Agrociencia Uruguay 2026 | Volume 30 | Number NE1 | Article e1628
DOI: 10.31285/AGRO.30.1628
ISSN 2730-5066

Investigaciones en pecán en Sudamérica

Radiação fotossinteticamente ativa, produção e qualidade de noz-pecã em resposta à poda e ao desbaste

Hellwig, C. G. [1]; Martins, C. R. [1]; Reisser Junior, C. [1]; Lima, A. D. V. [2]; Pohllmann, V. [2]; Malgarim, M. B. [2]

[1] *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, Brasil*

[2] *Universidade Federal de Pelotas, Capão do Leão, RS, Brasil*

Resumo

O objetivo do o estudo foi avaliar a radiação fotossinteticamente ativa (RFA), teor de clorofila, produção e qualidade de frutos de nogueira-pecã em um pomar de alta densidade de plantio, em resposta a manejos de poda e desbaste de plantas. O estudo foi realizado no ciclo 2018/2019 em um pomar comercial da cultivar Pitol 1, implantado em espaçamento de 7m x 7m. O experimento foi constituído pelos seguintes tratamentos: controle, poda hedge, poda central e desbaste de plantas. Foram avaliados: RFA(%), avaliada abaixo da copa da árvore com datalogger, conectado a barras de captação e a um sensor PAR pontual em local sem sombreamento; teor de clorofila, avaliado indiretamente pelo índice SPAD (*Soil Plant Analysis Development*); presença de ramos secos; produção e produtividade; e a qualidade dos frutos. A RFA foi maior com a realização de ambas as podas. O índice SPAD foi incrementado com a realização das podas e do desbaste, enquanto somente a poda central reduziu os ramos secos. Com o desbaste de plantas, a produção foi maior à obtida com poda *hedge* e plantas controle; porém, a produtividade, por não ter reduzido a densidade de plantas, foi maior com ambas as podas. Tanto as plantas com podas *hedge* e central como as da área com desbaste apresentaram frutos com maior massa. Porém, somente os obtidos mediante desbaste e poda central obtiveram maior tamanho. O rendimento da amêndoa não foi afetado pelos manejos das plantas. Embora a poda incremente a RFA e a produtividade de frutos por hectare, a produção por planta e a qualidade de frutos são maiores com o desbaste de plantas.

Palavras-chave: *Carya illinoinensis*, luz solar, alta densidade, sombreamento

Editor

Georgina García Inza
Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Canelones, Uruguay

Received *10 Dec 2024*
Accepted *25 Mar 2025*
Published *13 Feb 2026*

Correspondence

Cristiano Geremias Hellwig
cristiano.hellwig@gmail.com

CC BY

Hellwig, C. G., Martins, C. R., Reisser Junior, C., Lima, A. D. V., Pohllmann, V., & Malgarim, M. B. (2026). Radiação fotossinteticamente ativa, produção e qualidade de noz-pecã em resposta à poda e ao desbaste. *Agrociencia Uruguay, 30*(NE1), Article e1628. https://doi.org/10.31285/AGRO.30.1628

Photosynthetically Active Radiation, Pecan Production and Quality in Response to Pruning and Thinning

Abstract

The study aimed to evaluate the photosynthetically active radiation (PAR), chlorophyll content, fruit yield, and quality of pecan trees in a high-density orchard in response to pruning and thinning management practices. The research was conducted during the 2018/2019 cycle in a commercial orchard of the 'Pitol 1' cultivar, planted at a spacing of 7m x 7m. The experiment included the following treatments: control, hedge pruning, central pruning, and plant thinning. Evaluations included: PAR (%), assessed below the tree canopy with a datalogger connected to light bars and a point PAR sensor in an unshaded location; chlorophyll content, indirectly measured using the SPAD (Soil Plant Analysis Development) index; presence of dead branches; production and yield; and fruit quality. PAR was highest when either type of pruning was performed. The SPAD index increased with both pruning and thinning, while only central pruning reduced the presence of dead branches. Plant thinning resulted in higher production than hedge pruning and control, though yield per hectare, due to unaltered planting density, was higher with both types of pruning. Trees in the hedge and central pruning treatments, as well as the thinned area, produced fruits with greater mass; however, only thinning and central pruning led to larger fruit sizes. Kernel yield was unaffected by plant management practices. Pruning enhances PAR and yield per hectare, whereas individual tree production and fruit quality are highest with thinning.

