



Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular da *Crotalaria ochroleuca*

Effect of soil compaction on the aerial and root development of *Crotalaria ochroleuca*

Efecto de la compactación del suelo sobre el desarrollo aéreo y radicular de *Crotalaria ochroleuca*

Julie Mirelly da Silva Reis¹, Ilaine Benício dos Santos², Julio Cesar Silva Cavalcante³, Cicero Gomes dos Santos⁴, Márcio Aurélio Lins dos Santos⁵, Marcílio de Souza Barbosa⁶.

1. Graduada do curso de Agronomia, Universidade Federal de Alagoas – Campus Arapiraca, E-mail: julie.reis@arapiraca.ufal.br; 2. Universidade Federal de Alagoas - Campus Arapiraca, E-mail: ilainebenicio@gmail.com; 3. Mestrando em Agricultura e Ambiente, Universidade Federal de Alagoas – Campus Arapiraca, E-mail: julio.cavalcante@arapiraca.ufal.br; 4. Professor do Curso de Agronomia e do Programa de Pós-graduação em Agricultura e Ambiente, Universidade Federal de Alagoas – Campus Arapiraca, E-mail: cgomes@arapiraca.ufal.br; 5. Professor do Curso de Agronomia e do Programa de Pós-graduação em Agricultura e Ambiente, Universidade Federal de Alagoas – Campus Arapiraca, E-mail: mal.santo@arapiraca.ufal.br; 6. Professor do Instituto Federal, Ciência e Tecnologia de Alagoas – Campus Batalha, E-mail: marcilio.barbosa@ifal.edu.br

2.

RESUMO - A degradação dos solos agrícolas tem aumentado no Brasil, principalmente nas áreas tropicais e subtropicais, onde as elevadas temperaturas e a alta umidade favorecem a rápida decomposição da matéria orgânica do solo, comprometendo a sustentabilidade dos sistemas produtivos. *Crotalaria ochroleuca*, leguminosa da família Fabaceae, destaca-se por sua ampla adaptação edafoclimática, alto potencial para produção de biomassa e contribuição para sistemas de rotação de culturas. Este estudo avaliou a resposta da cultura *Crotalaria ochroleuca* ao aumento da densidade do solo, considerando os efeitos sobre o desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular. O estudo foi conduzido em ambiente protegido no *Campus Arapiraca* da Universidade Federal de Alagoas, utilizando solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico. O experimento seguiu o delineamento inteiramente casualizado, composto por cinco níveis de densidade do solo (1,3; 1,4; 1,5; 1,6 e 1,7 Mg m⁻³), com quatro repetições, totalizando 20 unidades experimentais. Foram avaliadas no experimento as variáveis: número de folhas, diâmetro caulinar, altura de planta, índice de clorofila (SPAD) e massas fresca e seca de folhas, caule e raízes. Verificou-se que a altura das plantas e o número de folhas foram significativamente influenciados pelos níveis de densidade do solo, enquanto o diâmetro caulinar e as demais variáveis não apresentaram efeito significativo. O índice SPAD apresentou redução ao longo do ciclo da cultura, independentemente da densidade avaliada. Conclui-se que o aumento da densidade do solo exerce efeito moderado sobre o desenvolvimento da *Crotalaria ochroleuca*, atuando como barreira física ao crescimento radicular.

Palavras-chave: Sistema radicular. Níveis de densidade. Delineamento experimental.



ABSTRACT - The degradation of agricultural soils has increased in Brazil, mainly in tropical and subtropical areas, where high temperatures and humidity favor the rapid decomposition of soil organic matter, compromising the sustainability of production systems. *Crotalaria ochroleuca*, a legume of the Fabaceae family, stands out for its wide edaphoclimatic adaptation, high potential for biomass production, and contribution to crop rotation systems. This study evaluated the response of *Crotalaria ochroleuca* to increased soil density, considering the effects on the development of the aerial part and root system. The study was conducted in a protected environment at the Arapiraca Campus of the Federal University of Alagoas, using soil classified as dystrophic Red Latosol. The experiment followed a completely randomized design, consisting of five levels of soil density (1.3, 1.4, 1.5, 1.6, and 1.7 Mg m⁻³), with four replicates, totaling 20 experimental units. The following variables were evaluated in the experiment: number of leaves, stem diameter, plant height, chlorophyll index (SPAD), and fresh and dry masses of leaves, stems, and roots. It was found that plant height and number of leaves were significantly influenced by soil density levels, while stem diameter and the other variables did not show a significant effect. The SPAD index decreased throughout the crop cycle, regardless of the density evaluated. It was concluded that increased soil density has a moderate effect on the development of *Crotalaria ochroleuca*, acting as a physical barrier to root growth.

Keywords: Root system. Density Levels. Experimental design.

