

doi <https://doi.org/10.18265/2447-9187a2022id7731>

ARTIGO ORIGINAL

SUBMETIDO 15/05/2023

APROVADO 26/09/2023

PUBLICADO ON-LINE 18/10/2023

PUBLICADO 15/01/2025

EDITOR ASSOCIADO

Prof. Dr. Fábio Júnior Araújo Silva

Produtividade do tremoço-branco (*Lupinus albus* L.) cv. comum em função da adubação foliar com micronutrientes

 Vanessa Kravutschke Barbosa ^[1]

 Gabriel Dias Martins ^[2]

 Heverton Fernando Melo ^[3]

 Silvana Ohse ^[4] ✱

[1] 22015522@uepg.br

[2] 20016522@uepg.br

[3] hevertonfernando@gmail.com

[4] sohse@uepg.br

Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), Ponta Grossa, Paraná, Brasil

✱ Autor para correspondência.

RESUMO: O cultivo de tremoço-branco é incipiente no Brasil, apesar de sua aptidão para a região Sul durante o outono-inverno. A cultura pode ganhar expressão não só pelo seu potencial de uso como adubação verde e cobertura do solo, mas também pela composição química de suas sementes. Nesse contexto, desenvolveu-se um experimento na região dos Campos Gerais, no estado do Paraná (PR), com o objetivo de avaliar o efeito da aplicação foliar de micronutrientes e produtos comerciais constituídos de micronutrientes sobre o desenvolvimento e a produtividade da cultura do tremoço-branco. Micronutrientes são frequentemente exportados das áreas agrícolas sem a devida reposição, não existindo informações sobre esse tema para essa cultura. O experimento foi conduzido em blocos casualizados com quatro repetições, incluindo nove tratamentos (Controle, Zn, B, Cu, Mn, Zn+Cu+B+Mn, BRANDT® COMPLETO, SUPRA® e BIOPOWER®). As variáveis estande inicial, altura de planta na fase vegetativa, altura de planta na colheita, número de ramificações por planta, número de vagens por planta, número de sementes por vagem e a massa de 100 grãos não responderam à aplicação foliar de micronutrientes. No entanto, a produtividade do tremoço-branco aumentou em 42,82% (408,58 kg.ha⁻¹) com a aplicação de Cu na dose de 300 g.ha⁻¹ via foliar em duas parcelas. O tremoço-branco foi hospedeiro da broca das axilas (*Crociosema aporema*) e altamente suscetível a doenças. O tremoço-branco revelou ser uma opção de cultura de outono-inverno para a região de Ponta Grossa-PR, quando se busca cobertura do solo e fixação biológica de nitrogênio.

Palavras-chave: adubação foliar; *Lupinus albus* L.; micronutrientes; produtividade; tremoço-branco.

Productivity of white lupine (*Lupinus albus* L.) as a function of foliar fertilization with micronutrients

ABSTRACT: The cultivation of white lupin is still incipient in Brazil, despite its suitability for the southern region during the autumn-winter season. The crop has the



potential to gain prominence not only for its potential use as green manure and soil cover but also for the chemical composition of its seeds. In this context, an experiment was conducted in the Campos Gerais region, in the state of Paraná (PR), aiming to evaluate the effect of foliar application of micronutrients and commercial products containing micronutrients on the development and productivity of white lupin. Micronutrients are often exported from agricultural areas without proper replenishment, and there is a lack of information on this subject for this crop. The experiment was carried out in a randomized block design with four replications, comprising nine treatments (Control, Zn, B, Cu, Mn, Zn+Cu+B+Mn, BRANDT® COMPLETO, SUPRA® and BIOPOWER®). The variables initial stand, plant height at the vegetative stage, plant height at harvest, number of branches per plant, number of pods per plant, number of seeds per pod, and 100-grain weight did not respond to foliar application of micronutrients. However, the productivity of white lupin increased by 42.8% (408.58 kg.ha⁻¹) with the application of Cu at a dose of 300 g.ha⁻¹ via foliar application in two parts. White lupin was a host to the stem borer (*Crociosema aporema*) and highly susceptible to diseases. White lupin proved to be a viable option for an autumn-winter crop in the region of Ponta Grossa-PR when seeking soil cover and biological nitrogen fixation.

Keywords: foliar fertilization; *Lupinus albus* L.; micronutrients; productivity; white lupin.

1 Introdução

O gênero *Lupinus*, popularmente conhecido como tremoço, é uma planta herbácea anual que apresenta crescimento ereto, folhas compostas e digitadas, inflorescências papilonadas e racemosas e frutos do tipo vagem, com até sete sementes (Pinheiro; Miotto, 2001). As flores são hermafroditas, com cinco estames curtos e cinco longos. A germinação e emergência ocorrem em torno de 10 a 20 dias, desenvolvendo-se em temperatura entre 15 °C e 25 °C, com altura entre 0,8 m e 1,5 m e produção média em massa seca de 5.000 kg.ha⁻¹ (Calegari *et al.*, 1993; Espíndola; Guerra; Almeida, 1997) e de grãos em torno de 1.000 a 1.500 kg.ha⁻¹ (Bevilaqua *et al.*, 2008). Todavia, a produtividade de grãos pode ser muito superior, conforme demonstrado em estudos realizados na Ucrânia, com produtividade média de 3.230 kg.ha⁻¹ (Mazur *et al.*, 2019), e na Etiópia, com produtividade de 2.630 kg.ha⁻¹ (Hunegnaw *et al.*, 2022).

O tremoço-branco (*Lupinus albus*), pertencente à família Fabaceae, foi a primeira espécie do gênero *Lupinus* conhecida na história, sendo suas sementes empregadas no consumo humano e animal há mais de 3.000 anos ao redor do Mar Mediterrâneo, com relevante consumo na Europa, África e Austrália. As sementes do tremoço-branco apresentam grande potencial de uso medicinal (Nigussie, 2012), auxiliando na prevenção de diabetes, hipertensão, obesidade, doenças cardiovasculares, níveis elevados de triglicerídeos e de glicemia, resistência à insulina e câncer colorretal (Prusinski, 2017). Seu uso como componente de produtos alimentares saudáveis ou vegetarianos está crescendo, como na produção de farinha sem glúten, produtos fermentados por bactérias e fungos, macarrão e massas, entre outros (Prusinski, 2017). Isso se justifica pelo teor de proteína das sementes – em torno de 40% (Cabello-Hurtado *et al.*, 2016; Prusinski, 2017; Van de Noort, 2017) –, pela excelente qualidade do óleo (Boschin *et al.*, 2008; Prusinski, 2017) e pela sua constituição fitoquímica rica em compostos fenólicos, fitoesteróis, tocoferóis e esqualeno (Gao *et al.*, 2020; Johnson *et al.*, 2017; Khan *et al.*, 2015; Prusinski, 2017). No entanto, alcaloides de quinolizidina (QAs), compostos estes de sabor amargo e tóxicos, estão presentes em suas sementes, convertendo-se em um problema de segurança alimentar

(Magalhães *et al.*, 2017; Resta *et al.*, 2008). Esse problema pode ser evitado por embebição em água por várias horas ou cocção por 45 a 60 minutos (Jiménez-Martínez *et al.*, 2001).