Keywords: *Carya illinoinensis*, sunlight, high density, shading

Radiación fotosintéticamente activa, producción y calidad de la nuez pecán en respuesta a podas y raleo

Resumen

El objetivo del estudio fue evaluar la radiación fotosintéticamente activa (RFA), el contenido de clorofila, la producción y la calidad de frutos de nuez pecán en un huerto de alta densidad, en respuesta al manejo de podas y raleos de plantas. El estudio se realizó en el ciclo 2018/2019 en un huerto comercial con el cultivar Pitol 1, sembrado en un espaciamiento de 7m x 7m. El experimento constó de los siguientes tratamientos: control, poda de setos, poda central y raleo de plantas. Se evaluaron la RFA (%), medida debajo de la copa de los árboles con un datalogger conectado a barras de captura y un sensor PAR puntual en un lugar sin sombra; el contenido de clorofila, evaluado indirectamente por el índice SPAD (Soil Plant Analysis Development); la presencia de ramas secas; la producción y productividad; y la calidad de los frutos. La RFA fue mayor con ambas podas. El índice SPAD se incrementó con las podas y los raleos, mientras que solo la poda central redujo las ramas secas. Con el raleo de plantas, la producción fue mayor que con la poda de setos y las plantas de control, pero la productividad, al no reducirse la densidad de plantas, fue mayor con ambas podas. Tanto las plantas con seto y poda central como las de la zona de raleo tuvieron frutos con mayor masa, pero solo aquellas con raleo y poda central obtuvieron un mayor tamaño. El rendimiento de las almendras no se vio afectado por las prácticas de manipulación de la planta. La poda aumenta la RFA y la productividad, pero la producción por planta y la calidad del fruto son mayores con el raleo de plantas.

Palabras clave: *Carya illinoinensis*, luz solar, alta densidad, sombreado

1. Introdução

A nogueira-pecã [*Carya illinoinnensis* (Wangenh.) K. Koch], variedade com hábito de crescimento arbóreo, é uma frutífera que naturalmente pode atingir grandes dimensões (Fronza et al., 2018), porquanto altas densidades de plantio implicam em necessidade de manejos mais intensivos para garantir a sustentabilidade do sistema de produção. Nesse contexto, é importante proporcionar uma boa entrada de radiação solar no pomar. A radiação fotossinteticamente ativa (RFA) abrange a faixa espectral de 400-700 nm, que é essencial na conversão de energia luminosa em energia química pela fotossíntese das plantas (Assis & Mendez, 1989; McCree, 1972).

Por sua vez, as clorofilas são os pigmentos responsáveis pela captura da radiação solar usadas na fotossíntese, tendo importância fundamental na fase fotoquímica (Silva et al., 2011). Nesse sentido, o índice SPAD (*Soil Plant Analysis Development*) surge como uma maneira indireta e não destrutiva de avaliação do teor de clorofila, sendo que várias pesquisas têm demonstrado sua correlação com a concentração de nitrogênio (N) na planta (Vidigal & Moreira, 2021).

No entanto, em pomares adensados de nogueira-pecã sem manejos de poda, o excesso de sombreamento é um problema com o qual os produtores têm convivido (Vidigal & Moreira, 2021). Além de limitar o potencial produtivo, o excesso de sombreamento pode causar o secamento de ramos e reduzir a qualidade das nozes (Arreola Ávila et al., 2010; Hellwig et al., 2022). Diante disso, a poda permite uma série de benefícios como: a correta formação das plantas; menor incidência de doenças; obtenção de produção mais precoce; frutos maiores; e menor alternância produtiva (Malgarim et al., 2024).

Especificamente em pomares adultos, dois métodos de poda são alternativas para evitar o excesso de sombreamento: a poda mecanizada *hedge* e a poda central. Enquanto a poda *hedge* consiste no desponte lateral das plantas (Gong et al., 2020), a poda central é seletiva e visa retirar ramos do interior da copa (Lombardini, 2006). No oeste dos Estados Unidos, a poda *hedge* é tradicionalmente, realizada com máquinas ou implementos com discos de corte (Lombardini, 2006; Wells, 2018), enquanto poda central é realizada com motopodadoras ou motosserras (Hellwig et al., 2022). Por outro lado, o desbaste de plantas é uma prática agronômica que envolve a eliminação ou o transplante estratégico de plantas para favorecer o desenvolvimento das plantas remanescentes, que são beneficiadas com a redução da competição por água, luz e nutrientes (Hoffmann et al., 2024). Essa prática pode ser realizada através da supressão ou por meio do transplante das árvores para um novo local (Arreola Ávila et al., 2010).

Tendo em vista que as podas e o desbaste de plantas podem aumentar a incidência solar nas plantas, torna-se fundamental observar qual manejo obtém maiores valores de absorção de RFA, índice SPAD, desenvolvimento de plantas, produção e qualidade dos frutos. Essa análise é de suma importância para aperfeiçoar o sistema produtivo da nogueira-pecã. Diante disso, o objetivo do estudo foi avaliar a resposta de manejos de poda e desbaste de plantas na absorção de radiação fotossinteticamente ativa (RFA), na produção e na qualidade de frutos de nogueira-pecã em um pomar de alta densidade de plantio.