RESUMEN - La degradación de los suelos agrícolas ha aumentado en Brasil, principalmente en las zonas tropicales y subtropicales, donde las altas temperaturas y la elevada humedad favorecen la rápida descomposición de la materia orgánica del suelo, lo que compromete la sostenibilidad de los sistemas productivos. *Crotalaria ochroleuca*, leguminosa de la familia Fabaceae, destaca por su amplia adaptación edafoclimática, su alto potencial para la producción de biomasa y su contribución a los sistemas de rotación de cultivos. Este estudio evaluó la respuesta del cultivo *Crotalaria ochroleuca* al aumento de la densidad del suelo, considerando los efectos sobre el desarrollo de la parte aérea y del sistema radicular. El estudio se llevó a cabo en un entorno protegido en el Campus Arapiraca de la Universidad Federal de Alagoas, utilizando suelo clasificado como Latossolo Vermelho distrófico. El experimento siguió un diseño completamente aleatorio, compuesto por cinco niveles de densidad del suelo (1,3; 1,4; 1,5; 1,6 y 1,7 Mg m⁻³), con cuatro repeticiones, lo que sumó un total de 20 unidades experimentales. En el experimento se evaluaron las siguientes variables: número de hojas, diámetro del tallo, altura de la planta, índice de clorofila (SPAD) y masa fresca y seca de hojas, tallos y raíces. Se observó que la altura de las plantas y el número de hojas se vieron significativamente influenciados por los niveles de densidad del suelo, mientras que el diámetro del tallo y las demás variables no presentaron un efecto significativo. El índice SPAD presentó una reducción a lo largo del ciclo del cultivo, independientemente de la densidad evaluada. Se concluye que el aumento de la densidad del suelo ejerce un efecto moderado sobre el desarrollo de *Crotalaria ochroleuca*, actuando como barrera física para el crecimiento radicular.

Palabras clave: Sistema radicular. Niveles de densidad. Diseño experimental.

INTRODUÇÃO



Atualmente, observa-se um aumento da preocupação com a rápida degradação dos solos agrícolas no Brasil, especialmente nas regiões tropicais e subtropicais, onde as elevadas temperaturas e a alta umidade favorecem a degradação dos resíduos orgânicos no solo. Com isso, torna-se necessária a realização de novas pesquisas que busquem a adoção de técnicas de cultivo capazes de promover melhorias na qualidade do solo e maior sustentabilidade na exploração agrícola (Lima et al., 2015; Rodrigues et al., 2014).

O desenvolvimento das plantas é fortemente influenciado pelas características do solo, com efeitos mais evidentes no crescimento do sistema radicular, já que este é responsável pela absorção de água e nutrientes em quantidades adequadas ao crescimento vegetal (Machado, 2021).

O impedimento físico ao crescimento das raízes das plantas está frequentemente associado ao sistema de preparo convencional do solo, caracterizado pelo uso intensivo de máquinas agrícolas pesadas. O tráfego desses equipamentos, especialmente sob condições de elevada umidade, promove o adensamento de solos não saturados, ocasionando a reorganização estrutural das partículas e de seus agregados. Como consequência, o solo torna-se mais denso, com redução da porosidade total, especialmente da macroporosidade, resultando em compactação nas camadas subsuperficiais e interferindo no desempenho produtivo das culturas (Carmo et al., 2019; Hansen, 2019).

Entre as estratégias mais eficazes para favorecer a descompactação do solo, destacam-se a rotação de culturas, a adubação orgânica e a utilização de plantas de cobertura, práticas essenciais no fortalecimento do Plantio Direto. Espécies como crotalária, milho e feijão-deporco favorecem a recomposição da estrutura do solo, promovendo aumento do diâmetro médio dos agregados e diminuição da resistência do solo à penetração (Chagas, 2021; Moraes et al., 2018).

A *Crotalaria ochroleuca* é uma leguminosa pertencente à família Fabaceae, cujo ciclo vegetativo indica variação nos valores de massa seca produzida, porte da planta e exigências edafoclimáticas. Essa espécie é amplamente utilizada no manejo de rotação de culturas, utilizando-se adubação verde, proporcionando benefícios como a fixação de nitrogênio, o controle de nematoides e a redução da população de ervas daninhas (Silva et al., 2020).

Este estudo avaliou a resposta da cultura *Crotalaria ochroleuca* ao aumento da densidade do solo, considerando os efeitos sobre o desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular em Latossolo Vermelho distrófico.

MATERIAIS E MÉTODOS



Localização do experimento

O estudo foi desenvolvido no período de 11 de fevereiro a 8 de maio de 2025 em ambiente protegido, conduzido nas instalações da Universidade Federal de Alagoas - *Campus Arapiraca*. O local do experimento está situado nas coordenadas geográficas 9°41'55'' de latitude Sul e 36°41'08'' de longitude Oeste, a aproximadamente 321 m de altitude.

A área experimental encontra-se na região Agreste, localizada entre a Zona da Mata e do Sertão de Alagoas. O regime pluviométrico médio anual varia entre 750 e 1.000 mm. Conforme a classificação climática de Köppen, o clima predominante é do tipo As, com ocorrência de chuvas concentradas no período de inverno, especialmente entre os meses de abril e setembro e com estação seca predominante durante o verão, compreendendo o período de outubro a março.

Coleta de amostras do solo para montagem do experimento

Para a condução do experimento, utilizou-se solo de textura arenosa, coletado na área experimental do *Campus Arapiraca*, na camada de 0,00–0,20 m de profundidade. O material coletado passou por secagem ao ar e posterior homogeneização, sendo destorroado e peneirado em malha de 2 mm, a fim de eliminar fragmentos grosseiros e resíduos orgânicos. Posteriormente, foi separada uma amostra de 0,5 kg para a realização das análises químicas e físicas, cujos resultados encontram-se apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Caracterização química do solo utilizado na montagem dos vasos, na camada de 0,00–0,20 m.

Resultados Análise Química								
pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	S.B.	CTC pH
----- mg/dm ³ -----			----- cmol/dm ³ -----					
5,3	1,62	78	2,04	1,45	0,0	3,71	3,7	7,4
Na	Ca+Mg	K	Na	V	m	Ca/Mg	CTC Efe.	
mg/dm ³		----- cmol/dm ³ -----			----- %-----			
4	3,49	0,20	0,02	49,9	0,0	1,41	3,7	

Fonte: Autores (2025).

