

# Variabilidade espacial e temporal da produtividade da soja em sistema arborizado no Noroeste do Paraná\*\*

Julio Cezar Franchini\*<sup>1</sup>, Fernando Sichieri<sup>2</sup>, Ricardo Padulla<sup>2</sup>, Vanderlei Porfirio-da-Silva<sup>3</sup>, Alvadi Balbinot Junior<sup>1</sup>, Henrique Debiasi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pesquisador, Embrapa Soja, CEP 86001-970, Londrina, PR

<sup>2</sup>Fatura Consultoria Agropecuária, Colorado, PR

<sup>3</sup>Pesquisador, Embrapa Florestas. Estrada da Ribeira, km 111, Caixa Postal 319, 83411-000, Colombo, PR

\*E-mail: julio.franchini@embrapa.br

\*\* Trabalho parcialmente financiado com recursos rede de fomento ILPF

**Resumo:** Devido a maior complexidade dos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF), a interação entre os seus componentes ainda precisa ser mais bem entendida para que a sinergia entre eles possa ser maximizada. Nesse sentido, em uma área de iLPF no município de Santo Inácio, Noroeste do Paraná, foi avaliada a influência do componente arbóreo sobre a produtividade da soja aos 30 e aos 42 meses após o plantio das árvores. O sistema, composto por renques simples de *Corymbia maculata*, espaçados em 14 m entre renques e 4,2 m entre árvores, foi cultivado com soja no verão e *Urochloa ruziziensis* no inverno. A produtividade da soja no sistema iLPF foi comparada com a produtividade da soja cultivada em área adjacente, sem arborização. O componente arbóreo proporcionou uma redução média de 2,8% e 27,0% na produtividade da soja, na terceira e quarta safra da cultura, respectivamente. A produtividade da soja dentro dos renques variou de acordo com a posição em relação às árvores e em relação à orientação geográfica. As linhas de soja, próximas às árvores, tiveram a produtividade reduzida, sendo o efeito mais intenso para as posições com incidência direta do sol da tarde. A baixa densidade de árvores por área, associada à copa compacta, fuste reto e sem bifurcações da espécie de eucalipto avaliada, não interferiu na produtividade nominal da soja apenas até a terceira safra da cultura.

**Palavras-chave:** competição interespecífica, geoestatística, integração lavoura-pecuária-floresta

## *Spatial and temporal variability of soybean yield in arboreal system in northwest Paraná*

**Abstract:** Due to greater complexity of integrated crop-livestock-forest systems (iLPF), the interaction among its components still need to be better understood so that the synergy between them can be maximized. Accordingly, in an area of iLPF in Santo Inácio, Northwestern Paraná, the influence of the tree component on soybean yield was evaluated 30 and 42 months after planting the trees. The system, consisted of simple rows of *Corymbia maculata*, spaced 14 m each other, and 4.2 m between trees, was planted with soybeans in summer and *Urochloa ruziziensis* in winter. Soybean yield in the iLPF system was compared with the soybean yield obtained in an adjacent area, not forested. The tree component provided a mean reduction of 2.8% and 27.0% on soybean yield in the third and fourth year of cultivation, respectively. Soybean yield varied within the tree inter-row according to the position in relation to the trees and in relation to the geographic orientation. The lower soybean yields were obtained in the soybean rows closer to the trees. This effect was stronger for positions with direct sunlight in the afternoon. The low tree density per area, associated with compact canopy, straight trunk and without bifurcations of the eucalyptus species evaluated, had no effect on nominal productivity of the soybean crop until the third cultivation.