2. Material e métodos

O experimento foi realizado no município de Santa Rosa, Rio Grande do Sul, Brasil (27°55'15" S; 54°32'37" W), em um pomar comercial de nogueira-pecã de alta densidade sob espaçamento de 7m x 7m. Vale destacar que o clima da região é classificado como Cfa segundo Köppen-Geiger (Alvares et al., 2013), enquanto o solo do pomar é classificado como Latossolo vermelho distroférrico típico (dos Santos et al., 2018). O estudo ocorreu durante a safra 2018/2019 em árvores da cultivar Pitol 1 ("Melhorada") de 10 anos de idade. Posteriormente, em janeiro de 2019 foi realizada a análise foliar da área experimental com a avaliação dos macro e micronutrientes (Figura 1).

O experimento foi conduzido em delineamento com três blocos casualizados, os quais incluíam cinco repetições de cada tratamento (um total de 60 árvores avaliadas). Como tratamentos, foram avaliados dois métodos de poda (*hedge* e central), o desbaste de plantas, além do método de controle (sem poda e desbaste), no qual as árvores em alta densidade não foram podadas.

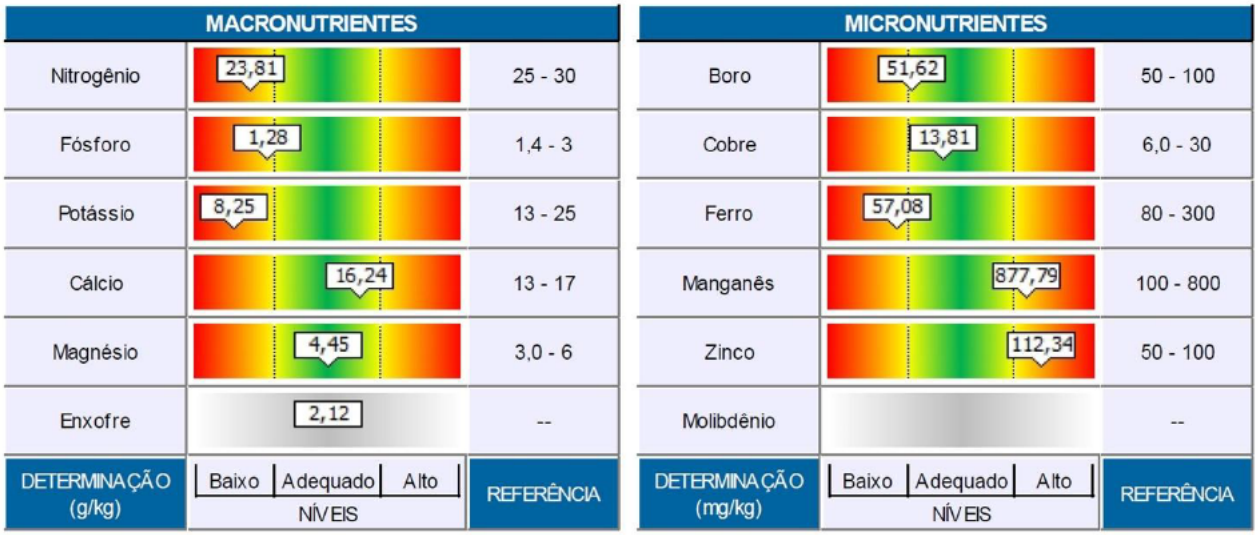

Figura 1. Análise foliar de macro e micronutrientes da área experimental realizada em janeiro de 2019.

As podas foram realizadas em 08 de agosto de 2018, com auxílio de motopodadora. Na poda *hedge*, um lado das árvores (sentido Leste-Oeste) foi podado por meio do desponte dos ramos que ultrapassavam a distância de 2,5m em relação ao tronco. Já na poda central, foram retirados de um a três ramos do interior da copa das árvores, melhorando a entrada de luz solar nas mesmas. Por sua vez, o desbaste de plantas foi executado com motosserra, sendo realizada a supressão alternada de árvores da área experimental, que reduziu a densidade de 204 para 102 árvores por hectare.

Nas avaliações, o índice SPAD, avaliação correlacionada com a presença de clorofila nas folhas, foi avaliado em janeiro de 2019. Para isso, utilizou-se um clorofilômetro Konica Minolta modelo SPAD-502. Foram selecionados aleatoriamente 50 folíolos na parte central das folhas em cinco posições no primeiro estrato das plantas (quadrantes norte, sul, leste e oeste e no centro da copa). Além disso, o número de ramos secos foi contado por meio de avaliação visual no estrato basal e no interior da copa durante o período vegetativo das árvores. A produção por planta (kg) foi avaliada com balança digital diretamente no pomar após a colheita, enquanto a produtividade ($kg \cdot ha^{-1}$) foi calculada pela multiplicação das médias de produção pelo número de plantas de cada tratamento.

