8 | 5,8 | 5,5 | 4,0 | 4,5 | 5,2 | 3,9 | 4,1 | 4,7 | |
| Soja 0 N | 34,0b | 34,1b | 33,3 | 38,1 | 40,6 | 37,6 | 40,2 | 46,9 | 44,0 | |
| Soja 30 N | 35,2a | 35,1a | 32,7 | 38,6 | 40,7 | 38,4 | 40,4 | 46,7 | 44,1 | |
| CV(%) | 4,2 | 4,3 | 5,5 | 4,0 | 3,4 | 4,0 | 3,6 | 4,0 | 3,7 | |
| Interação | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | |

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Milho 0 N = milho segunda safra sem adubação nitrogenada de cobertura. Milho 80 N = milho segunda safra com 80 kg de N ha⁻¹.

Índice SPAD

Nas duas safras, não houve interação entre as culturas de entressafra e a aplicação de N na soja para o índice SPAD da soja (Quadro 3). A maioria das diferenças ocorreu na fase vegetativa. Na safra 2016/17, nos estádios V6, R1 e R3 foram observados menores valores de índice SPAD na soja cultivada após o trigo, em relação às demais culturas de entressafra. Após o estádio R4, o índice SPAD da soja não diferiu entre as culturas de entressafra avaliadas.

Na safra 2017/18, no estádio V5, constatou-se que o índice SPAD da soja cultivada após milho sem N foi inferior à soja semeada em sucessão à crotalária, milho com N e pousio. Em R1 o índice SPAD da soja após o pousio foi inferior ao da soja após crotalária. Na safra 2017/18, a partir do estádio R2 não houve diferenças entre as culturas de entressafra para o índice SPAD da soja, demonstrando, novamente, que na fase de enchimento dos grãos os efeitos de culturas de entressafra sobre o crescimento da soja tendem a diminuir.

A adubação nitrogenada na cultura da soja aumentou o índice SPAD nos estádios V5 a R3 na safra 2016/17. Após o estádio R4 não foram observados efeitos da aplicação de N mineral sobre essa variável. Na safra seguinte, a adubação nitrogenada na soja proporcionou aumento no índice SPAD nos estádios V5 e V7, sem efeitos após o florescimento. Nesse sentido, o N aplicado na implantação da soja conferiu maior teor de clorofila nas folhas de soja apenas nas fases iniciais de desenvolvimento da cultura. No entanto, após o provável aumento do N fixado via simbiose, esse efeito não ocorreu.

Nas duas safras, o pico de índice SPAD na soja ocorreu em R5.3. Após esse estádio, houve rápida degradação da clorofila foliar, decorrente da translocação de fotoassimilados das folhas para os grãos, o que resulta em rápida senescência foliar (Heiffig *et al.*, 2006). Enfatiza-se que, apesar do máximo índice SPAD ter ocorrido em R5.3 não se observou efeito dos tratamentos sobre essa variável nesse estádio.

Produtividade de grãos

Nas duas safras não houve interação entre culturas de entressafra e adubação nitrogenada na soja sobre a produtividade, sendo que na safra 2016/17 também não houve efeito de fatores isolados (Quadro 4). Isso indica que as variações no IAF e índice SPAD observadas na primeira safra não se refletiram na produtividade. Na safra 2017/18 houve efeito das culturas de entressafra, destacando-se a soja cultivada após braquiária e trigo. Nas duas safras, a produtividade da soja no experimento foi elevada, superior à média nacional, que foi 3.364 e 3.359 kg ha⁻¹ nas safras 2016/17 e 2017/18, respectivamente (CONAB, 2018b). Isso ocorreu em função do adequado manejo e das condições climáticas favoráveis à cultura (Figura 1).

Quadro 4 - Produtividade de grãos da cultura da soja (Mg ha⁻¹), em função de culturas de entressafra e de adubação nitrogenada na semeadura da soja em duas safras. Londrina-PR

| | 2016/17 | 2017/18 |
|------------|---------|---------|
| Braquiária | 4,5 | 5,2a |
| Crotalária | 4,3 | 4,6bc |
| Milho 0 N | 4,2 | 4,3c |
| Milho 80 N | 4,3 | 4,4bc |
| Pousio | 4,5 | 4,5bc |
| Trigo | 4,6 | 5,0ab |
| CV(%) | 6,4 | 10,3 |
| Soja 0 N | 4,4 | 4,6 |
| Soja 30 N | 4,4 | 4,7 |
| CV(%) | 8,4 | 8,0 |
| Interação | ns | ns |

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna não diferem entre pelo teste de Tukey a 5% de significância. Milho 0 N = milho segunda safra sem adubação nitrogenada de cobertura. Milho 80 N = milho segunda safra com 80 kg de N ha⁻¹.