O tremoço-branco também apresenta grande relevância na agricultura sustentável, melhorando as propriedades físico-químicas do solo, aumentando o teor de matéria orgânica, ao deixar uma considerável quantidade de resíduos na colheita, e reduzindo a necessidade de suplementação nitrogenada no cultivo subsequente, devido à sua capacidade de realizar simbiose com bactérias diazotróficas do gênero *Bradyrhizobium* (Lucas *et al.*, 2015). Além disso, mobiliza o fósforo do solo devido à formação de raízes em formato de cachos (Lambers; Clements; Nelson, 2013). A demanda por proteína dietética está crescendo, tanto pelo aumento populacional quanto pela mudança de hábitos alimentares. Dessa forma, o consumo de produtos de origem animal para reposição proteica vem diminuindo, com a soja se tornando a principal fonte para alimentos e rações, da qual o Brasil é o maior produtor e exportador (70%). No entanto, é uma cultura de verão. Essa conjuntura pode propiciar a ampliação da área cultivada com tremoço no país, podendo se tornar uma excelente opção para a região dos Campos Gerais, no estado do Paraná (PR), tanto por ser uma cultura de outono-inverno, não competindo com a soja, quanto por apresentar ampla adaptabilidade edafoclimática (Tomasini; Lhamby; Santos, 1982). Adicionalmente, a produção mundial de grãos de tremoço é insuficiente para garantir um suprimento estável e suficiente, necessário para seu uso na indústria de alimentos e rações (Lucas *et al.*, 2015), tornando-se fundamental aumentar sua produtividade.

A produtividade das culturas pode ser maximizada por meio do uso de cultivares altamente melhoradas, maquinários de alta tecnologia e pela intensificação do uso de macronutrientes aplicados na fonte certa, na dose certa e na época certa, entre outros. A partir da década de 1980, pesquisas demonstraram a importância da aplicação de micronutrientes, os quais eram exportados das lavouras via grãos sem a devida reposição, podendo ser efetuada tanto via solo quanto via sementes e foliar (Bessani *et al.*, 2022; Marchezan *et al.*, 2001; Ohse *et al.*, 2000; Ohse *et al.*, 2013; Ribeiro; Santos, 1991; Ribeiro; Santos, 1996; Santos; Estefanel, 1986; Santos; Ribeiro, 1994).

A cidade de Ponta Grossa faz parte dos Campos Gerais, situando-se no Segundo Planalto do estado do Paraná, tendo a Escarpa Devoniana a leste e a Serra Geral a oeste. Seus solos são derivados de rochas sedimentares, como siltitos e folhelhos, sendo naturalmente pobres em micronutrientes, principalmente zinco (Zn), boro (B), cobre (Cu) e manganês (Mn) (Guimarães *et al.*, 2014). O Zn faz parte de enzimas como a superóxido dismutase e a catalase, que evitam o efeito deletério das espécies reativas de oxigênio (ERO), a anidrase carbônica, responsável pela conversão do CO₂ em HCO₃⁻ e vice-versa, a álcool desidrogenase e a aldolase, além de ser necessário para a síntese de triptofano, aminoácido precursor do ácido indol 3-acético, principal auxina produzida pela planta. O B forma complexos com manitol, manans e ácido polimanurônico das paredes celulares, atuando na permeabilidade de membranas. O Cu é constituinte da plastocianina, proteína que transfere elétrons do citocromo b6-f para o fotossistema I, na fase fotoquímica da fotossíntese. O Mn é cofator de algumas enzimas, mas tem como principal função ser constituinte do complexo liberador de oxigênio na fotoquímica da fotossíntese. Tais funções tornam esses elementos químicos imprescindíveis às plantas, e para as de interesse econômico, teores adequados dos micronutrientes são indispensáveis para a obtenção de altas produtividades (Taiz *et al.*, 2021).

Os efeitos benéficos da aplicação de micronutrientes foram comprovados em várias culturas, entretanto, não há consenso, indicando a necessidade de pesquisas regionais para melhor avaliar seus efeitos, principalmente pelo fato de a maioria dos solos da região dos Campos Gerais ser oriunda de rochas sedimentares, naturalmente pobres em micronutrientes. Além disso, há muitos produtos comerciais contendo micronutrientes.

Diante do exposto, e considerando a ausência de informações sobre a reposição de micronutrientes na cultura do tremoço-branco, cv. Comum, desenvolveu-se o presente estudo com o objetivo de avaliar o efeito da aplicação foliar de Zn, B, Cu e Mn, oriundos de produtos puros por análise (p.a.) e de produtos comerciais contendo micronutrientes, sobre o desenvolvimento e a produtividade de grãos, visando também seu estabelecimento como opção de cultura para o outono-inverno na região de Ponta Grossa-PR.

Na próxima seção são evidenciados o método de pesquisa, que descreve a metodologia adotada na condução do experimento, constando da localização, análise física e química do solo, delineamento experimental, características da cultura do tremoço-branco, manejo cultural, variáveis avaliadas e tratamento estatístico dos dados (seção 2). Na sequência são apresentados os resultados concomitantes com a discussão (seção 3) e, por último, na seção 4, as considerações finais da pesquisa.

2 Método da pesquisa

O experimento foi instalado em maio de 2022, na Gleba B6 do Campo Demonstrativo Experimental da Fazenda Escola Capão da Onça, em uma área de 800 m² (50 m × 16 m), com altitude média de 1.002 m acima do nível do mar, 25°05'37" de latitude sul e 50°03'35" de longitude oeste. O clima da região é classificado como Cfb subtropical úmido mesotérmico, conforme classificação de Köppen (Nitsche *et al.*, 2019; Peel; Finlayson; McMahon, 2007). O solo da área é classificado como Cambissolo Háplico Distrófico de textura arenosa (Santos *et al.*, 2018), com teores médios de 592, 184 e 223 g.kg⁻¹ de areia, silte e argila, respectivamente, na camada de 0,0 m a 0,1 m. As características físicas e químicas do solo na camada de 0,0 m a 0,2 m da área experimental estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 ►

Características físicas e químicas do solo da área experimental.
Fonte: dados da pesquisa

Atributos	Unidades	Profundidade (0,0 m - 0,2 m)
pH em CaCl ₂	–	4,46
H + Al	cmolc.dm ⁻³	5,15
Al trocável	cmolc.dm ⁻³	0,17
Ca trocável	cmolc.dm ⁻³	2,19
Mg trocável	cmolc.dm ⁻³	0,51
K trocável	cmolc.dm ⁻³	0,36
P	cmolc.dm ⁻³	37,90
CTC a pH 7,0	cmolc.dm ⁻³	8,21
CTC efetiva	cmolc.dm ⁻³	3,23
Sat. por bases (V)	%	37,30
Sat. por Al (m)	%	5,30
Sat. por Ca	%	26,70
Sat. por Mg	%	6,20
Sat. por K	%	4,40
Relação Ca/Mg	–	4,30
Relação Ca + Mg/K	–	7,50
Densidade do solo	g.cm ⁻³	1,59
Carbono orgânico total	g.kg ⁻¹	17,00
Resistência à penetração	MPa	2,16

H + Al = Solução Tampão SMP; Al, Ca e Mg trocáveis = KCl 1 mol L⁻¹; P e K = Mehlich-1 e C-orgânico = Walkley-Black.

Figura 1 ▼

- (a) Raiz de *Lupinus albus* L. nodulada por bactéria fixadora de nitrogênio aos 52 dias após a semeadura (DAS).
 (b) Detalhe de um nódulo ativo aos 85 DAS.
 Fonte: arquivo dos autores

A cultivar de tremoço-branco utilizada foi a Comum, adquirida da empresa Pirai Sementes: adubação verde e cobertura vegetal. Trata-se de uma cultura de outono-inverno, com exigência mediana em fertilidade do solo, uma vez que seu sistema radicular se associa a bactérias dos gêneros *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*, fixadoras de nitrogênio. As sementes de tremoço-branco não foram inoculadas, mas a simbiose se estabeleceu devido à presença de bactérias no solo da área experimental (Figuras 1a e 1b). Não foi realizada adubação nitrogenada. A nodulação foi observada no início da fase autotrófica, ocorrendo em torno de duas semanas após a emergência, tornando-se bastante significativa a partir de então, como pode ser observado aos 52 dias após a semeadura (DAS) (Figura 1a), apresentando boa atividade ao longo do ciclo, comprovada pela coloração rosada do nódulo aos 85 DAS (Figura 1b).