Tabela 2. Caracterização física do solo utilizado na montagem dos vasos, na camada de 0,00–0,20 m. Fonte: Autores (2025).

Resultados Análise Física					
Areia Grossa	Areia Total	Areia Fina	Argila	Silte	Classe Textural
----- g/kg-----					
508	745,3	237	70	183	Franco Arenoso



Níveis de densidade do solo utilizados

A pesquisa foi realizada com a cultura *Crotalaria ochroleuca*, adotando-se o delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições e um total de 20 unidades experimentais. Os tratamentos corresponderam a diferentes níveis de densidade do solo (1,3; 1,4; 1,5; 1,6 e 1,7 Mg m⁻³).

Os diferentes graus de densidade foram estabelecidos de acordo com a quantidade de solo adicionada aos vasos. Para o tratamento com densidade de 1,3 Mg m⁻³, foram utilizados 3,9 kg de solo por vaso, com compactação até atingir 15 cm de altura, enquanto para os tratamentos correspondentes às densidades de 1,4; 1,5; 1,6 e 1,7 Mg m⁻³ foram adicionadas, respectivamente, 4,2; 4,5; 4,8 e 5,1 kg de solo no interior dos vasos.

Instalação e execução do experimento

O solo empregado no experimento foi proveniente da camada de 0–20 cm de profundidade e acondicionado em anéis de PVC, visando à obtenção dos diferentes níveis de densidade definidos nos tratamentos. As unidades experimentais foram montadas a partir de dois anéis de PVC sobrepostos, apresentando alturas de 20 cm e 15 cm, diâmetro interno de 15 cm e fixação realizada com fita adesiva de alta resistência (Silver tape). O anel inferior manteve a densidade natural do solo (1,63 g cm⁻³), enquanto o anel superior recebeu o solo compactado de acordo com a massa específica correspondente a cada nível de densidade.

A implantação da cultura ocorreu por semeadura direta nos vasos, realizada em 11 de março de 2025, utilizando-se três sementes por unidade do experimento. A emergência das plântulas ocorreu em 14 de março de 2025 e, aos 15 dias após a emergência, realizou-se o desbaste, mantendo-se apenas uma plântula por parcela, selecionada com base no vigor e na uniformidade.

Variáveis morfométricas do experimento

A condução do experimento ocorreu por um período de 60 dias após a semeadura. Ao longo desse intervalo, foram realizadas avaliações periódicas e, ao término do experimento, procedeu-se à coleta dos dados para análise das variáveis morfológicas e fisiológicas das plantas. Para esse propósito, foram analisadas: altura das plantas (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), índice de clorofila estimado pelo medidor SPAD, bem como as massas fresca e seca de folhas (MFF e MSF), caule (MFC e MSC) e raízes (MFR e MSR).

As avaliações do desenvolvimento das plantas foram realizadas aos 20, 30, 40, 50 e 60 dias após a semeadura, considerando-se as variáveis número de folhas, altura das plantas, diâmetro do caule e índice de clorofila. A altura foi determinada com o auxílio de uma trena, medindo-se a distância entre o nível do solo e a extremidade superior do ramo principal. O diâmetro caulinar foi obtido por meio de um paquímetro digital, enquanto a contagem das folhas considerou apenas aquelas que apresentavam completo desenvolvimento.



O índice de clorofila foi estimado por meio de leituras indiretas utilizando um medidor portátil Soil Plant Analysis Development (SPAD), realizando-se as medições na porção média da folha completamente desenvolvida, evitando-se as nervuras principais, com os resultados expressos em unidades SPAD.

Aos 60 dias após a semeadura, realizou-se o corte das plantas com auxílio de ferramenta apropriada, procedendo-se à separação da parte aérea e do sistema radicular. Depois disso, a parte aérea foi fracionada em folhas e caule. O sistema radicular foi cuidadosamente lavado em água corrente para remoção do solo aderido. Em seguida, folhas, caules e raízes foram organizados, identificados e acondicionados em sacos de papel, sendo então encaminhadas ao laboratório, visando evitar perdas de umidade. Na sequência, determinaram-se a massa fresca do caule (MFC), a massa fresca das folhas (MFF) e a massa fresca das raízes (MFR), utilizando-se balança analítica. Posteriormente, os materiais foram levados à estufa de circulação forçada de ar para a determinação da massa seca.

Análise estatística dos dados do experimento

Os dados experimentais foram analisados estatisticamente por meio de ANOVA e, quando identificado efeito significativo pelo teste F ($p < 0,05$), procedeu-se à avaliação dos efeitos dos diferentes níveis de densidade do solo, com auxílio do software SISVAR.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise estatística dos resultados

Na Tabela 3 são apresentados os resultados da interação entre densidade do solo e tempo para as características morfométricas altura de planta (AP), número de folhas (NF), diâmetro do caule (DC) e índice de clorofila (SPAD). As variáveis relacionadas ao número de folhas e à altura das plantas apresentaram efeito significativo ($p < 0,05$) em função das densidades do solo utilizadas, contudo, o diâmetro do caule não foi influenciado significativamente por esse fator.

Esses resultados diferem dos observados por Santos et al., (2025), que verificaram alterações no diâmetro do caule avaliado em diferentes densidades do solo em *Crotalaria juncea* cultivada no Agreste de Alagoas. De forma semelhante, Cavalcante et al., (2025) não observaram resposta significativa da densidade do solo para essa variável aplicada na cultura do *Stylosanthes* na mesma região.