**Keywords:** interspecific competition, geostatistics, crop-livestock-forest integration systems

## 1. Introdução

Na atualidade, a agricultura é submetida a grandes desafios, como a produção de alimentos, em elevada quantidade e qualidade, energia, fibra, madeira e outros bens, além de auxiliar na mitigação de gases causadores do efeito estufa, com o mínimo impacto ambiental. Neste contexto, a alternativa mais apropriada é o uso de sistemas de produção que ocupem eficientemente os recursos disponíveis nos agroecossistemas, concomitante à melhoria da qualidade do solo e da água, redução do consumo de insumos e geração de maior renda por área. A iLPF pode ser definida como uma estratégia que visa a produção sustentável, integrando atividades agrícolas, pecuárias e florestais realizadas na mesma área, em cultivo consorciado, em sucessão ou rotacionado, e busca efeitos sinérgicos entre os componentes do agroecossistema, contemplando a adequação ambiental, a valorização do homem e a viabilidade econômica (BALBINO; BARCELLOS; STONE, 2011). O componente arbóreo no sistema iLPF pode proporcionar benefícios ambientais, principalmente em termos de conservação do solo e da água e sequestro de carbono, além de benefícios econômicos, especialmente pela produção de madeira, a qual pode ser combinada com produção animal e de grãos. No sistema iLPF, o número de árvores por hectare deve ser ajustado de acordo com a prioridade de produtos previamente estabelecidos. Se o interesse for produzir madeira grossa para serraria, é necessário conduzir as árvores em espaçamentos maiores, o que possibilita o uso da área no intervalo entre renques para o cultivo de culturas de grãos. Todavia, é necessário avaliar os efeitos do componente arbóreo sobre as culturas anuais, como a soja. Neste sentido, o estudo da variabilidade espacial e temporal da produtividade

da soja, utilizando a geoestatística, pode ser de grande utilidade na avaliação dos efeitos do componente arbóreo sobre a cultura, já que os mesmos, possivelmente, encontram-se associados à posição relativa das linhas de cultivo das espécies e à idade das árvores.

O objetivo desse trabalho foi avaliar a influência do componente arbóreo com baixa densidade de árvores por área sobre a produtividade de grãos da soja, 30 e 42 meses após a implantação do sistema no município de Santo Inácio, na região Noroeste do Paraná.

## 2. Material e Métodos

O trabalho vem sendo desenvolvido desde outubro de 2009 em uma área de 10 hectares pertencente à Estância JAE, localizada no município de Santo Inácio, PR, cujas coordenadas geoprocessadas são: 22°45'56" sul, 51°50'30" oeste e 386 m de altitude. O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico. Algumas características físicas e químicas do solo no momento de implantação do trabalho são apresentadas na Tabela 1.

O sistema iLPF foi implantado com a lavoura de soja e a espécie de eucalipto *Corymbia maculata* Hill & Johnson (*Eucalyptus maculata* Hook), plantado em renques de fileiras simples, distanciados em 14 m, com espaçamento entre plantas de 4,2 m, o que equivale a uma densidade de 170 árvores por hectare. As mudas, oriundas da Embrapa Florestas, foram obtidas a partir de sementes. Na implantação, um renque mestre foi alocado em nível e, a partir deste, foram alocados os demais, sempre mantendo distância entre renques de 14 m, a fim de promover adequada conservação do solo e da água e facilitar a mecanização das culturas anuais presentes no sistema. Antes da

**Tabela 1.** Algumas características físicas e químicas do solo antes da implantação do trabalho.

Camadas (cm)	pH	K	Ca	Mg	CTC <sup>a</sup>	V <sup>b</sup>	P	C	argila	silte	areia
		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				%	mg dm <sup>-3</sup>		g kg <sup>-1</sup>		
0-25	4,68	0,07	1,25	0,34	5,43	30,3	10,0	10,6	101	18	881
25-50	4,61	0,05	1,03	0,30	4,72	29,3	1,8	5,3	150	15	835

<sup>a</sup>CTC = capacidade de troca de cátions; <sup>b</sup>V = saturação da CTC por bases.

implantação das árvores, a área era utilizada com pastagem perene de *Urochloa brizantha* cv. Marandu. O eucalipto foi plantado em outubro de 2009, utilizando 0,25 kg do adubo formulado 08-24-18 (N-P-K) por cova, depositado a 25 cm da planta e 10 cm de profundidade. Nas linhas de plantio, o solo foi preparado com subsolador. O controle de plantas daninhas no eucalipto foi realizado com capina manual (coroamento) no primeiro ano e com glifosato no segundo.