Quanto à análise dos frutos, de cada planta foram coletadas amostras, as quais foram secadas em secador de ar forçado até atingir uma umidade de 4%. Em seguida, foi avaliada a quantidade de frutos por kg, por meio da contagem, até atingir 1000 g (número de frutos por kg^{-1}) em balança digital. Em 25 frutos por amostra foram avaliados o comprimento e o diâmetro dos frutos com auxílio de um paquímetro digital, enquanto a partir da massa dos frutos e suas partes foi calculado o rendimento de amêndoa (%) de cada um dos tratamentos.

A absorção de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) foi avaliada por meio da seleção de uma árvore representativa por tratamento, sendo cada uma avaliada por dia. Para o cálculo da absorção relativa foram instaladas cinco barras de 1m de comprimento com sete células de silício e sensores de captação de RFA integrados sob a copa das árvores em várias posições pré-definidas (Figura 2b). Além disso, foi instalado um sensor PAR pontual da marca LI-COR, em local sem sombreamento sob luz direta do sol (Figura 2c). Os dados foram registrados em um datalogger CR 1000 da marca Campbell Scientific (Figura 2a) e armazenados em um computador. As avaliações de absorção de RFA, em cada tratamento, foram realizadas uma a cada dia (Radin et al., 2003) para cada tratamento, sendo que os dias foram sem nebulosidade nas datas de 24, 25, 26 e 27 de janeiro de 2019. As medidas foram feitas pelos sensores acoplados ao datalogger a cada dez segundos e seus valores médios registrados a cada 30 minutos, no intervalo das 11h às 13h (período de maior incidência solar). Com os dados da RFA total obtida em área livre de sombra e os dados das barras instaladas debaixo da copa

de cada um dos tratamentos, foram calculadas as porcentagens de redução da RFA (%) gerada pela copa das árvores nas várias posições.

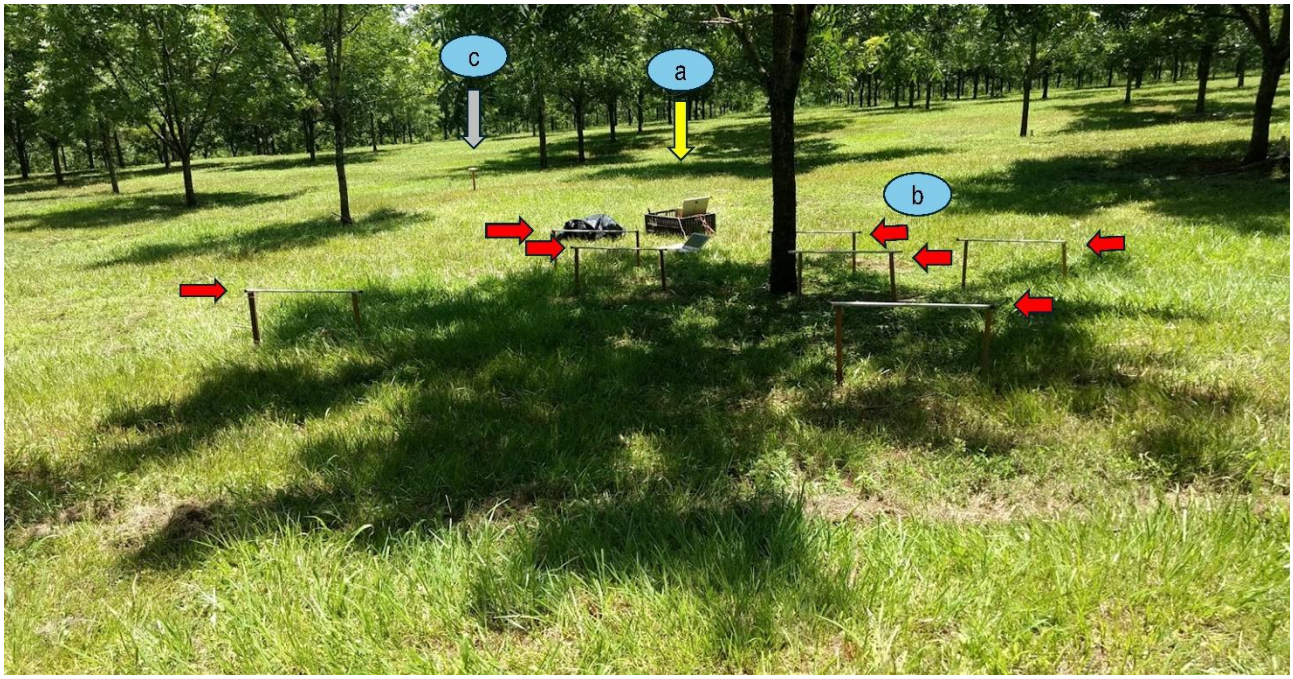

Figura 2. Datalogger CR 1000 da marca Campbell Scientific conectado a um notebook para armazenar dados de Radiação (a); barras de captação de RFA instaladas abaixo da copa das plantas (b); e sensor quântico pontual instalado em área livre de sombra (c).