Tabela 1. Avaliação da parte aérea, considerando altura das plantas, diâmetro do caule, número de folhas e índice SPAD.

Fonte de Variação	G.L.	AP	NF	DC	SPAD
Densidade de Solo	4	2167,07*	32655,87*	2,1 ^{NS}	174,09 ^{NS}



Tempo	4	83677,41*	507384*	378,91*	938,88*
Resíduo	66	13951,46	82520,80	23,71	1620,10
C.V (%)		26,74	29,75	13,27	10,46

AP – Altura da planta; NL – Número de folhas; DC – Diâmetro do caule; SPAD – Índice de clorofila; G.L. – Graus de liberdade; C.V. – Coeficiente de variação; NS – Não significativo; * – Significativo pelo teste F ($p < 0,05$).

Fonte: Autores, (2025).

As características morfológicas altura de planta (AP), número de folhas (NF) e diâmetro do caule (DC) de plantas de *Crotalaria ochroleuca* apresentaram efeito significativo ($p < 0,05$) em razão do período de exposição aos variados graus de densidade do solo (Tabela 3). Esses resultados demonstram que o desenvolvimento das culturas está diretamente relacionado às variações nas características físicas do solo com o passar do tempo, apresentando comportamento semelhante ao observado por Matick (2023), que, ao avaliar a compactação em sistemas de rotação de culturas com soja após diferentes consórcios de milho e forrageiras, verificou que alterações na resistência do solo à penetração podem interferir no crescimento radicular.

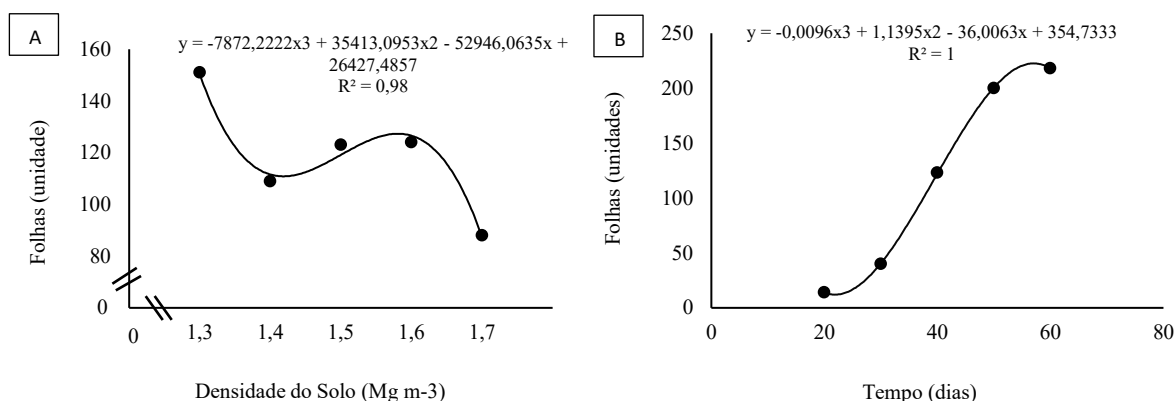
O índice de clorofila (SPAD) não apresentou efeito significativo em função dos graus de compactação do solo, porém mostrou efeito significativo ($p < 0,05$) ao longo do tempo (Tabela 3). Esse comportamento sugere que as variações no índice SPAD estão associadas ao desenvolvimento da cultura, corroborando os resultados obtidos por Santos (2024) e Cavalcante (2024).

Número de folhas da *Crotalaria ochroleuca*

A Figura 1 apresenta os efeitos dos níveis crescentes de densidade do solo, em dois períodos de avaliação, sobre o número de folhas de *Crotalaria ochroleuca*. Observa-se efeito significativo da compactação do solo, na qual houve aumento no número de folhas submetidas aos menores níveis de densidade, enquanto os maiores níveis resultaram em redução do desenvolvimento foliar.

Níveis elevados de compactação do solo indicam um fator limitante ao crescimento radicular, o que reflete diretamente na parte aérea da planta. Sendo assim, a redução do número de folhas pode ser atribuída às restrições impostas ao sistema radicular, comprometendo a absorção e o transporte de nutrientes e água essenciais ao desenvolvimento foliar desde os estádios iniciais da cultura (Bareta Junior et al., 2021).

Figura 1. Número de folhas avaliado entre 20 e 60 dias após a semeadura, em função dos níveis de densidade do solo (A) e do tempo de avaliação (B), na cultura da *Crotalaria ochroleuca*.



Fonte: Autores, (2025).

Na Figura 1A, observa-se influência significativa da densidade do solo em relação a variável número de folhas, tendo os maiores valores registrados na densidade de 1,3 Mg m⁻³, com redução em 1,4 Mg m⁻³, seguido do aumento nas densidades de 1,5 e 1,6 Mg m⁻³. A densidade de 1,7 Mg m⁻³ apresentou o menor número de folhas por planta, sendo considerada crítica ou limitante para a maioria das culturas, especialmente aquelas com sistema radicular pivotante. Quanto ao período de avaliação, verificou-se crescimento exponencial do número de folhas entre 20 e 60 dias após a semeadura.