Correlação entre IAF, SPAD e produtividade de grãos

Na safra 2016/17, houve correlação negativa e significativa entre índice SPAD avaliado em R1 com a produtividade de grãos (Quadro 5). Contudo, o que predominou nas duas safras foi a ausência de correlação entre o índice SPAD e a produtividade. Nesse contexto, os efeitos positivos de culturas de entressafra, como a crotalária e, principalmente, da adubação nitrogenada sobre o índice SPAD até o

Quadro 5 - Correlação entre a produtividade de grãos de soja com os índices de área foliar (IAF) e soil plant analysis development (SPAD), de duas safras, em diferentes estádios fenológicos da cultura. Londrina-PR, 2018

| Correlação entre IAF, SPAD e produtividade | | | | | | | | | | |
|--|---------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| 2016/17 | V5 | V6 | R1 | R3 | R4 | R5.1 | R5.3 | R5.4 | R6 | R7 |
| | Produtividade | | | | | | | | | |
| SPAD | 0,19 | -0,20 | -0,27* | -0,12 | 0,09 | -0,07 | 0,07 | -0,16 | 0,02 | -0,01 |
| IAF | -0,11 | -0,26* | -0,26* | -0,13 | -0,17 | -0,07 | 0,03 | -0,08 | -0,26* | 0,09 |
| | SPAD | | | | | | | | | |
| IAF | 0,08 | 0,41** | 0,75** | 0,67** | 0,27* | 0,31* | -0,01 | -0,14 | -0,14 | 0,04 |
| Correlação entre IAF, SPAD e produtividade | | | | | | | | | | |
| 2017/18 | V5 | V7 | R1 | R2 | R3 | R4 | R5.1 | R5.3 | R6 | |
| | Produtividade | | | | | | | | | |
| SPAD | -0,04 | 0,07 | 0,01 | -0,09 | 0,04 | 0,09 | -0,06 | -0,20 | -0,12 | |
| IAF | 0,03 | 0,01 | -0,01 | 0,11 | 0,01 | 0,01 | -0,08 | 0,02 | 0,21 | |
| | SPAD | | | | | | | | | |
| IAF | 0,02 | 0,03 | -0,02 | 0,15 | 0,08 | -0,17 | -0,02 | 0,22 | 0,32 | |

*correlação a 5% de significância; ** correlação a 1% de significância.

florescimento não se refletiram em maiores produtividades da soja.

Na safra 2016/17, houve correlação negativa entre o IAF da soja nos estádios V6, R1 e R6 com a produtividade de grãos. Porém, na safra seguinte não foram observadas correlações entre essas variáveis. Isso indica que a elevada velocidade de formação de folhas pela soja na fase vegetativa, especialmente proporcionada pela aplicação de N mineral, não resultou em maiores produtividades de grãos. Esse resultado tem importância prática notável, pois é um indicativo de que as áreas agrícolas podem ser cultivadas no outono/inverno com milho segunda safra, podendo gerar renda no outono/inverno, sem redução de produtividade da soja em relação ao cultivo de espécies para cobertura do solo. Também indica que a adubação com N mineral na implantação da soja é desnecessária. Kaschuk *et al.* (2016) ressaltam que a aplicação de fertilizantes nitrogenados pode reduzir a nodulação, implicando em prejuízos na produtividade de grãos. Esses resultados comprovam que a aplicação de N mineral na semeadura da soja pode resultar em maior crescimento no início do ciclo, quando o processo de fixação biológica ainda não está operando em plenitude (Hungria *et al.*, 2006). Contudo, após esse período, a quantidade de N fixado, juntamente com o N-inorgânico do solo, é suficiente para conferir elevada produtividade de grãos de soja (Zilli *et al.*, 2008; Mugendi *et al.*, 2010).

CONCLUSÕES

As culturas de entressafra influenciaram o IAF e o índice SPAD da soja nas fases de crescimento vegetativo e de florescimento, mas não impactaram essas variáveis durante o enchimento de grãos.

A aplicação de N mineral na semeadura da soja proporcionou aumento do IAF e índice SPAD somente nas fases vegetativa e de florescimento, não afetando a produtividade de grãos.