Após a avaliação dos pressupostos, os resultados das variáveis índice SPAD, dos ramos secos, da produção por planta, do número de frutos por kg, do comprimento e diâmetro de frutos e do rendimento de amêndoa, foram submetidos a análise de variância. Posteriormente, foi realizada a comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro pelo programa Sisvar, versão 5.6 (Ferreira, 2014).

3. Resultados

Sob a copa da planta do pomar submetida à poda *hedge* e à poda central, a medida de RFA foi maior do que sob a planta com desbaste e sem o manejo de poda e desbaste (Figura 3). Na planta submetida à poda *hedge* houve um pico de 42,71% da RFA total às 12h, enquanto na planta com poda central o pico foi de 34,64% da RFA controle, atingido às 13h. No desbaste de plantas e na planta sem poda nem desbaste, as porcentagens não ultrapassaram os 15,94% e 6,45%, respectivamente. Essa maior penetração de energia solar mostra maior disponibilidade para todo o interior da planta, potencializando a fotossíntese de folhas no interior do dossel.

O índice SPAD foi superior em folíolos de plantas submetidas à poda e plantas remanescentes após o desbaste em relação ao controle (sem poda) (Tabela 1). A presença dos ramos secos nas nogueiras-pecã, no entanto, somente foi atenuada nas árvores submetidas à poda central. Com relação às questões produtivas, a maior diferença na produção das nogueiras-pecã ocorreu na área onde as árvores receberam o manejo com desbaste de plantas, em contraste com a poda *hedge* e controle. No entanto, a produção de nozes não se diferenciou nas árvores manejadas com poda central e com desbaste. Por outro lado, a produtividade foi significativamente menor com o desbaste em comparação com os dois métodos de poda, não diferindo da área sem poda.

Nas avaliações de qualidade das nozes, foi possível constatar diferenças significativas entre as plantas submetidas ao desbaste de plantas em relação às do controle e da poda *hedge* (Tabela 2), enquanto não

apresentaram diferenças em relação aos frutos das plantas com poda central. Por outra parte, o rendimento de amêndoa não foi influenciado pelo manejo de podas e desbaste, considerando que esse fator não apresentou diferenças com relação às plantas utilizadas como testemunha.

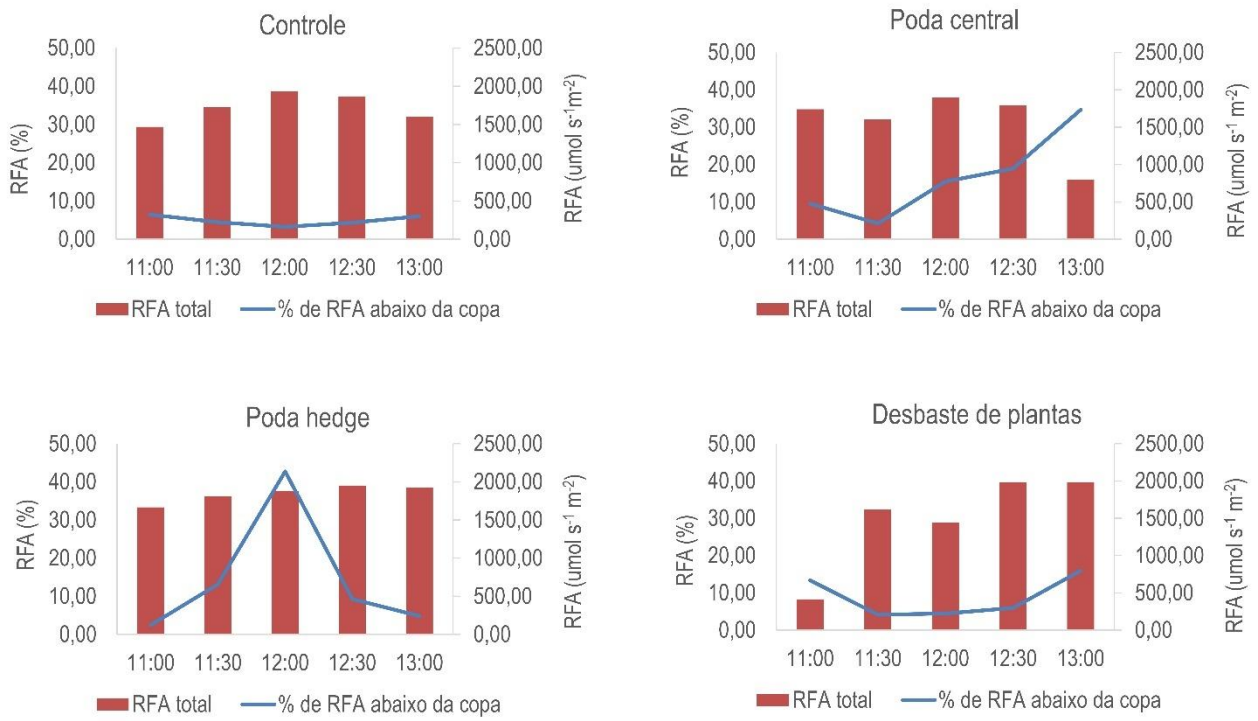

Figura 3. RFA total e porcentagem de RFA abaixo da copa das plantas de nogueira-pecã após a execução do controle (sem poda e desbaste), poda *hedge*, poda central e desbaste de plantas.