Observações semelhantes foram verificadas por Cavalcante (2024) na cultura do *Stylosanthes*, cultivar Campo Grande, a qual apresenta sistema radicular pivotante, favorecendo o rompimento de camadas mais adensadas do solo. Esses resultados evidenciam que a produção foliar, essencial para a atividade fotossintética e o crescimento das plantas, é influenciada pelas condições físicas do solo nas fases iniciais de desenvolvimento, visto que a densidade do solo interfere diretamente nos recursos hídricos e nutricionais disponíveis (Cavalcante et al., 2025).

Altura de planta da *Crotalaria ochroleuca*

Na Figura 2, estão apresentados os impactos decorrentes de níveis crescentes de densidade do solo, considerando dois momentos distintos de avaliação, sobre a altura de plantas de *Crotalaria ochroleuca*. Na Figura 2A, nota-se uma pequena diferença na altura das plantas em relação aos distintos níveis de densidade do solo, indicando que, mesmo sob compactação crescente, verificou-se que as plantas foram capazes de se ajustar às condições físicas do solo. Tais resultados evidenciam que a altura das plantas varia em função das condições do solo, refletindo a resposta da espécie a essas variações. Em relação ao tempo de avaliação, o crescimento ocorreu de forma exponencial, conforme ilustrado na Figura 2B.

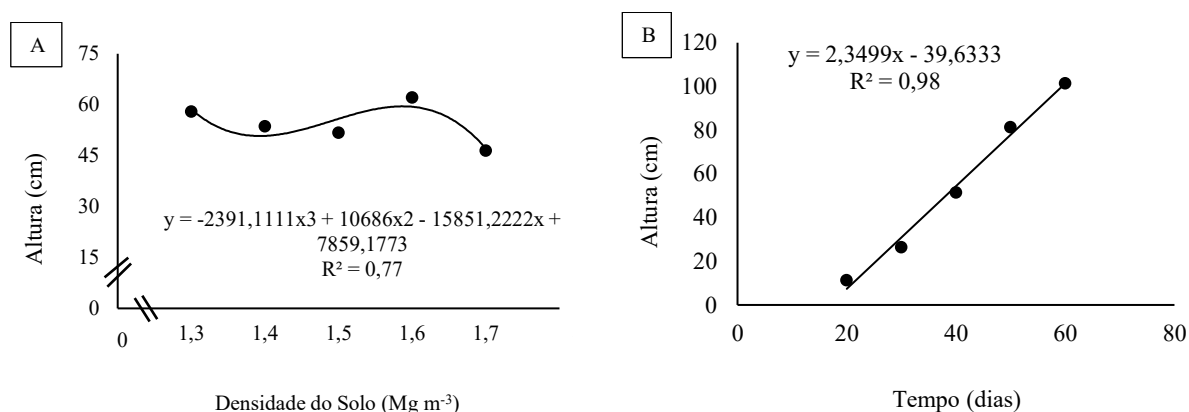
Achados semelhantes foram descritos por Nagahama et al., (2016), ao avaliarem os impactos da elevação dos graus de densidade do solo e a escarificação mecânica sobre o desenvolvimento do capim-elefante, observando que a altura das plantas, assim como o



acúmulo de biomassa não apresentaram variações significativas entre os tratamentos, apesar das mudanças nas características físicas do solo.

Resultados encontrados por Espessato et al., (2017), ao analisarem o desempenho da cultura da soja em decorrência ao tráfego de equipamentos agrícolas, observaram que a altura das plantas apresentou baixa sensibilidade às alterações físicas do solo associadas à compactação, corroborando os resultados observados para *Crotalaria ochroleuca* no presente estudo.

Figura 2. Medidas de mensuração da altura das plantas em resposta aos graus de densidade do solo dos 20 aos 60 dias após a semeadura e medidas de mensuração de altura em função do tempo dos 20 aos 60 dias após a semeadura, na cultura *Crotalaria ochroleuca*.



Fonte: Autores (2025).

Diâmetro do caule da *Crotalaria ochroleuca*

Na Figura 3, são apresentados os efeitos nos variados níveis de densidade do solo, avaliados em dois períodos distintos, sobre o diâmetro do caule de *Crotalaria ochroleuca*. Entre 20 e 60 dias após a semeadura, verificou-se um efeito significativo do fator tempo no desenvolvimento do diâmetro caulinar, indicando que o crescimento do caule ocorreu de maneira exponencial durante esse intervalo. Esse padrão refletiu-se claramente no aumento do diâmetro das plantas.

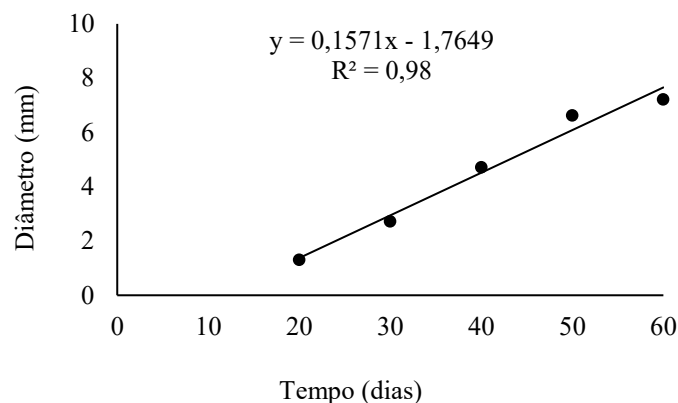
De acordo com Scapinelli et al. (2016), o aumento da densidade do solo promoveu redução no diâmetro da haste do girassol, em decorrência da maior resistência à penetração, que restringiu o desenvolvimento radicular e comprometeu o transporte de água e fotoassimilados para a parte aérea. Em condições de maior compactação, é plausível que as raízes da cultura apresentem limitações ao crescimento e à absorção hídrica, devido à presença de camadas compactadas no solo (Ramos, 2021).