Tabela 2 ▼

Tratamentos aplicados via adubação foliar na cultura do tremoço-branco, cv. Comum.
 Fonte: dados da pesquisa

Para implantação do experimento, realizou-se primeiramente a dessecação da área, utilizando o herbicida glyphosate na dose de 3 L de p.c. ha⁻¹. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, com 9 tratamentos repetidos 4 vezes, totalizando 36 unidades experimentais. Os tratamentos estão descritos na Tabela 2.

Tratamentos	Doses	Fontes
1- Controle	–	–
2- Zn	300 g.ha ⁻¹	ZnSO ₄ .7H ₂ O (p.a.)
3- B	200 g.ha ⁻¹	H ₃ BO ₃ (p.a.)
4- Cu	300 g.ha ⁻¹	CuSO ₄ ANIDRO (p.a.)
5- Mn	300 g.ha ⁻¹	MnSO ₄ .H ₂ O (p.a.)
6- Mistura Zn+B+Cu+Mn	Respectivas doses	Respectivas fontes (p.a.)
7- BRANDT® COMPLETO	2 L.ha ⁻¹	N, P, K, Ca, Mg, B, Cu, Mn e Zn (5%; 8%; 5%; 0,5%; 0,6%; 0,4%; 0,2%; 0,5% e 1%)
8- BIOPOWER®	0,5 L.ha ⁻¹	S, Fe, Zn e C orgânico (3,45%; 0,5%; 4,5% e 6%)
9- SUPRA®	1,5 L.ha ⁻¹	N, P ₂ O ₅ , K ₂ O, Ca, B, Cu, Fe, Mo, Zn e C orgânico (5%; 10%; 6%; 2%; 0,5%; 0,2%; 0,1%; 0,1%; 1,1% e 6%)

* A todas as caldas foi adicionado o adjuvante siliconado BRANDT® ACTION SIL, na dose de 1 mL.L⁻¹

As doses de cada produto comercial foram selecionadas em função da recomendação para a cultura da soja, uma vez que não há recomendação para a cultura do tremoço-branco. As doses de cada produto (Tabela 2) foram dissolvidas em água deionizada, completando-se o volume para 20 mL, sendo então distribuídas sobre 3.000 g de sementes acondicionadas em sacos plásticos. Posteriormente, os sacos plásticos foram fechados e agitados até a completa uniformização do produto sobre as sementes, sendo em seguida deixados abertos para secagem das sementes tratadas à sombra. As sementes do tratamento controle (testemunha) passaram pelo mesmo processo, mas foram umedecidas somente com 20 mL de água deionizada.

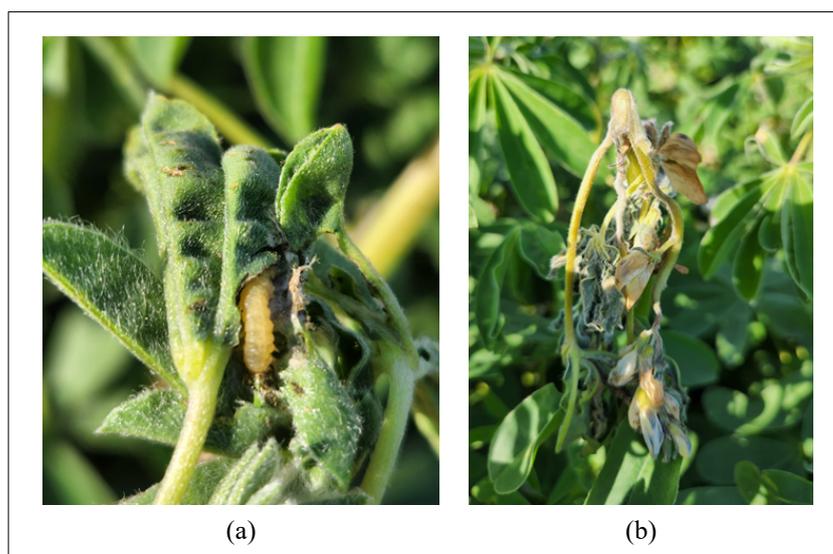
A semeadura foi realizada no dia 9 de maio de 2022, utilizando-se 16 sementes por metro linear em espaçamento de 0,45 m entre linhas, perfazendo uma população de 355 mil plantas.ha⁻¹. As parcelas experimentais foram constituídas de 8 linhas de semeadura espaçadas em 0,45 m, com cada linha contendo 4 m de comprimento, totalizando uma área de 16,00 m² (4,0 m × 4,0 m) e uma área útil de cada parcela de 5,4 m² (1,8 m × 3 m). A emergência ocorreu entre os dias 15 e 20 de maio, ou seja, do 6º ao 11º DAS.

A adubação de cobertura foi realizada aos 34 DAS, utilizando-se 200 kg.ha⁻¹ de 0-20-20 e 150 kg.ha⁻¹ do composto Caltim, fonte de Ca e Mg. A primeira aplicação foliar dos tratamentos foi realizada aos 44 DAS, quando as plantas se encontravam com sete a oito folhas completamente expandidas e a oitava e nona aparentes. A segunda aplicação foi realizada na fase reprodutiva, correspondendo a 87 DAS. As aplicações dos fertilizantes foram realizadas com pulverizador pressurizado de CO₂ com pressão constante (45 psi) e volume de calda de 150 L.ha⁻¹. A colheita foi realizada em dezembro de 2022, totalizando 220 dias de ciclo.

Devido à ocorrência da broca das axilas (*Crociosema aporema* – Figura 2a), realizou-se duas aplicações de inseticidas, a primeira com UPMYL (0,5 L de p.c.ha⁻¹) e a segunda com UPMYL (0,5 L de p.c.ha⁻¹) e FOX (0,5 L.ha⁻¹) em mistura. Para o controle de doenças durante o ciclo da cultura (Figura 2b), aplicou-se o fungicida Ativum (BASF) na dose 1,0 L de p.c.ha⁻¹, com volume de calda de 150 L.ha⁻¹. O controle de plantas daninhas foi realizado manualmente durante todo o ciclo.

Figura 2 ▶

(a) *Crociosema aporema*.
(b) Sintomas de doenças presentes nas inflorescências do tremoço-branco (*Lupinus albus*).
Fonte: arquivo dos autores



As variáveis avaliadas foram: estande inicial (EI) e final (EF), altura de plantas na fase vegetativa (APV) e na colheita (APC), número de ramificações por planta (NRP),

número de vagens por planta (NVP), número de sementes por vagem (NSV), massa de 100 grãos (MCG) e produtividade (PROD).

Aos 30 DAS, foi realizada a contagem do número de plantas em 1 m de linha, sempre na linha central da área útil da parcela, visando à determinação do estande e população iniciais. A altura média das plantas foi determinada quando as plantas se encontravam entre V6-V7; V8-V9 e por ocasião da colheita, medindo-se, com fita métrica graduada em cm, a distância entre a superfície do solo e o ápice do caule de cinco plantas da área útil em cada unidade experimental. Os números médios de ramificações por planta, de vagens por planta e de sementes por vagem foram determinados por meio da contagem dos ramos oriundos do caule principal, da contagem do número de vagens e pela avaliação de dez vagens em cinco plantas por unidade experimental, respectivamente.