Tabela 1. Índice SPAD, número de ramos secos, produção por planta e produtividade em nogueira-pecã submetida às podas *hedge* e central e ao desbaste de plantas.

Tratamentos	Índice SPAD	Ramos secos planta^{-1}	Produção (kg·planta^{-1})	Produtividade (kg·ha^{-1})
Controle	39,23 b	6,20 a	6,56 B	1337,97 bc
Poda hedge	41,80 a	5,67 a	7,84 b	1599,77 ab
Poda central	42,20 a	3,87 b	8,85 ab	1805,54 a
Desbaste de plantas	41,67 a	6,13 a	10,42 a	1063,25 c
Valor p	0,0070	0,0003	0,0020	0,0004

As médias seguidas pelas diferentes letras minúsculas nas colunas diferem pelo teste de Tukey com 5% de significância. ns = não significativo.

Tabela 2. Frutos por kg, comprimento e diâmetro de frutos, e rendimento de amêndoas das nogueiras-pecã submetidas às podas hedge e central e ao desbaste de plantas.

Tratamentos	Frutos·kg^{-1}	Comprimento do fruto (mm)	Diâmetro do fruto (mm)	Rendimento da amêndoa (%)
Controle	113,55 a	48,21 b	23,48 b	53,68 ns
Poda hedge	118,44 a	48,92 ab	23,43 b	53,69
Poda central	114,00 a	49,70 a	24,02 ab	53,05
Desbaste de plantas	103,00 b	49,60 a	24,27 a	53,20
Valor p	0,0003	0,0169	0,0012	0,6755

As médias seguidas pelas diferentes letras minúsculas nas colunas diferem pelo teste de Tukey com 5% de significância. ns = não significativo.

4. Discussão

A RFA foi maior sob a copa de árvores do pomar onde as plantas foram manejadas com as podas, pois este manejo facilitou a entrada de luz no interior da copa (poda central) e entre plantas (poda *hedge*). Com a poda ocorre a redução na área foliar da planta. Conforme a Lei de Beer, o coeficiente de extinção explica que ao atravessar o dossel da planta, a RFA é extinta exponencialmente (Bergamaschi & Bergonci, 2017). Já devido à metodologia adotada de avaliação mediante leituras sobre o solo abaixo da copa das plantas e não no interior da copa, o desbaste não proporcionou picos de RFA como nos tratamentos com poda.

Hernández de Santiago et al. (2006), que avaliaram a RFA em distintas alturas e distâncias no interior da copa das plantas, observaram que o desbaste de 50% das árvores, como foi realizado no presente estudo, proporcionou maior porcentagem de RFA independente da altura avaliada. Uma maior RFA proporciona a elevação dos processos fotossintéticos nas plantas e a acumulação de carboidratos, consequentemente produzindo maior quantidade e qualidade de nozes. Este processo ocorre porque permite às plantas ter maior área foliar com níveis de fotossíntese maiores devido à disponibilidade de energia solar, o que aumenta a relação fonte-dreno. Por outro lado, sob baixos níveis de RFA disponível no interior da copa da árvore, a fotossíntese é reduzida até a folha atingir o ponto de compensação, quando a perda energética por respiração é igual ao ganho por fotossíntese. A partir disso, a fotossíntese pode se tornar negativa devido ao aumento de perdas por respiração, ocasionando a senescência foliar, o que resultará em menor produção por planta, menor índice SPAD e maior número de ramos secos, conforme verificado nas plantas controle (Bergamaschi & Bergonci, 2017; Taiz & Zeiger, 2013).

Outros fatores significativos são a irregularidade da copa arbórea e o efeito do vento, que podem alterar a detecção, considerando que os equipamentos são instalados em um ponto fixo específico (Elli et al., 2016). Mesmo aplicada em uma faixa lateral, a poda *hedge* permite uma entrada de radiação solar mais uniforme, devido ao ângulo de incidência solar, que favorece a penetração de raios solares no dossel da planta, em comparação com uma entrada de luz mais heterogênea causada pela poda central. Também é possível observar uma maior oferta luminosa em horas de maior inclinação do o sol, disponibilizando maior radiação nas folhas de toda a superfície da planta devido ao aumento do ângulo zenital, conforme observado por Elli et al. (2016) em um contexto de agrofloresta.