Nos dias 15 de novembro de 2011 e 10 de novembro de 2012, na terceira e quarta safra de grãos, respectivamente, a lavoura de soja foi semeada no espaço entre os renques e afastada em 0,5 m das linhas de plantio do eucalipto, com espaçamento entre linhas de 0,5 m. Em ambas as safras, foi utilizada a cultivar BMX Potência RR, na densidade de 250 mil plantas por hectare. A adubação de base foi de 400 kg ha<sup>-1</sup> do adubo formulado NPK 05-20-20. O controle de plantas daninhas foi realizado com o herbicida glifosato. As demais práticas de manejo foram aquelas indicadas para a cultura da soja na região. A colheita da soja foi realizada nos dias 19 de março de 2012 e 14 de março de 2013. No momento da colheita, o eucalipto apresentou valores médios de 0,12 m para o DAP e 9,8 m para a altura da copa em 2012 e 0,16 m para o DAP e 12,5 m para altura da copa em 2013. De um total de 26 linhas de soja, na área entre os renques e em uma área localizada no mesmo tipo de solo ao lado da área de iLPF e sem a interferência das árvores, foram coletadas amostras de duas fileiras de soja por 3 metros, nas linhas 2 e 3; 7 e 8; 13 e 14; 19 e 20; e 24 e 25. A coleta

foi repetida 17 vezes, em intervalos de 10 metros, perfazendo uma distância de 160 metros e um total de 85 amostras no sistema iLPF e 85 amostras no cultivo de soja solteira. A produtividade de grãos foi corrigida para a umidade de 13%.

Os dados de produtividade foram submetidos à análise geoestatística (VIEIRA et al., 2002), sendo possível o seu mapeamento segundo os modelos ajustados apresentados na Tabela 2. As produtividades foram normalizadas dentro de cada ano considerando o valor máximo observado para a produtividade na área não arborizada.

### 3. Resultados e Discussão

A produtividade média normalizada da soja na safra 2011/2012 foi de 96,2 % (variando de 73,4 a 100,0%) e 93,3 % (variando de 55,7 a 106,8%) nas áreas fora e dentro dos renques, respectivamente, representando uma perda média de 2,9% no ambiente arborizado. A variância dos resultados foi maior para a área dentro em relação à área fora dos renques, 137,7 e 21,9, respectivamente. A produtividade média normalizada da soja na safra 2012/2013 foi de 97,6 % (variando de 63,6 a 100,0%) e 70,6 % (variando de 39,5 a 85,1%) nas áreas fora e dentro dos renques, respectivamente, representando uma perda média de 27,0% no ambiente arborizado. Da mesma forma que observado na safra 2011/2012, a variância dos resultados em 2012/2013 foi maior para a área dentro dos renques em relação à área fora, 100,0 e 60,9, respectivamente.

**Tabela 2.** Modelos ajustados ao semivariograma da produtividade da soja dentro e fora dos renques nas safras 2011/2012 e 2012/2013.

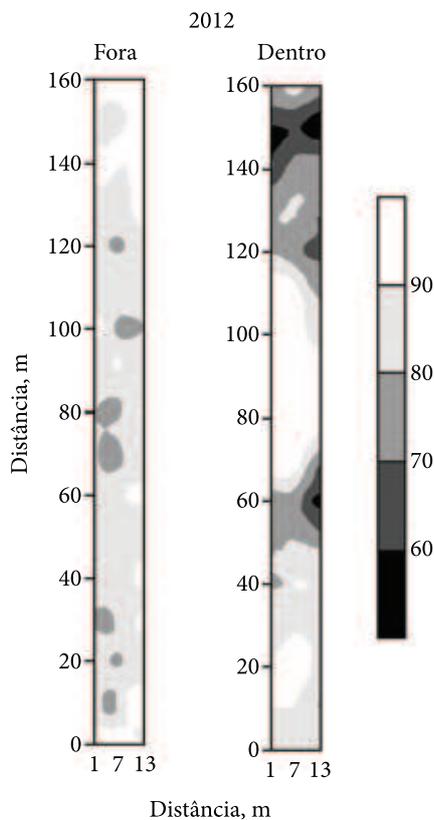
	Modelo <sup>a</sup>	Parâmetros <sup>b</sup>			R <sup>2</sup>
		C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	a	
<b>2012</b>					
Dentro	EXP	6,54	11,92	38,47	0,87
Fora	EXP	5,32	4,58	6,73	0,44
<b>2013</b>					
Dentro	GAU	46,97	15,36	6,57	0,68
Fora	ESF	23,83	16,88	21,84	0,52

<sup>a</sup>EXP (exponencial), GAU (gaussiano), ESF (esférico); <sup>b</sup>C<sub>0</sub> = efeito pepita; C<sub>1</sub> = variância estrutural; a = alcance.