Em estudo conduzido por Ramos (2021), avaliando respostas morfológicas e fisiológicas de cultivares de café arábica submetidas à compactação do solo, verificou-se que o diâmetro do caule não apresentou variações significativas em função do aumento da densidade do solo. Segundo Taylor e Brar (1991), sob condições de estresse, as raízes enviam sinais à



parte aérea indicando limitações ao seu desenvolvimento, o que pode resultar no redirecionamento dos fotoassimilados para o sistema radicular. Esse mecanismo reduz o crescimento da parte aérea e a produtividade das plantas (Rambo & Vanzetto, 2025).

Figura 3. Diâmetro do caule em função do tempo dos 20 aos 60 dias após a semeadura, na cultura *Crotalaria ochroleuca*.



Fonte: Autores (2025).

Índice de clorofila (SPAD)

Na Figura 4, estão apresentados os efeitos dos níveis crescentes de densidade do solo, avaliados em dois períodos de observação, sobre o índice de clorofila estimado por meio do SPAD em plantas de *Crotalaria ochroleuca*. Observou-se efeito significativo do fator tempo sobre o índice de clorofila, indicando variações ao longo do ciclo da cultura. Entre 20 e 50 dias após a semeadura, verificou-se tendência de aumento do índice de clorofila, com comportamento de crescimento acentuado. Entretanto, a partir dos 50 dias após a semeadura, observou-se redução nos valores de SPAD, evidenciando declínio do teor relativo de clorofila com o avanço do desenvolvimento vegetativo ao longo do ciclo.

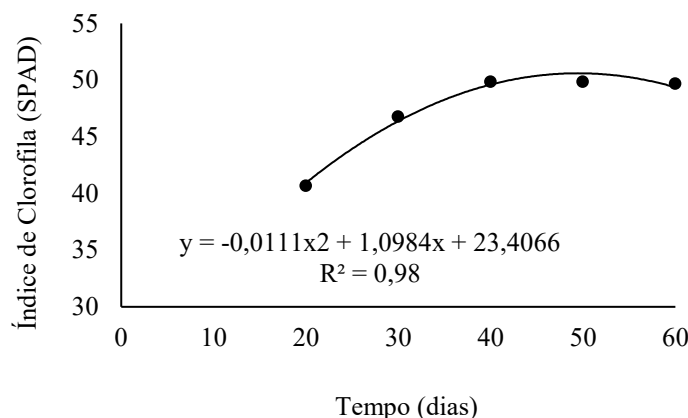
Em estudo com plântulas de *Jacaranda cuspidifolia* sob compactação do solo, Oliveira (2021) constatou que o índice SPAD respondeu de forma mais sensível aos fatores nutricionais do que às alterações na densidade do solo em camadas subsuperficiais., reforçando sua relação com o estado nutricional e fisiológico das plantas. O índice SPAD é amplamente empregado como estimativa indireta do teor de clorofila nas folhas e da nutrição nitrogenada, apresentando associação direta com a atividade fotossintética. Dessa forma, sua resposta tende a ser mais sensível às condições nutricionais das plantas do que às alterações físicas do solo (Capuani et al., 2011).

No estudo de Melo (2022), realizado com plantas de beterraba cultivadas quando submetido a diferentes densidades do solo, foi observado efeito significativo sobre o índice SPAD quando a densidade elevada esteve associada à restrição hídrica, resultando em aumento dos valores de clorofila foliar. Esse comportamento evidencia que a leitura SPAD pode



responder de forma diferenciada às condições de estresse impostas pelo ambiente, refletindo ajustes fisiológicos das plantas.

Figura 4. Índice de clorofila em função do tempo dos 20 aos 60 dias após a semeadura, na cultura *Crotalaria ochroleuca*.



Fonte: Autores (2025).

Massa fresca e seca de raízes e folhas

Os resultados da análise estatística, considerando nível de significância de ($p \leq 0,05$), para a produção de massa fresca de folhas (MFF), massa seca de folhas (MSF), massa fresca do caule (MFC), massa seca do caule (MSC), massa fresca de raízes (MFR) e massa seca de raízes (MSR), avaliadas nas profundidades de 0–20 cm e 20–35 cm, estão apresentados na tabela 4. Observou-se que a variação nos níveis de densidade afetou significativamente a produção de MFF, a MSR na camada de 0–20 cm e a MSF.

A literatura indica que níveis moderados de compactação podem promover maior desenvolvimento da biomassa aérea e radicular, devido ao maior contato entre solo e raiz, o que potencializa a absorção de água e nutrientes. Contudo, quando a resistência mecânica do solo atinge valores elevados, ocorre limitação da expansão do sistema radicular, o que se reflete em menor acúmulo de biomassa (Bassegio et al., 2018).

Esses achados diferiram dos resultados encontrados por Wainer et al., (2006), que, ao investigarem as respostas do sistema radicular de várias espécies de plantas de cobertura, como milho, capim pé-de-galinha e kenaf, sob variados níveis de compactação do solo, verificou-se que a presença de uma camada compactada concentrou as raízes nas camadas superiores do perfil, enquanto o crescimento em profundidade foi limitado, evidenciando efeitos relativamente uniformes da compactação sobre o comportamento do sistema radicular.