O índice SPAD, que demonstra o efeito do manejo das plantas, mostrou que as áreas submetidas ao manejo da poda e desbaste obtiveram maiores teores de clorofila. Isto pode traduzir nas plantas um melhor desenvolvimento, produção e qualidade de nozes, além de representar plantas mais saudáveis. O índice SPAD foi utilizado em várias frutíferas para obter o diagnóstico nutricional, apresentando uma correlação positiva com o teor de clorofilas e N foliar total (Benati et al., 2021; Vidigal & Moreira, 2021). No estudo realizado por Lombardini et al. (2009) comparando folhas de sol e de sombra, os autores observaram que na cultivar Stuart as folhas de sol também obtiveram um valor superior em relação às folhas de sombra. Segundo a análise foliar da área experimental, foi constatado que as plantas apresentavam concentrações de nitrogênio baixas (23,81g·kg^{-1}) no momento das as leituras do índice SPAD (Figura 1). Portanto, a correção da adubação permitiria um aumento dos valores obtidos pelo clorofilômetro de maneira geral.

A redução de ramos secos com a poda central ocorreu principalmente por um fator: o aumento da incidência solar no interior da copa das plantas, que foi constatado na medida das 12h. Na poda *hedge*, a técnica de desponte lateral não contempla o interior da planta e favorece o aumento de brotações na lateral, o que determinou que a entrada de luz e o fluxo de ar ficassem reduzidos, sem influência no secamento de ramos (Hellwig et al., 2022). Nas áreas do pomar com os tratamentos controle, o desbaste de plantas e a poda *hedge,* não houve diferença em relação à presença de ramos secos; porém, a poda central mostrou um efeito positivo quanto a esta variável. O secamento dos ramos é resultado da baixa exposição das folhas ao sol. Segundo o

estudo de Lombardini et al. (2009), as folhas de sombra mostraram uma resposta fotossinteticamente menos eficiente em relação às folhas expostas ao sol, embora o autor também tenha observado uma adaptação das folhas através de mudanças morfofisiológicas de acordo com o ambiente.

Em relação à produção e às qualidades físicas dos frutos, o desbaste causou um efeito significativo nas plantas: além de o manejo ter proporcionado maior disponibilidade de luz solar nas copas, também não retirou ramos potencialmente produtivos pela poda. Outro fator a considerar é a possível redução da competição por água, nutrientes e espaço após a realização do desbaste. Em relação à produtividade ($kg \cdot ha^{-1}$), o aumento da produção por planta não foi suficiente para compensar a retirada de árvores pelo desbaste, o que torna as podas mais vantajosas nesta variável na primeira colheita de frutos após os manejos realizados. Destaca-se a qualidade dos frutos e a importância de frutos de bom calibre, pois se trata de critérios que valorizam as nozes vendidas para alguns mercados consumidores. Segundo Bilharva et al. (2018), a cultivar Pitol 1 necessita de 107,05 frutos por quilo, que é um valor próximo ao obtido com o desbaste de plantas.

5. Conclusões

As podas *hedge* e central incrementam a porcentagem de RFA abaixo da copa de árvores de nogueira-pecã em alta densidade de plantio, o que potencializa a fotossíntese de folhas no interior do dossel vegetativo, evitando somente a exposição solar de folhas da superfície da planta; o índice SPAD indica que tanto as podas quanto o desbaste de plantas aumentam a concentração de clorofilas nas plantas, embora somente com a poda central ocorre uma redução de ramos secos. A produção e qualidade de frutos é maior em plantas mais espaçadas, após o desbaste de plantas. Porém, pela redução da densidade de plantas dentro do pomar, este manejo apresenta uma produtividade menor que as podas na safra após a execução.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pela concessão de bolsas de estudos.

Transparência de dados

Dados disponíveis: todo o conjunto de dados que sustenta os resultados deste estudo foi publicado no próprio artigo.

Declaração de contribuição dos autores

	CG Hellwig	CR Martins	C Reisser Junior	AD Vaz Lima	V Pohllmann	MB Malgarim
Conceptualization	■	■				
Investigation	■					
Methodology	■	■	■			
Writing – original draft	■					
Writing – review and editing		■	■	■	■	■

Referências

Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift, 22*(6), 711-728. https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507

Arreola Ávila, G. A., Lagarda Murrieta, A., Borja de la Rosa, A., Valdez Cepeda, R., & López Ariza, B. (2010). Disponibilidad de luz y producción de nuez después del aclareo de árboles de nogal pecanero (*Carya illinoinensis*). *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 16*(2), 147-154. https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2009.11.047

Assis, F. N., & Mendez, M. E. (1989). Relação entre radiação fotossinteticamente ativa e radiação global. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, 24*(7), 797-800.

Benati, J. A., Nava, G., & Mayer, N. A. (2021). SPAD index for diagnosis of nitrogen status in "Esmeralda" peach. *Revista Brasileira de Fruticultura*, *43*(1), Article e-093. https://doi.org/10.1590/0100-29452021093

Bergamaschi, H., & Bergonci, J. I. (2017). *As plantas e o clima: princípios e aplicações*. Agrolivros.