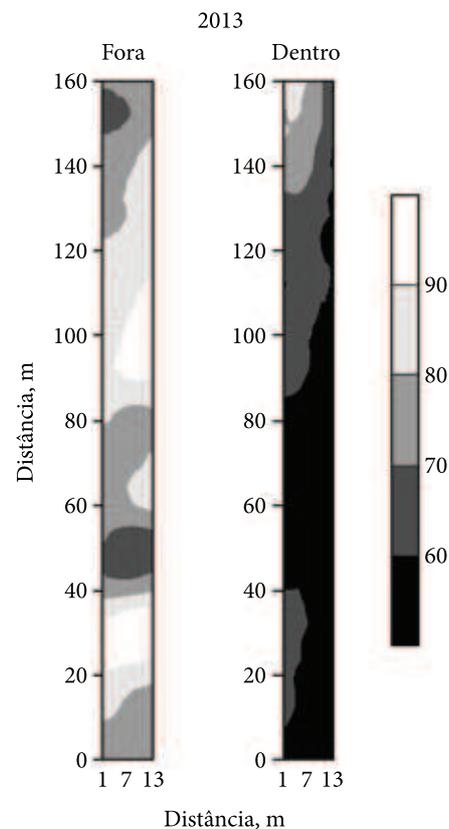
Os mapas com os valores normalizados segundo os modelos ajustados (Tabela 2) são apresentados nas Figuras 1 e 2. A partir dos valores normalizados das áreas dentro e fora do renque de árvores, foi obtida a diferença de produtividade nas posições no interior dos renques (Figura 3). As diferenças relativas mostram que houve grande influência da posição no entre renque e do ano de avaliação sobre a produtividade da soja (Figura 3). O valores médios indicaram que as posições mais próximas dos renques apresentam redução de produtividade. Na safra 2011/2012, nas posições sombreadas no período da tarde (lado esquerdo da Figura 3), a perda média de produtividade foi de 2,5%. Nas posições com exposição ao sol no período da tarde (lado direito da Figura 3), a perda média de produtividade foi de 8,9%. Ainda em 2011/2012, na porção intermediária do renque, a produtividade da soja foi maior quando comparada com a área não arborizada nas

posições entre 4 e 7 m do renque à esquerda, sendo o aumento médio de produtividade nesse intervalo de 2,9%. Na safra 2012/2013, o comportamento observado em 2011/2012 foi parcialmente mantido, com as posições sombreadas no período da tarde (lado esquerdo da Figura 3) apresentando menor perda média de produtividade (-21,2%) do que as posições com exposição ao sol no período da tarde (lado direito da Figura 3)(-33,6%), no entanto as perdas foram muito maiores do que as observadas na safra anterior. Além disso, na safra 2012/2013, em nenhuma posição no entre renque a produtividade da soja foi maior quando comparada com a área não arborizada (Figura 3).

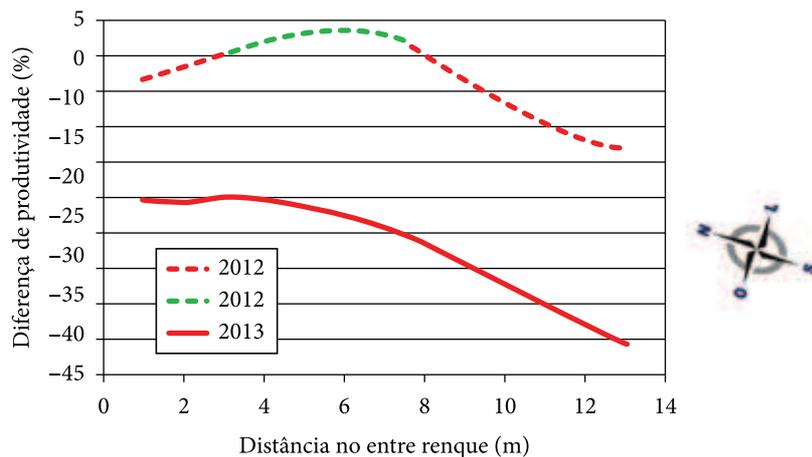
É interessante ressaltar que, na safra 2010/2011, no segundo ano de cultivo, não foi observada influência dos renques sobre a produtividade da soja, pois o desempenho da lavoura foi similar nas diferentes posições no interior do renque (BALBINO; BARCELLOS; STONE, 2011). Isso