Momentos antes da colheita, foi realizada a contagem do número de plantas em 1 m de linha, no local previamente demarcado por bandeirinha (que permaneceu até a pré-colheita) na linha central da área útil da parcela, visando à determinação do estande e da população finais. A colheita foi efetuada no dia 15 de dezembro, utilizando-se a colhedora de parcela Quantum Plus da Wintersteiger. A colhedora possui largura de plataforma de colheita de 1,8 m, perfazendo o total de 4 linhas de cultivo, previamente demarcados em 3 m de comprimento, totalizando a área útil de 5,4 m². Após a determinação da massa de grãos na área útil, foi determinado o teor de umidade, efetuando-se a correção para 14%, estimando-se os valores de produtividade de grãos para kg.ha⁻¹.

Os dados obtidos para cada variável foram submetidos à análise da variância por meio do software estatístico SISVAR (Ferreira, 2019) e, quando significativos, submetidos ao teste de SNK (Student-Newman-Keuls) para separação de médias.

Tabela 3 ▼

Resumo da análise da variância para as variáveis estande inicial (EI) e final (EF), altura de planta na fase vegetativa (APV) e na colheita (APC), número de ramificações por planta (NRP), número de vagens por planta (NVP), número de sementes por vagem (NSV), massa de 100 grãos (MCG) e produtividade de grãos (PROD) em função da aplicação foliar de micronutrientes na cultura do tremoço-branco.
Fonte: dados da pesquisa

3 Resultados e discussões

A análise da variância revelou significância apenas para as variáveis estande final (EF) e produtividade (PROD) (Tabela 3). Os coeficientes de variação obtidos para as variáveis altura de planta na fase vegetativa (APV), altura de planta no reprodutivo (APR) e massa de 100 grãos (MCG) demonstraram boa precisão experimental, o que, segundo Pimentel-Gomes (2009), indica alta homogeneidade dos dados e baixa variação ao acaso. A precisão experimental foi baixa para as variáveis número de vagens por planta (NVP), número de sementes por vagem (NSV) e produtividade (PROD), sendo mediana para estande inicial (EI), estande final (EF) e número de ramificações por planta (NRP) (Tabela 3). A alta variação ao acaso para as variáveis NVP, NSV e PROD está associada à alta incidência tanto da broca das axilas (*Crocidosema aporema*) quanto de doenças, principalmente durante a fase reprodutiva.

Causa da variação	GL	Quadrado médio (Q.M.)								
		EI	EF	APV	APC	NRP	NVP	NSV	MCG	PROD
Tratamentos	8	5,77 ^{ns}	9,81 [*]	0,002 ^{ns}	0,007 ^{ns}	0,04 ^{ns}	6,01 ^{ns}	0,51 ^{ns}	2,32 ^{ns}	172250,31 [*]
Blocos	3	5,81	6,99	0,012	0,012	0,15	0,41	0,59	1,49	24848,58
Resíduo	24	4,48	2,14	0,002	0,006	0,10	4,15	0,30	3,52	28344,05
CV (%)		18,77	14,74	5,90	7,91	10,90	21,92	24,39	5,46	28,64

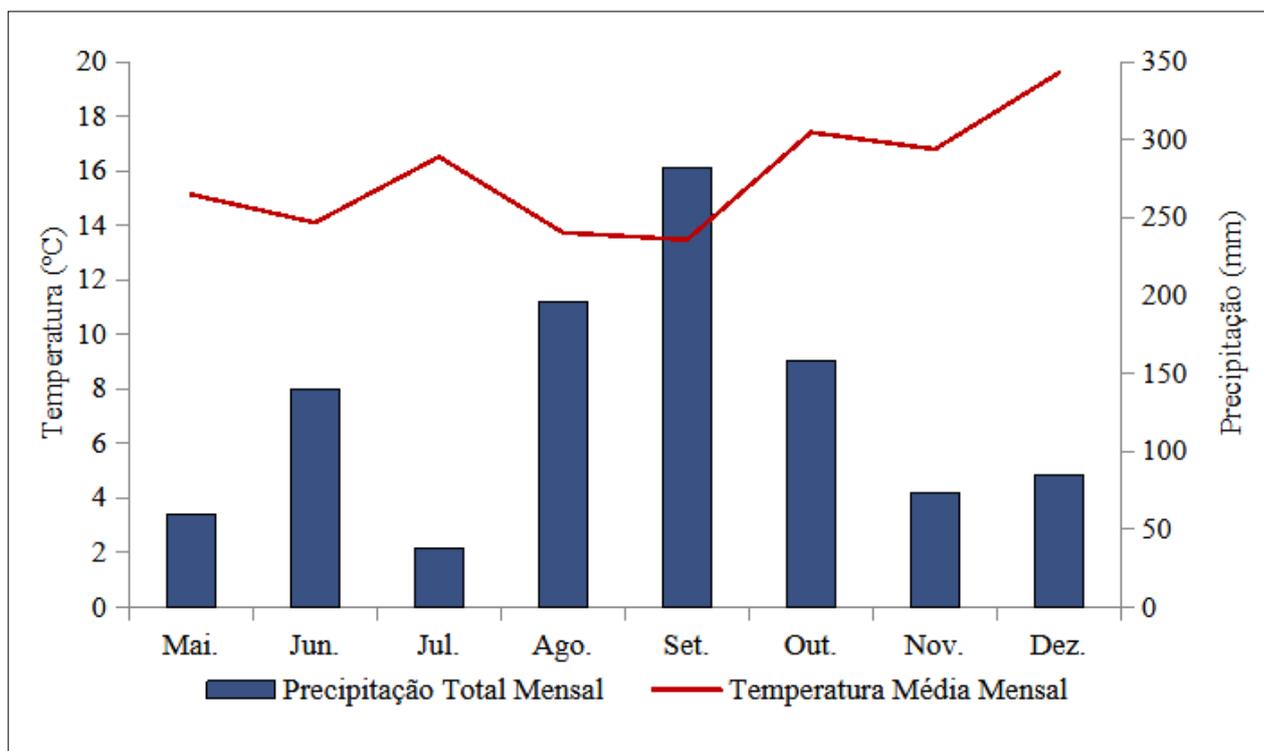
ns = não significativo; * = significativo a 1% de probabilidade. GL = Graus de Liberdade.



A precipitação durante o ciclo da cultura foi de 1032,2 mm, valor superior à faixa considerada ideal para fabáceas, como a soja, que varia entre 550 mm e 800 mm (Chavarría *et al.*, 2015). Durante a estação de crescimento, as temperaturas médias do ar foram de 15,1 °C em maio; 14,1 °C em junho; 16,5 °C em julho; 13,7 °C em agosto; 13,5 °C em setembro; 17,4 °C em outubro; 16,8 °C em novembro; e 20,9 °C em dezembro. As temperaturas médias durante os meses de inverno não foram muito baixas, com julho apresentando temperatura próxima à média de novembro e superior à de maio e junho. O ano de 2022 foi, em geral, úmido, com precipitação média durante o ciclo do trevoço sendo maior nos meses de agosto, setembro e outubro, acumulando 196,4 mm, 281,6 mm e 158,0 mm, respectivamente (Figura 3).

Figura 3 ▼

Precipitação e temperatura média mensal durante a condução experimental.
Fonte: dados da pesquisa



A alta incidência de doenças pode ser atribuída às condições climáticas durante o ciclo, como baixa luminosidade, temperatura média de 15,6 °C e alta precipitação de 1032,2 mm, principalmente nos meses de agosto a outubro (Figura 3), condições propícias ao desenvolvimento de muitas doenças. As aplicações de inseticidas e fungicidas não foram eficazes no controle. A broca das axilas surgiu no final da fase vegetativa, e a severidade de doenças foi alta durante a fase reprodutiva. Os sintomas de doenças foram observados tanto nas folhas como em ramificações, inflorescências, vagens e sementes (Figura 4).