Bilharva, M. G., Martins, C. R., Hamann, J. J., Fronza, D., De Marco, R., & Malgarim, M. B. (2018). Pecan: From research to the Brazilian reality. *Journal of Experimental Agriculture International, 23*(6), 1-16. https://doi.org/10.9734/JEAI/2018/41899

dos Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., dos Anjos, L. H. C., de Oliveira, V. A., Lumbreras, J. F., Coelho, M. R., de Almeida, J. A., Araújo Filho, J. C., de Oliveira, J. B, & Cunha, T. J. F. (2018). *Sistema brasileiro de classificação de solos* (5th ed.). Embrapa.

Elli, E. F., Caron, B. O., Paula, G. M., Eloy, E., & Schmidt, D. (2016). Ecofisiologia da cana-de-açúcar no sub-bosque de canafístula em arranjos de sistema agroflorestal. *Comunicata Scientiae, 7*(4), 464-472. https://doi.org/10.14295/CS.v7i4.1538

Ferreira, D. F. (2014). Sisvar: A guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciência e Agrotecnologia, 38*(2), 109-112. https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001

Fronza, D., Hamann, J. J., Both, V., Anese, R. de O., & Meyer, E. A. (2018). Pecan cultivation: General aspects. *Ciência Rural, 48*(2), Article e20170179. https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20170179

Gong, Y., Pegg, R. B., Kerrihard, A. L., Lewis, B. E., & Heerema, R. J. (2020). Pecan kernel phenolics content and antioxidant capacity are enhanced by mechanical pruning and higher fruit position in the tree canopy. *Journal of the American Society for Horticultural Science, 145*(3), 193-202. https://doi.org/10.21273/JASHS04810-19

Hellwig, C. G., Martins, C. R., Lima, A. D. V., Barreto, C. F., Medeiros, J. C. F., & Malgarim, M. B. (2022). Hedge and central pruning in a high-density pecan orchard in southern Brazil. *Comunicata Scientiae, 13*, Article e3842. https://doi.org/10.14295/cs.v13.3842

Hernández de Santiago, J. A., Arreola Ávila, J. G., Trejo Calzada, R., & Flores Hernández, A. (2006). Distribución de luz en nogal pecanero (*Carya illinoinensis*) después del aclareo de huertas con problemas de sombreo. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas, 5*(2), 185-190.

Hoffmann, J. F., Crizel, R. L., Siebeneichler, T. J., Foscarini, S. C., Silva, T. O. dos S., Ferreira, C. D., Carvalho, I. R., Hellwig, C. G., & Martins, C. R. (2024). Tree thinning affects the physicochemical characteristics and bioactive compounds in "Barton" and "Melhorada" pecan cultivars. *Ciência e Agrotecnologia, 48*, Article e005924. https://doi.org/10.1590/1413-7054202448005924

Lombardini, L. (2006). One-time pruning of pecan trees induced limited and short-term benefits in canopy light penetration, yield, and nut quality. *HortScience, 41*(6), 1469-1473. https://doi.org/10.21273/hortsci.41.6.1469

Lombardini, L., Restrepo-Diaz, H., & Volder, A. (2009). Photosynthetic light response and epidermal characteristics of sun and shade pecan leaves. *Journal of the American Society for Horticultural Science, 134*(3), 372-378. https://doi.org/10.21273/JASHS.134.3.372

Malgarim, M. B., Hellwig, C. G., Rosa Junior, H. F., Costa, V. B., & Martins, C. R. (2024). Poda. In C. R. Martins, M. Lazarotto, & M. B. Malgarim (Eds.), *Nogueira-pecã: Cultivo, benefícios e perspectivas* (pp. 231-250). Embrapa.

McCree, K. J. (1972). Test of current definitions of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data. *Agricultural Meteorology, 10*, 443-453. https://doi.org/10.1016/0002-1571(72)90045-3

Radin, B., Bergamaschi, H., Reisser, C., Jr., Barni, N. A., & Matzenauer, R. (2003). Eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa pela cultura do tomateiro em diferentes ambientes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, 38*(9), 1017-1023. https://doi.org/10.1590/S0100-204X2003000900001

Silva, M. C. de C., Coelho, F. S., Braun, H., & Fontes, P. C. R. (2011). Índice SPAD em função de diferentes horários e posições no folíolo da batata sob fertilização nitrogenada. *Revista Ciência Agronômica, 42*(4), 971-977. https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000400020

Taiz, L., & Zeiger, E. (2013). *Fisiologia vegetal* (5th ed.). Artmed.

Vidigal, S. M., & Moreira, M. A. (2021). Índice SPAD, teores de nitrato na seiva de folhas e produtividade de cebola em dois tipos de solo. *Brazilian Journal of Development, 7*(8), 81569-81584. https://doi.org/10.34117/bjdv7n8-393

Wells, L. (2018). Mechanical hedge pruning affects nut size, nut quality, wind damage, and stem water potential of pecan in humid conditions. *HortScience, 53*(8), 1203-1207. https://doi.org/10.21273/HORTSCI13217-18