Na primeira safra, observou-se correlação negativa do IAF e do índice SPAD no início do florescimento com a produtividade de grãos da soja, mas na segunda safra essas correlações significativas não se verificaram.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de Produtividade em Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora ao autor correspondente.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarenga, R.C.; Cabezas, W.A.L.; Cruz, J.C. & Santana, D.P. (2001) – Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. *Informe Agropecuário*, vol. 22, n. 208, p. 25-36.
- Balbinot Junior, A.A.; Franchini, J.C.; Debiasi, H. & Yokoyama, A.H. (2017) – Contribution of roots and shoots of *Brachiaria* species to soybean performance in succession. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 52, n. 8, p. 592-598. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2017000800004>
- Balbinot Junior, A.A.; Veiga, M.D.; Moraes, A.D.; Pelissari, A.; Mafra, A.L. & Picolla, C.D. (2011) – Winter pasture and cover crops and their effects on soil and summer grain crops. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 46, n. 10, p. 1357-1363. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000032>
- Blanco-Canqui, H.; Shaver, T.M.; Lindquist, J.L.; Shapiro, C.A.; Elmore, R.W.; Francis, C.A. & Hergert, G.W. (2015) – Cover crops and ecosystem services: insights from studies in temperate soils. *European Journal of Agronomy*, vol. 107, n. 6, p. 2449-2474. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj15.0086>
- Carvalho, W.P.; Carvalho, G.J.; Neto, D. de O.A. & Teixeira, L.G.V. (2013) – Desempenho agrônômico de plantas de cobertura usadas na proteção do solo no período de pousio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 48, n. 2, p. 157-166. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2013000200005>
- CONAB (2018a) – *Acompanhamento da safra brasileira de grãos*. [cit. 2018.06.18]. <https://www.conab.gov.br/index.php/info-agro/safras/graos>
- CONAB (2018b) – *Séries Históricas de safras*. [cit. 2018.06.18]. <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/index.php/safras/safra-serie-historica>
- Fehr, W.R. & Caviness, E.C. (1977) – *Stages of soybean development*. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 11 p.
- Franchini, J.C.; Balbinot Junior, A.A.; Debiasi, H. & Conte, O. (2015a) – Crescimento da soja influenciado pela adubação nitrogenada na cultura, pressão de pastejo e épocas de dessecação de *Urochloa ruziziensis*. *Revista Agro@ambiente On-line*, vol. 9, n. 2, p. 129-135.
- Franchini, J.C.; Balbinot Junior, A.A.; Debiasi, H. & Conte, O. (2015b) – Desempenho da soja em consequência de manejo de pastagem, época de dessecação e adubação nitrogenada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 50, n. 12, p. 1131-1138. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2015001200002>
- Heiffig, L.S.; Câmara, G.M.S.; Marques, L.A.; Pedroso, D.B. & Piedade, S.M.S. (2006) – Fechamento e índice de área foliar da cultura da soja em diferentes arranjos espaciais. *Bragantia*, vol. 65, n. 2, p. 285-295. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052006000200010>
- Hungria, M.; Franchini, J.C.; Campo, R.J.; Crispino, C.C.; Moraes, J.Z.; Sibaldelli, R.N.R.; Mendes, I.C. & Arihara, J. (2006) – Nitrogen nutrition of soybean in Brazil: contributions of biological N₂ fixation and N fertilizer to grain yield. *Canadian Journal of Plant Science*, vol. 86, n. 4, p. 927-939. <https://doi.org/10.4141/P05-098>
- Hungria, M. & Mendes, I.C. (2015) – Nitrogen fixation with soybean: the perfect symbiosis? In: De Bruijn, F. (Ed.) – *Biological Nitrogen Fixation*. Hoboken, Wiley-Blackwell, p. 1009-1024. <https://doi.org/10.1002/9781119053095.ch99>
- Kaschuk, G.; Nogueira, M.A.; De Luca, M.J. & Hungria, M. (2016) – Response of determinate and indeterminate soybean cultivars to basal and topdressing N fertilization compared to sole inoculation with *Bradyrhizobium*. *Field Crops Research*, vol. 195, p. 21-27. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.05.010>
- Loss, A.; Pereira, M.G.; Giacomo, S.G.; Perin, A. & Anjos, L.H.C. (2011) – Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 46, n. 10, p. 1269-1276. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000022>
- Moraes, P.V.D.; Agostinetto, D.; Panozzo, L.; Oliveira, C.E.; Vignolo, G.K. & Markus, C. (2013) – Manejo de plantas de cobertura no controle de plantas daninhas e desempenho produtivo da cultura do milho. *Semina: Ciências Agrárias*, vol. 34, n. 2, p. 497-507.
- Mugendi, E.; Gitonga, N.; Cheruiyot, R. & Maingi, J. (2010) – Biological nitrogen fixation by promiscuous soybean (*Glycine max* L. Merrill) in the central highlands of Kenya: response to inorganic fertilizer soil amendments. *World Journal of Agricultural Sciences*, v. 6, n. 4, p. 381-387.
- Procópio, S.O.; Balbinot Junior, A.A.; Debiasi, H.; Franchini, J.C. & Panison, F. (2013) – Plantio cruzado na cultura da soja utilizando uma cultivar de hábito de crescimento indeterminado. *Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, vol. 56, n. 4, p. 319-325. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2013.048>

- Sant'Ana, E.V.P.; Santos, A.B. & Silveira, P.M. (2010) – Adubação nitrogenada na produtividade, leitura SPAD e teor de nitrogênio em folhas de feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, vol. 40, n. 4, p. 491-496.
- Santos, H.G.; Jacomine, P.K.T.; Anjos, L.H.C. Dos; Oliveira, V.A.; Oliveira, J.B.; Coelho, M.R.; Lumbrreras, J.F. & Cunha, T.J.F. (2013) – *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3ª ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 306 p.
- Werner, F.; Balbinot Junior, A.A.; Ferreira, A.S.; Debiasi, H. & Franchini, J.C. (2016) – Soybean growth affected by seeding rate and mineral nitrogen. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 20, n. 8, p. 734-738. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n8p734-738>
- Zilli, J.E.; Marson, L.C.; Marson, B.F.; Gianluppi, V.; Campo, R.J. & Hungria, M. (2008) – Inoculação de *Bradyrhizobium* em soja por pulverização em cobertura. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 43, n. 4, p. 541-544.