Figura 4 ►

Sintomas de doenças observados em órgãos aéreos de *Lupinus albus*. (a) Nas folhas. (b) Torção da haste. (c) Detalhe interno das vagens. (d) Detalhe externo das vagens.
Fonte: arquivo dos autores

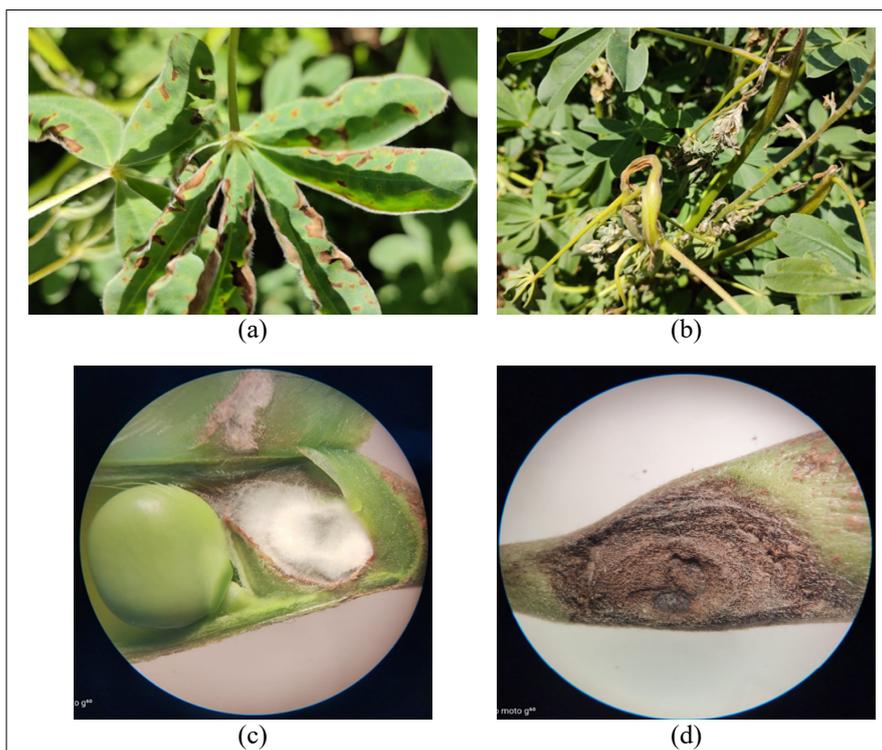


Tabela 4 ▼

Estande inicial (EI), estande final (EF), altura de planta na fase vegetativa (APV), altura de planta na colheita (APC), número de ramificações por planta (NRP), número de vagens por planta (NVP), número de sementes por vagem (NSV), massa de 100 grãos (MCG) e produtividade de grãos (PROD) em função da aplicação foliar de micronutrientes.
Fonte: dados da pesquisa

A população de plantas almejada foi de 355 mil plantas.ha⁻¹, que seria atingida se as 16 sementes por metro linear tivessem germinado e emergido. Todavia, das 16 sementes, 11,28 emergiram e se estabeleceram (estande inicial [EI] aos 30 DAS), equivalendo a uma redução de 29,5%. O estande final (EF), determinado aos 200 DAS, foi de 9,92 plantas.m⁻¹, uma redução de 12,06% em relação ao EI e de 38% em relação ao esperado. O estande final foi reduzido com a aplicação de 300 g.ha⁻¹ de Zn em relação à aplicação de 300 g.ha⁻¹ de Cu, 2 L.ha⁻¹ de BRANDT® COMPLETO, 0,5 L.ha⁻¹ de BIOPOWER® e 1,5 L.ha⁻¹ de SUPRA®, não diferindo, no entanto, do controle (Tabela 4). Esse fato pode estar relacionado à baixa emergência e estabelecimento das plântulas, antes mesmo da primeira aplicação dos tratamentos, visto que a média foi de 9,92 plantas.m⁻¹ linear (EI), decrescendo para 7,0 após as duas aplicações com Zn, utilizando-se a fonte ZnSO₄.7H₂O, uma redução correspondente a 26,3%.

Tratamentos	EI	EF	APV	APC	NRP	NVP	NSV	MCG	PROD
	(plantas.m ⁻¹)	(m)	(m)	(g)					
Testemunha	10,0	8,8 ab*	0,69	1,03	2,95	7,75	2,86	35,16	545,64 bc*
Zn	9,5	7,0 b	0,65	1,01	2,85	11,35	2,25	34,98	570,27 bc
Cu	12,5	11,3 a	0,73	0,95	2,90	10,20	2,35	34,50	954,22 a
B	10,5	9,5 ab	0,68	1,05	2,90	9,00	1,87	33,70	825,11 ab
Mn	11,0	9,5 ab	0,69	0,99	2,80	10,75	1,74	35,31	751,22 abc
Zn+Cu+B+Mn	11,5	9,3 ab	0,67	1,03	2,65	8,55	2,15	33,77	400,11 c
Brandt	11,0	10,5 a	0,67	1,02	3,00	8,50	2,22	33,00	411,40 c
Bio Power	12,5	11,5 a	0,66	0,98	2,85	9,35	2,69	34,57	414,84 c
Supra	13,0	12,0 a	0,69	0,93	2,85	8,20	2,01	34,27	417,88 c
Média	11,28	9,92	0,68	1,00	2,86	9,29	2,23	34,36	587,86

* Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de SNK a 1% de probabilidade.

A altura de planta não foi influenciada pelos tratamentos, tanto no vegetativo como no reprodutivo. A altura média das plantas de tremoço-branco na colheita foi de 1,0 m (Tabela 4), valor congruente com a faixa de 0,8 m a 1,2 m citada por Mera (2016, p. 16) para variedades modernas de tremoço-branco. Entretanto, na Europa, notadamente na França, variedades anãs com altura de até 0,6 m são cultivadas. Por outro lado, o tremoço-branco pode atingir cerca de 1,5 m de altura e até ultrapassar 1,8 m em primaveras chuvosas (Mera, 2016, p. 16). Kosev e Vasileva (2019), ao determinarem a altura de plantas de diferentes cultivares de tremoço-branco no início da fase reprodutiva, observaram valores entre 46,27 cm e 57,30 cm, inferiores à média obtida para a cultura do tremoço-branco, cv. Comum, determinada tanto no vegetativo quanto no reprodutivo, na região de Ponta Grossa-PR, Brasil (Tabela 4). Essa diferença pode estar relacionada com a altitude, visto que Pleven, na Bulgária, está a 116 m, enquanto Ponta Grossa-PR está a 988 m. Quanto maior a altitude, maior será a variação de temperatura entre noite e dia; as temperaturas noturnas serão menores em altitudes maiores, mantendo a taxa respiratória baixa durante a noite, consumindo menos fotossintatos na manutenção celular e permitindo maior crescimento (Taiz *et al.*, 2021).

O NSV médio foi de 2,23, semelhante ao valor médio obtido por Arnéz *et al.* (2021) para o *L. albus* durante cinco anos de cultivo na Bolívia, que foi de 2,3. Os NRP e NVP médios foram de 2,86 e 9,29. Acredita-se que o NVP teria sido muito maior se não fossem as condições ambientais propícias ao desenvolvimento de doenças, que afetaram significativamente as inflorescências e vagens (Figura 4 b-d). A produtividade do tremoço-branco, cv. Comum, foi influenciada pelos tratamentos. A aplicação de Zn não alterou a produtividade do tremoço-branco. No entanto, houve aumento de 408,58 kg.ha⁻¹ em relação à testemunha com a aplicação de Cu na dose de 300 g.ha⁻¹, dividida em duas aplicações, tendo como fonte o CuSO₄ anidro, correspondendo a um incremento de 42,82% na produtividade do tremoço-branco (Tabela 4). O ganho em produtividade pela aplicação foliar de Cu pode ser atribuído ao seu efeito antifúngico, uma vez que as doenças afetaram significativamente os órgãos aéreos das plantas de tremoço-branco. Todavia, o efeito do Cu não diferiu da aplicação de B e Mn. O efeito da aplicação de B e Mn pode ser atribuído ao fato de o solo da área experimental ser derivado de rocha sedimentar (arenito e silito), naturalmente pobre nos micronutrientes. O B atua na permeabilidade de membranas e o Mn é constituinte do complexo liberador de oxigênio na fase fotoquímica da fotossíntese, podendo ter maximizado a taxa de assimilação líquida de carbono, que corresponde à produtividade líquida (Taiz *et al.*, 2021). Por outro lado, quando os micronutrientes foram aplicados em mistura (Zn+Cu+B+Mn), a produtividade não foi maximizada (Tabela 4).