Estudos como o de Moraes et al., (2018), ao analisarem o crescimento do milho, evidenciaram que a densidade do solo influencia o acúmulo de biomassa seca da parte aérea, bem como as biomassas frescas e seca do sistema radicular, em decorrência da maior resistência do solo à penetração. Esses achados destacam que a avaliação simultânea da massa fresca e da



massa seca proporciona uma compreensão mais detalhada das respostas das plantas às condições físicas do solo.

Tabela 2. Análise das variáveis relacionadas à parte aérea e ao sistema radicular da *Crotalaria ochroleuca*, incluindo massa fresca e seca, avaliadas nas camadas de 0–20 cm e 20–35 cm de profundidade.

FONTE DE VARIACÃO	G.L.	MFR 0-20	MFR 20-35	MFF	MFC	MSR 0-20	MSR 20-35	MSF	MSC
Densidade de Solo	4	26,49 ^{NS}	1186,28 ^{NS}	936,82*	439,01 ^{NS}	21,49*	380,72 ^{NS}	23,19*	27,50 ^{NS}
Residuo	10	37,87	2675,03	450,16	916,17	6,98	642,55	19,11	43,95
C.V (%)		27,23	59,01	26,29	29,19	34,69	78,35	23,43	31,74

MFC – Massa fresca caule; MSC – Massa seca caule; MFF – Massa fresca folha; MSF – Massa seca folha; MFR (0–20) – Massa fresca raiz (0 a 20 cm); MFR (20–35) – Massa fresca raiz (20 a 35 cm); MSR (0–20) – Massa seca raiz (0 a 20 cm); MSR (20–35) – Massa seca raiz (20 a 35 cm); G.L. – Graus de liberdade; C.V. – Coeficiente de variação; NS – Não significativo; * – Significativo pelo teste F ($p < 0,05$).

Fonte: Autores (2025).

CONCLUSÕES

O diâmetro do caule foi afetado pelos níveis de densidade do solo, porém com relação ao fator tempo, apresentou um efeito significativo. Em contrapartida, as variações de densidade não promoveram alterações no crescimento das plantas em altura. As massas frescas e secas de folhas, caule e raízes não foram influenciadas de forma significativa pelos níveis de compactação avaliados.

O índice de clorofila mostrou comportamento decrescente ao longo do ciclo da cultura, independentemente da densidade do solo. Verificou-se que a compactação na camada superficial funcionou como barreira física ao crescimento radicular, limitando o aprofundamento do sistema radicular e comprometendo seu desenvolvimento em camadas mais profundas do solo.

CONFLITOS DE INTERESSE

Os autores declaram que o trabalho não possui conflito de interesses.

REFERÊNCIAS



- BARETA JUNIOR, E.; SILVA, A. A. P.; SENS, T. M. Z. G.; COLECHA, K.; RAMPIM, L.; POTT, C. A. Soil physical properties in variable levels of soil compaction. **Research, Society and Development**, v.10, n. 2, e2341028686, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i2.8686>
- BASSEGIO, D.; SARTO, M. V. M.; ROSOLEM, C. A.; SARTO, J. R. W. Guar root and shoot growth as affected by soil compaction. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 48, n. 2, p.163–169, 2018. <https://doi.org/10.1590/1983-40632018v48i2189>
- CAPUANI, S.; RIGON, J. P. G.; BRITO NETO, J. F.; BELTRÃO, N. J. E. M.; ALMEIDA, D. Índice de clorofila e sua relação com o estado nutricional nitrogenado das plantas. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 1-7, 2011. <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2011b/ciencias%20agrarias/indice%20de%20clorofila.pdf>
- CARMO, E. V. B.; SANTIAGO, M. S. T.; ARARUNA, L. A. A.; NASCIMENTO, R. R. A.; SOARES, M. M.; COSTA, T. R. S. Efeito do cultivo de leguminosas na compactação solo em Areia – PB. **XV Semana de Agronomia, Centro de Ciências Agrárias – Universidade Federal da Paraíba**, v. 15, p.1-5, 2019. <https://ufal.emnuvens.com.br/era/article/view/9216>
- CAVALCANTE, J. C. **Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular da *Stylosanthes* cv. Campo Grande**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Alagoas, Arapiraca – AL, 48p, 2024. <https://ud10.arapiraca.ufal.br/repositorio/publicacoes/5385>
- CAVALCANTE, J. C.; SANTOS, I. B.; CALIXTO, J. C. C.; SOUZA, E. A.; SANTOS, M. A. L.; SANTOS, C. G. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo radicular da *Stylosanthes* cv. Campo Grande. **Diversitas Journal**, Santana do Ipanema/AL, v. 10, n. 3, p. 1019-1033, 2025. <https://doi.org/10.48017/dj.v10i3.3382>
- CHAGAS, A. **Níveis de compactação e sistemas de manejo nos atributos químicos do solo e na exportação de nutrientes pela soja**. Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS, 57 p, 2021. <https://files.ufgd.edu.br/arquivos/arquivos/78/MESTRADO-DOCTORADO-AGRONOMIA/Disserta%C3%A7%C3%B5es%20Defendidas/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Andressa%20Chagas.pdf>
- ESPESSATO, R. R.; LEITE, F.; GUERREIRO, J. C.; DEL QUIQUI, E. M.; AZEVEDO, A. P.; ALEIXO, E. V. Soybean development as a function of traffic of tractor with radial tires. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 10, p. 726–730, 2017. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n10p726-730>
- FERREIRA, E. A.; BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; POLIZEL, A. C.; DUARTE, T. F. Physiological and morphological responses of Arabica coffee cultivars to soil compaction. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 6, p. 1–19, 2023. <https://doi.org/10.36783/18069657rbc20230046>
- HANSEN, L. L. M. **Potencial hídrico em plantas de soja sob diferentes níveis de compactação**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco – PR, 43 p, 2019. https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/14153/1/PB_COAGR_2019_1_09.pdf
- LIMA, L. B.; PETTER, F. A.; LEANDRO, W. M. Desempenho de plantas de cobertura sob níveis de compactação em Latossolo Vermelho de Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e**