**Figura 1.** Mapas normalizados de produtividade da soja (%) nas áreas dentro e fora do renque de árvores, na safra 2011/12, em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta conduzido na Estância JAE, em Santo Inácio, PR.



**Figura 2.** Mapas normalizados de produtividade da soja (%) nas áreas dentro e fora do renque de árvores, na safra 2012/2013, em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta conduzido na Estância JAE, em Santo Inácio, PR.



**Figura 3.** Diferença normalizada de produtividade da soja entre as áreas dentro e fora do renque de árvores, nas safras 2011/2012 e 2012/2013, em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta conduzido na Estância JAE, em Santo Inácio, PR.

possivelmente ocorreu devido ao porte ainda pequeno das árvores (altura média da copa de 5,6 m), o que implicou em competição de baixa intensidade por luz, água e nutrientes. Por outro lado, na safra 2011/2012, com o eucalipto apresentando, no momento da colheita da soja, uma altura média da copa de 9,8 m, parece que a competição entre as espécies atingiu o seu limiar, já que foram observadas alterações na produtividade nas diferentes posições do entre renque e uma redução média na produtividade da soja de 2,8% em relação à área não arborizada. Já em 2013, no momento da colheita da soja, o eucalipto apresentava uma altura média da copa de 12,5 m. Nesta condição, houve uma perda média de produtividade na soja da ordem de 27,0%. Deve-se considerar que o crescimento em altura das árvores implica em aumento na área sombreada, no entanto esse efeito parece ser menos importante do que a competição por água. A hipótese de que a competição das árvores com a cultura anual é principalmente por água, é reforçada pela constatação de maiores perdas de produtividade nas posições com exposição ao sol no período da tarde, indicando que nestas posições as plantas demandariam maior quantidade de água, que, no entanto, estaria menos disponível devido à demanda conjunta das árvores. Nesta condição, a produtividade da soja seria mais afetada do que nas posições sombreadas no período da tarde.

Os resultados indicam que sistemas arborizados em solos arenosos da região do Arenito Paranaense, com espaçamento do entre renque de 14 metros, mesmo com baixa densidade de árvores por área, não interfeririam na produtividade da soja apenas até a terceira safra da cultura.

#### 4. Conclusões

O componente arbóreo do sistema iLPF proporcionou uma redução média de 2,8% e 27,0% na produtividade da soja, na terceira e quarta safra da cultura, respectivamente.

A maior redução na produtividade da soja ocorreu nas linhas próximas às árvores, sendo o efeito mais intenso para as posições com incidência do sol da tarde. Na terceira safra de soja (2011/2012), as perdas variaram em torno de 5,5% nestas posições, enquanto na quarta safra de soja (2012/2013), as perdas aumentaram para 27%, em média.

As linhas de soja localizadas na porção central do intervalo entre renque tiveram acréscimo de 2,9% na produtividade apenas na terceira safra de soja (2011/2012).

A baixa densidade de árvores por área, associada à copa compacta, fuste reto e sem bifurcações da espécie de eucalipto avaliada, proporcionam condições favoráveis para a integração com a cultura da soja apenas até a terceira safra.

## Agradecimentos

A Bunge e Finep/FNDCT/Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), pelo apoio financeiro aos projetos que originaram os resultados apresentados.

## Referências

BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. O.; STONE, L. F. **Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta**. Brasília: DF: Embrapa, 2011. 130 p.

FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. P. da; BALBINOT-JUNIOR, A. A.; SICHIERI, E.; PADULLA, R.; DEBIASI, H.; MARTINS, S. S. **Integração lavoura-pecuária-floresta na região noroeste do Paraná**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 14 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, n. 86).

VIEIRA, S. R.; MILLETE, J.; TOPP, G. C.; REYNOLDS, W. D. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 2, p. 1-45, 2002.