O potencial hidrogeniônico (pH) influencia a solubilidade dos nutrientes, sendo que, em pH ácido como o observado na área experimental (Tabela 1), aumenta-se a solubilidade dos micronutrientes, o que geralmente causaria toxicidade de Mn. No entanto, isso não ocorreu devido à sua baixa disponibilidade em função do material de origem, o que provavelmente proporcionou um aumento de 205,58 kg.ha⁻¹ em relação à testemunha, mesmo não diferindo significativamente pelo teste de SNK (Tabela 4). Da mesma forma, a aplicação de boro de forma parcelada elevou a produtividade em 239,55 kg.ha⁻¹ em relação à testemunha, o que pode ser justificado pela sua participação na permeabilidade de membranas (Taiz *et al.*, 2021).

Alguns elementos químicos de origem mineral têm sido associados à indução de tolerância a doenças em planta (Malandrakis; Kavroulakis; Chrysikopoulos, 2019; Melo *et al.*, 2016). Quanto ao Cu, sua aplicação foliar pode, além de contribuir no processo fotossintético por ser constituinte da plastocianina – proteína móvel na membrana do tilacoide, responsável pelo transporte de elétrons do citocromo b₆f para o fotossistema I na fase fotoquímica (Taiz *et al.*, 2021) –, reduzir a proliferação de

fungos, por possuir ação antimicrobiana (Reis; Forcelini; Reis, 2007). Na revisão sobre os compostos antimicrobianos à base de Cu, Lamichhane *et al.* (2018) concluíram que, além de possuir toxicidade relativamente alta para patógenos de plantas, o Cu apresenta baixa toxicidade para mamíferos. Na agricultura orgânica, os compostos antimicrobianos à base de cobre têm sido considerados os ingredientes ativos mais eficazes contra vários patógenos, como antracnose, míldio da videira, requeima da batata e oídio de muitas outras culturas (Finckh; Tamm; Bruns, 2015). Assim, acredita-se que a aplicação foliar de Cu (CuSO₄ anidro) tenha maximizado a produtividade do tremoço-branco em função de um possível efeito supressor de doenças.

A produtividade média do tremoço-branco, independentemente do tratamento, foi de 587,86 kg.ha⁻¹ (Tabela 4), valor muito inferior ao intervalo de 1.000 a 1.500 kg.ha⁻¹ considerado habitual para a cultura por Bevilaqua *et al.* (2008). Todavia, valores muito superiores foram observados por Mera e Galdames (2007) ao cultivarem tremoço-branco em diferentes regiões do Chile durante os anos de 2003 a 2005, uma vez que a produtividade de grãos variou de 2.738 e 6.933 kg.ha⁻¹.

A baixa produtividade do tremoço-branco decorreu, provavelmente, da alta ocorrência e severidade de doenças durante o ciclo da cultura. Uma das doenças comuns ao tremoço é a antracnose, causada pelo fungo *Colletotrichum* spp., que ocorre em alta umidade e regime chuvoso prolongado (Armesto *et al.*, 2016), associado à baixa luminosidade e temperaturas entre 15 °C e 25 °C, manifestando sintomas principalmente no florescimento, maturação e pós-colheita (Maia *et al.*, 2011). Por conseguinte, a ocorrência e a severidade de doenças são justificadas pela suscetibilidade da cultura somada às condições climáticas durante o ciclo, que foram propícias, uma vez que a precipitação foi de 1.032,2 mm, com média de 140 mm por mês. No entanto, os acumulados mais altos foram durante os meses de agosto, setembro e outubro, correspondendo a 196,4 mm, 281,6 mm e 158,0 mm, ou seja, durante a fase reprodutiva. As temperaturas médias do ar variaram de 13,5 °C a 20,9 °C (Figura 3); e a luminosidade foi baixa devido à alta nebulosidade, isso ainda aliado à ineficiência do controle químico. Em função disso, o fungo se disseminou em todos os órgãos aéreos das plantas (folhas, haste principal, ramificações, inflorescências e vagens), como pode ser observado na Figura 4.

Segundo Chavarria *et al.* (2015), a faixa de precipitação considerada ideal para fabáceas é de 550 mm a 800 mm. Dessa forma, a precipitação durante o ciclo do tremoço-branco pode ser considerada alta (Figura 3). As condições climáticas durante o ciclo não só tiveram efeito significativo, reduzindo a produtividade (Tabela 4), como também contribuíram significativamente na ampliação do ciclo do tremoço-branco no ano de 2022, que foi de 7,4 meses. Arnéz *et al.* (2021) obtiveram para o *L. albus* cultivado por cinco anos na Bolívia um ciclo médio de 7,8 meses, assemelhando-se ao obtido neste estudo para a condições climáticas vigorantes em Ponta Grossa-PR.

A avaliação de características relacionadas ao crescimento e desenvolvimento, bem como à produtividade, apontou que a cultura do tremoço-branco, cv. Comum, se adapta à região de Ponta Grossa-PR, sendo opção de cultura de outono-inverno, porém não foi promissora quanto à produção de grãos. A cultura também demonstrou ser hospedeira da broca das axilas (*Crociosema aporema*) – praga da cultura da soja, a qual é importante para a região e altamente suscetível a doenças –, o que prejudicou sobremaneira a produtividade da cultura. Ressalta-se que o ciclo da cultura foi ampliado devido ao número de dias nublados, à alta precipitação e à baixa luminosidade do período. Face ao exposto, torna-se nítida a necessidade de se repetir o experimento para avaliar o comportamento da cultura frente a diferentes condições climáticas, bem como em solo com pH menos ácido.

4 Considerações finais

O estande final foi reduzido quando da aplicação de 300 g.ha⁻¹ de Zn em relação à aplicação de 300 g.ha⁻¹ de Cu; 2 L.ha⁻¹ de BRANDT[®] COMPLETO; 0,5 L.ha⁻¹ de BIO POWER[®] e 1,5 L.ha⁻¹ de SUPRA[®]. A aplicação de cobre na dose de 300 g.ha⁻¹ via foliar em duas aplicações, tendo como fonte o CuSO₄ anidro, maximizou a produtividade de grãos do tremoço-branco, cv. Comum, em 42,82% (408,58 kg.ha⁻¹). Esses resultados, por serem referentes a apenas uma safra, são preliminares, indicando a necessidade de repetição do estudo e sugerindo futuras pesquisas que avaliem a suplementação de micronutrientes também via solo e tratamento de sementes. Além disso, seria interessante determinar a massa fresca e seca da parte aérea da cultura, considerando seu potencial uso como cobertura do solo.