Ambiental, Campina Grande, PB, v, 19, n. 11, p. 1064–1071, 2015. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n11p1064-1071>

MACHADO, T. M. **Níveis de compactação e sistemas de preparo sobre atributos físicos do solo e produtividade da soja**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 48 p, 2021. <https://files.ufgd.edu.br/arquivos/arquivos/78/MESTRADO-DOCTORADO-AGRONOMIA/Disserta%C3%A7%C3%B5es%20Defendidas/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Thayna%20Mendes%20Machado.pdf>

MATICK, F. **Compactação de solo em rotação de cultura com soja, após diferentes consórcios de milho e forrageiras**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus de Chapadão do Sul, Chapadão do Sul, 22p, 2023. <https://repositorio.ufms.br/bitstream/123456789/6166/1/2408.pdf>

MELO, L. C. **Eficiência de uso da água em cultivos de hortaliças sob diferentes densidades do solo e quantidades de fitomassa de cobertura**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Lages, 75p, 2022. https://www.udesc.br/arquivos/cav/id_cpmenu/3030/disserta_o_vers_o_Biblioteca_1_16838260374835_3030.pdf

MORAES, M. T.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; BONETTI, J. A.; DEBIASI, H. Desempenho da cultura do milho em Argissolo Vermelho compactado pelo tráfego agrícola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 53, n. 4, p. 464–477, 2018. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018000400008>

NAGAHAMA, H. J.; GRANJA, G. P.; CORTEZ, J. W.; RAMOS, R. L.; ARCOVERDE, S. N. S. Efeitos da escarificação mecânica nos atributos físicos do solo e agrônômicos do capim-elefante. **Revista Ceres**, v. 63, n. 5, p. 741–746, 2016. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201663050020>
OLIVEIRA, E. R. **Cinza vegetal e compactação do solo no crescimento de plântulas de *Jacaranda cuspidifolia* Mart**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Rondonópolis, Rondonópolis, MT, 62p, 2021. https://ufr.edu.br/pgeagri/wp-content/uploads/2021/08/Dessertacao_Elisa_Folha_Aprovacao_organized_compressed.pdf

RAMBO, G. F.; VANZETTO, G. V. Análise do uso de plantas de cobertura e efeito ao ambiente produtivo. **Revista de Agronomia e Medicina Veterinária**, Passo Fundo, v. 12, n. 1, p. 01-19, 2025. <https://doi.org/10.55905/ramviv12n1-001>

RAMOS, E. G. Respostas fisiológicas e morfológicas de cultivares de café arábica à compactação do solo. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, p. 51, 2021. <https://locus.ufv.br/server/api/core/bitstreams/b7f20061-b42e-444a-b4d0-abad3d89b9c9/content>

RODRIGUES, A. C. C.; KIKUTI, H.; ECCO, M.; LIMA, P. R.; INAGAKI, A. M.; CRISTALDO, C. M. Desenvolvimento de linhagens de duas espécies de crotalaria em função da aplicação de nitrogênio. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 3, n. 2, p. 44-56, 2014.

SANTOS, I. B. **Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular da *Crotalaria juncea* L**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Alagoas, Arapiraca – AL, 73p, 2024. <https://ud10.arapiraca.ufal.br/repositorio/publicacoes/5332>



SANTOS, I. B.; CAVALCANTE, J. C. S.; SILVA, J. O.; SILVA, S. G.; CALIXTO, J. C. C.; SANTOS, C. G. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular da *Crotalaria juncea* L. **Diversitas Journal**, Santana do Ipanema/AL, v. 10, n. 2, p. 659-676, 2025.

<https://doi.org/10.48017/dj.v10i2.3383>

SCAPINELLI, A.; DEINA, F. R.; VALADÃO JUNIOR, D. D.; VALADÃO, F. C. A.; PEREIRA, L. B. Sistema radicular e componentes produtivos do girassol em solo compactado. **Bragantia**, v. 75, n. 4, p. 474-486, 2016. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.286>

SILVA, B. N. P.; ALMEIDA, H. C. F.; DALAROSA, L. E.; ZOMERFELD, P. S.; MASETTO, T. E.; SCALON, S. P. Q.; DRESCH, D. M. Peróxido de hidrogênio na redução da sensibilidade ao alumínio em sementes de *Crotalaria ochroleuca*. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 3, p. 15945-15958, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-461>

TAYLOR, H. M.; BRAR, G. S. Efeitos da compactação do solo no desenvolvimento radicular. **Soil & Tillage Research**, v. 19, p.111-119, 1991. [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(91\)90080-H](https://doi.org/10.1016/0167-1987(91)90080-H)

WAINER, G. G.; JIMENEZ, R. L.; ARAÚJO FILHO, J. V.; ASSIS, R. L. DE; SILVA, G. P.; PIRES, F. R. Sistema radicular de plantas de cobertura sob compactação do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v, 26, n. 1, p. 67-75, jan./abr 2006.

<https://www.scielo.br/j/eagri/a/nFx4QqHfbJTMj53S3J4LPND/?format=pdf&lang=pt>