Escassas são as informações sobre a cultura do tremoço no Brasil, no entanto, a cultura vem sendo utilizada, mesmo que de forma incipiente, em mix com outras espécies para a cobertura do solo e fixação de nitrogênio durante o outono-inverno, visando à cultura subsequente de primavera-verão. No presente estudo, observou-se que, mesmo sem inoculação, o tremoço-branco se associou a bactérias fixadoras de N presentes na área experimental (Figura 1). Assim, seriam profícuos estudos de prospecção das bactérias diazotróficas presentes no solo da área experimental, bem como pesquisas sobre o efeito da inoculação no desenvolvimento e produtividade da cultura.

A cultura do tremoço-branco, cv. Comum, foi hospedeira da broca das axilas (*Crociosema aporema*), representando um potencial problema para a principal cultura de primavera-verão da região, que é a soja. Além disso, o controle dessa praga na cultura do tremoço é dificultado pela morfologia das folhas, que permite à praga enovelar os folíolos, protegendo-se dos efeitos de produtos de contato. A cultura também demonstrou ser suscetível a doenças. Portanto, em situações de produção de sementes, outono-invernos muito chuvosos e com baixa luminosidade podem, além de reduzir significativamente a produtividade da cultura, aumentar a fonte de inóculo de patógenos. Outra dificuldade no cultivo para produção de sementes é o controle de plantas espontâneas em grandes áreas. Essa conjuntura evidencia a necessidade de futuras pesquisas sobre a cultura, tanto da prospecção como do manejo de doenças, pragas e plantas espontâneas. Somado a isso, pesquisas que avaliem densidades de semeadura e espaçamentos entre linhas para determinar a melhor população de plantas para o tremoço-branco seriam de grande valia para maximizar a produtividade.

Financiamento

Esta pesquisa não recebeu financiamento externo.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Contribuições ao artigo

BARBOSA, V. K.; MARTINS, G. D.; MELO, H. F.; OHSE, S.: concepção ou desenho do estudo/pesquisa; análise e/ou interpretação dos dados; revisão final com participação crítica e intelectual no manuscrito. Todos os autores participaram da escrita, discussão, leitura e aprovação da versão final do artigo.

Referências

ARMESTO, C.; MAIA, F. G. M.; MONTEIRO, F. P.; ABREU, M. S. *Colletotrichum* on coffee trees in South of Minas Gerais-Brazil: physiological, molecular and pathogenic description. **Coffee Science**, v. 11, n. 4, p. 444-454, 2016. Disponível em: <https://coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/1113>. Acesso em: 12 dez. 2022.

ARNÉZ, J. V.; ROJAS, P. M.; NINA, J. H.; GABRIEL-ORTEGA, J. Adaptabilidad de dos especies de *Lupinus* en diferentes ambientes de los valles interandinos de Bolivia. **Journal of the Selva Andina Biosphere**, v. 9, n. 2, p. 69-80, 2021. DOI: <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2021.090200069>.

BESSANI, J. P. P.; YAMASHITA, O. M.; CARVALHO, M. A. C.; CAMPOS, O. R.; CAIONE, G.; KOGA, P. S. Associação entre adubo foliar e herbicida auxínico no manejo de *Vernonia polyanthes* e recuperação da forrageira *Panicum maximum*. **Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, v. 59, n. 2, p. 327-341, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id4718>.

BEVILAQUA, G. A. P.; ANTUNES, I. F.; ZUCHI, J.; MARQUES, R. L. L. **Indicações técnicas para produção de sementes de plantas recuperadoras de solo para agricultura familiar**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008. 43 p. (Documentos, 227). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/746693>. Acesso em: 6 fev. 2023.

BOSCHIN, G.; D'AGOSTINA, A.; ANNICCHIARICO, P.; ARNOLDI, A. Effect of genotype and environment on fatty acid composition of *Lupinus albus* L. seed. **Food Chemistry**, v. 108, n. 2, p. 600-606, 2008. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.11.016>.

CABELLO-HURTADO, F.; KELLER, J.; LEY, J.; SANCHEZ-LUCAS, R.; JORRÍN-NOVO, J. V.; AÏNOUCHE, A. Proteomics for exploiting diversity of lupin seed storage proteins and their use as nutraceuticals for health and welfare. **Journal of Proteomics**, v. 143, p. 57-68, 2016. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.jprot.2016.03.026>.

CALEGARI, A.; ALCÂNTARA, P. B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T. J. C. Caracterização das principais espécies de adubo verde. In: COSTA, M. B. (coord.). **Adubação verde no Sul do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa, 1993. p. 207-324.

CHAVARRIA, G.; DURIGON, M. R.; KLEIN, V. A.; KLEBER, H. Restrição fotossintética de plantas de soja sob variação de disponibilidade hídrica. **Ciência Rural**, v. 45, n. 8, p. 1387-1393, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20140705>.

ESPÍNDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. **Adubação verde**: estratégia para uma agricultura sustentável. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 1997. 20 p. (Documentos, 42). Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/624248/adubacao-verde-estrategia-para-uma-agricultura-sustentavel>. Acesso em: 12 mar. 2023.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019. DOI: <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>.

FINCKH, M. R.; TAMM, L.; BRUNS, C. Organic Potato Disease Management. In: FINCKH, M. R.; VAN BRUGGEN, A. H. C.; TAMM, L. (ed.). **Plant diseases and their management in organic agriculture**. Saint Paul, Minnesota: The American Phytopathological Society, 2015. p. 239-257. DOI: <https://doi.org/10.1094/9780890544785.019>.

GAO, Y.; ZHANG, X.; REN, G.; WU, C.; QIN, P.; YAO, Y. Peptides from extruded lupin (*Lupinus albus* L.) regulate inflammatory activity via the p38 MAPK signal transduction pathway in RAW 264.7 cells. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 68, n. 42, p. 11702-11709, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c02476>.

GUIMARÃES, G. B.; MELO, M. S.; GIANNINI, P. R. M.; MELEK, P. R. Geologia dos Campos Gerais. In: MELO, M. S.; MORO, R. S.; GUIMARÃES, G. B. (org.). **Patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná**. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2014. Cap. 2, p. 23-32. *E-book*. Disponível em: <https://www.editora.uepg.br/ebooks/ebook-patrimonio-natural-dos-campos-gerais-do-parana>. Acesso em: 6 nov. 2022.

HUNEGNAW, Y.; ALEMAYEHU, G.; AYALEW, D.; KASSAYE, M. Plant density and time of white lupine (*Lupinus Albus* L.) relay cropping with tef (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter) in additive design in the highlands of Northwest Ethiopia. **International Journal of Agronomy**, v. 2022, 8730191, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/8730191>.

JIMÉNEZ-MARTÍNEZ, C.; HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, H.; ALVÁREZ-MANILLA, G.; ROBLEDO-QUINTOS, N.; MARTÍNEZ-HERRERA, J.; DÁVILA-ORTIZ, G. Effect of aqueous and alkaline thermal treatments on chemical composition and oligosaccharide, alkaloid and tannin contents of *Lupinus campestris* seeds. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 81, n. 4, p. 421-428, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1002/1097-0010\(200103\)81:4%3C421::AID-JSFA829%3E3.0.CO;2-U](https://doi.org/10.1002/1097-0010(200103)81:4%3C421::AID-JSFA829%3E3.0.CO;2-U).

JOHNSON, S. K.; CLEMENTS, J.; VILLARINO, C. B. J.; COOREY, R. Lupins: their unique nutritional and health-promoting attributes. In: TAYLOR, J. R. N.; AWIKA, J. M. (ed.). **Gluten-free ancient grains**: cereals, pseudocereals, and legumes: sustainable, nutritious, and health-promoting foods for the 21st century. Duxford: Woodhead Publishing, 2017. p. 179-221. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100866-9.00008-X>.

KHAN, M. K.; KARNPANIT, W.; NASAR-ABBAS, S. M.; HUMA, Z.; JAYASENA, V. Phytochemical composition and bioactivities of lupin: a review. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 50, n. 9, p. 2004-2012, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.12796>.

KOSEV, V.; VASILEVA, V. Comparative biological characteristic of white lupin (*Lupinus albus* L.) varieties. **Genetika**, v. 51, n. 1, p. 275-285, 2019. DOI: <https://doi.org/10.2298/GENSR1901275K>.

LAMBERS, H.; CLEMENTS, J. C.; NELSON, M. N. How a phosphorus-acquisition strategy based on carboxylate exudation powers the success and agronomic potential of lupines (*Lupinus*, Fabaceae). **American Journal of Botany**, v. 100, n. 2, p. 263-288, 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.3732/ajb.1200474>.

LAMICHHANE, J. R.; OSDAGHI, E.; BEHLAU, F.; KÖHL, J.; JONES, J. B.; AUBERTOT, J.-N. Thirteen decades of antimicrobial copper compounds applied in agriculture. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 38, 28, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0503-9>.

LUCAS, M. M.; STODDARD, F. L.; ANNICCHIARICO, P.; FRÍAS, J.; MARTÍNEZ-VILLALUENGA, C.; SUSSMANN, D.; DURANTI, M.; SEGER, A.; ZANDER, P. M.; PUEYO, J. J. The future of lupin as a protein crop in Europe. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, 705, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00705>.

MAGALHÃES, S. C. Q.; FERNANDES, F.; CABRITA, A. R. J.; FONSECA, A. J. M.; VALENTÃO, P.; ANDRADE, P. B. Alkaloids in the valorization of European *Lupinus* spp. seeds crop. **Industrial Crops and Products**, v. 95, p. 286-295, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.10.033>.

MAIA, F. G. M.; ARMESTO, C.; ZANCAN, W. L. A.; MAIA, J. B.; ABREU, M. S. Efeito da temperatura no crescimento micelial, produção e germinação de conídios de *Colletotrichum* spp. isolados de mangueira com sintomas de antracnose. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 2, p. 205-210, 2011. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/7581>. Acesso em: 26 set. 2023.

MALANDRAKIS, A. A.; KAVROULAKIS, N.; CHRYSIKOPOULOS, C. V. Use of copper, silver and zinc nanoparticles against foliar and soil-borne plant pathogens. **Science of The Total Environment**, v. 670, p. 292-299, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.210>.

MARCHEZAN, E.; SANTOS, O. S.; AVILA, L. A.; SILVA, R. P. Adubação foliar com micronutrientes em arroz irrigado, em área sistematizada. **Ciência Rural**, v. 31, n. 6, p. 941-945, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782001000600003>.

MAZUR, V. A.; PANTSUREVA, H. V.; MAZUR, K. V.; DIDUR, I. M. Influence of the assimilation apparatus and productivity of white lupine plants. **Agronomy Research**, v. 17, n. 1, p. 206-219, 2019. DOI: <https://doi.org/10.15159/AR.19.024>.

MELO, L. G. L.; SILVA, E. K. C.; CAMPOS NETO, J. R. M.; LINS, S. R. O.; RODRIGUES, A. A. C.; OLIVEIRA, S. M. A. Indutores de resistência abióticos no controle da fusariose do abacaxi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 10, p. 1703-1709, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016001000001>.

MERA, M. Especies de lupino y su utilización. *In*: MERA, M. (ed.). **Lupino dulce y amargo: producción en Chile**. Temuco: Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 2016. p. 7-26. (Boletín INIA, 326). Disponível em: <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/6507>. Acesso em: 12 jan. 2023.

MERA, M. Especies de lupino y su utilización. In: MERA, M. (ed.). **Lupino dulce y amargo: producción en Chile**. Temuco: Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 2016. p. 7-26. (Boletín INIA, 326). Disponível em: <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/6507>. Acesso em: 12 jan. 2023.

NIGUSSIE, Z. Contribution of white lupin (*Lupinus albus* L.) for food security in North-Western Ethiopia: a review. **Asian Journal of Plant Sciences**, v. 11, n. 5, p. 200-205, 2012. DOI: <https://doi.org/10.3923/ajps.2012.200.205>.

NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. S.; PINTO, L. F. D. **Atlas climático do Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2019. *On-line*. Disponível em: <http://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Atlas-Climatico>. Acesso em: 6 nov. 2022.

OHSE, S.; MARODIM, V. S.; SANTOS, O. S.; LOPES, S. J.; MANFRON, P. A. Germinação e vigor de sementes de arroz irrigado tratadas com zinco, boro e cobre. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, v. 7, n. 1, p. 41-50, 2000. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/279506514_Germinacao_e_vigor_de_sementes_de_arroz_irrigado_tratadas_com_zinco_boro_e_cobre. Acesso em: 6 nov. 2022.

OHSE, S.; SANTOS, L. L. P.; CORTEZ, M. G.; GODOY, A. R.; OTTO, R. F. Tratamento de sementes de milho branco crioulo com micronutrientes. **Visão Acadêmica**, v. 14, n. 4, p. 26-35, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/acd.v14i4.33588>.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, n. 5, p. 1633-1644, 2007. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. São Paulo: FEALQ, 2009. 451 p.

PINHEIRO, M.; MIOTTO, S. T. S. **Leguminosae-Faboideae gênero Lupinus L.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 100 p. (Boletim do Instituto de Biociências, 60).

PRUSINSKI, J. White lupin (*Lupinus albus* L.) - Nutritional and health values in human nutrition - A review. **Czech Journal of Food Sciences**, v. 35, n. 2, p. 95-105, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.17221/114/2016-CJFS>.

REIS, A. C.; FORCELINI, C.A.; REIS, E. M. **Manual de fungicidas: guia para o controle químico de doenças de plantas**. 5. ed. Passo Fundo: UPF, 2007. 153 p.

RESTA, D.; BOSCHIN, G.; D'AGOSTINA, A.; ARNOLDI, A. Evaluation of total quinolizidine alkaloids content in lupin flours, lupin-based ingredients, and foods. **Molecular Nutrition and Food Research**, v. 52, n. 4, p. 490-495, 2008. DOI: <https://dx.doi.org/10.1002/mnfr.200700206>.

RIBEIRO, N. D.; SANTOS, O. S. Aproveitamento do zinco aplicado na semente na nutrição da planta. **Ciência Rural**, v. 26, n. 1, p. 159-165, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84781996000100030>.

RIBEIRO, N. D.; SANTOS, O. S. Germinação de sementes de milho tratadas com fontes e doses de zinco e boro. **Ciência Rural**, v. 21, n. 3, p. 437-440, 1991. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84781991000300012>.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. Sistema Brasileiro de classificação de solos. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>. Acesso em: 26 set. 2023.

SANTOS, O. S.; ESTEFANEL, V. Efeitos de micronutrientes e do enxofre aplicados nas sementes de soja. **Ciência Rural**, v. 16, n. 1, p. 5-17, 1986. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/revccr/article/view/73164>. Acesso em: 26 set. 2023.

SANTOS, O. S.; RIBEIRO, N. D. Fontes de zinco aplicadas em sementes de milho, em solução nutritiva. **Ciência Rural**, v. 24, n. 1, p. 59-62, 1994. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84781994000100012>.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fundamentos de fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2021. 558 p.

TOMASINI, R. G. A.; LHAMBY, J. C. B.; SANTOS, H. P. **O tremoço no Brasil**. Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1982. 19 p. (Documentos, 1). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/845789/o-tremoco-no-brasil>. Acesso em: 6 nov. 2022.

VAN DE NOORT, M. Lupin: an important protein and nutrient source. *In*: NADATHUR, S. R.; WANASUNDARA, J. P. D.; SCANLIN, L. (ed.). **Sustainable protein sources**. Londres: Academic Press, 2017. p. 165-183. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802778-3.00010-X>.