

**Pó de rocha e substâncias húmicas na promoção do crescimento de mudas de *chloroleucon dumosum***

**Maria Janiele Barbosa de Farias Pereira**

Mestre, UFAL, Brasil  
maria.janiele12@gmail.com

**Jakson Leite**

Professor Doutor, IFPA, Brasil.  
leitejk@gmail.com

**Roberta Lima**

Doutora, UFAL, Brasil.  
robertalima574@gmail.com

**José Vieira Silva**

Professor Doutor, UFAL, Brasil.  
jovisi@yahoo.com.br

**Wander Gustavo Botero**

Professor Doutor, UFAL, Brasil.  
wander.botero@iqb.ufal.br

**Flavia Moura**

Professora Doutora, UFAL, Brasil.  
flavia.moura@icbs.ufal.br

## RESUMO

Substâncias húmicas (SH) e rochas silicatadas são fontes de nutrientes na agricultura, mas efeitos específicos destas substâncias sobre espécies arbóreas nativas ainda são pouco conhecidos. A aplicação destes insumos na produção de mudas para restauração depende da análise de seus efeitos sobre as várias partes das plantas, principalmente no sistema radicular, que tem um papel importante na sobrevivência das mudas após o plantio. Neste estudo, usamos dados morfológicos, anatômicos e de absorção de nutrientes para relatar os efeitos do pó-de-rocha e da SH no crescimento do *Chloroleucon dumosum*, uma espécie usada na restauração da caatinga. O experimento foi composto por quatro tratamentos, em cenários com presença e ausência de pó-de-rocha e SH de turfa na melhor concentração obtida em um experimento prévio. Os tratamentos foram repetidos nove vezes num arranjo em delineamento de blocos ao acaso (DBC). As sementes foram semeadas em potes (1,7 L) com substrato solo e areia (2:1), onde permaneceram por 60 e 90 dias. O pó-de-rocha promoveu a massa seca da parte aérea aos 60 DAT. Nos tratamentos que continham pó-de-rocha adicionado ao substrato houve uma redução da nodulação e os menores teores de fósforo no tecido da parte aérea. As variáveis de crescimento foram significativamente maiores nos tratamentos com adição do pó-de-rocha, com maiores médias aos 90 DAT. Quando associado à SH o crescimento foi mais acentuado. Não houve efeito significativo para N, K e Si.

**Palavras-chave:** Fabaceae, leguminosas, silício, crescimento radicular

## 1 INTRODUÇÃO

As substâncias húmicas (SH) são os principais componentes da matéria orgânica do solo (85 a 90%), resultantes das transformações químicas e biológicas dos resíduos vegetais e da atividade microbiana. Os efeitos benéficos das substâncias húmicas no crescimento da planta e no sistema radicular foram reconhecidos em muitos estudos, mas os efeitos e específicos dessas substâncias em diferentes partes das plantas e diferentes estágios de crescimento ainda precisam ser melhor investigados (ROSE et al. 2014).

As rochas são a fonte de quase todos os elementos químicos que ocorrem naturalmente na superfície da Terra. A utilização de substâncias húmicas e rochas silicáticas como fonte de nutrientes na agricultura é uma prática antiga, que foi reduzida no último século pelo uso de fertilizantes de alta solubilidade. Além disso, até o momento, não há consenso entre os trabalhos sobre o assunto quanto à eficiência destes insumos em fornecer nutrientes e promover o crescimento das plantas, principalmente devido à lenta solubilização dos minerais presentes nas rochas (SAMPAIO; FREITAS, 2021).

A baixa sobrevivência das mudas da caatinga tem sido um importante gargalo na restauração deste ecossistema. Assim, na busca por alternativas para produção de mudas com melhor qualidade, este estudo analisa o efeito de substâncias húmicas e pó de rocha no crescimento de *Chloroleucon dumosum* e sua capacidade de realizar simbiose com microrganismos.

*C. dumosum* é uma espécie presente em diversas regiões do Brasil, indicada para projetos de restauração ecológica da caatinga. A hipótese desta pesquisa é que substâncias húmicas e pó de rocha silicatada melhoram o crescimento e a nodulação de *Chloroleucon dumosum*, com ação especial no incremento radicular. O aumento da massa seca de raízes pode ser um indicador de maior tolerância ao estresse hídrico, um dos principais filtros ambientais na restauração da caatinga.

## 2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi analisar o efeito de substâncias húmicas e pó de rocha no crescimento de *Chloroleucon dumosum* e na sua capacidade de realizar simbiose com microrganismos.

## 3 METODOLOGIA

### 3.1 Efeito da substâncias húmicas de turfa e pó de rocha no crescimento e nodulação de *Chloroleucon dumosum*

O experimento foi conduzido em casa de vegetação da Universidade Federal de Alagoas, UFAL – Campus Arapiraca. Avaliou-se o efeito da adubação com substâncias húmicas (SH) na concentração de 100 mg/L-1 C e pó de rocha (RD) no crescimento e nodulação de mudas de *C. dumosum* em casa de vegetação. O experimento consistiu em quatro tratamentos: irrigado com SH, com pó de rocha (RD) adicionado ao substrato, com pó de rocha (RD) adicionado ao substrato mais irrigação com SH e controle. Os tratamentos foram repetidos nove vezes em um arranjo de blocos aleatórios (RBD). As sementes de *C. dumosum* foram submetidas à escarificação mecânica com lixa (FILHO et al., 2007) e posterior desinfestação superficial com álcool (70%) por 1 minuto, Hipoclorito de Sódio (2%) por 3 minutos e 5 lavagens sucessivas em água destilada. Em seguida, foram submetidas ao hidrocondicionamento, tratamento pré-germinativo no qual as sementes ficam submersas em água por 24 horas. Quatro sementes foram semeadas em vasos (1,7 L), com substrato composto de terra e areia na proporção de 2:1.

O solo utilizado no substrato foi coletado em uma área de pousio da Universidade Federal de Alagoas, sendo o mesmo solo para todos os tratamentos, de forma que a única variável a ser considerada fosse o próprio tratamento. No preparo do substrato para o experimento foram adicionados ao solo 10 gL<sup>-1</sup> de pó de rocha nos tratamentos com presença de pó de rocha. A aplicação de SH foi feita 8 dias após a emergência das plantas, quando foi feito o desbaste, deixando uma planta por vaso. Cinco mL de concentração de SH de turfa (100 mg L<sup>-1</sup>) foram aplicados a cada 15 dias, até o final do experimento (90 dias), totalizando sete aplicações. Os efeitos dos tratamentos foram avaliados aos 60 e 90 dias após a aplicação dos tratamentos com base nas variáveis: número de nódulos (NN), massa seca do nódulo (M), massa seca da raiz (DRM), massa seca da parte aérea (MSD), diâmetro do colo (CD), altura da planta (HG) e número de folhas (LN). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F e as médias comparadas pelo teste t ( $P \leq 0,05$ ), com auxílio do software estatístico SISVAR v.5.6 (FERREIRA, 2011).

A qualidade das mudas foi avaliada por meio do Índice de Qualidade de Dikson (DQI), calculado pela fórmula  $IQD = [\text{matéria seca total} / (\text{RAD} + \text{RPAR})]$ , em que RAD: é a razão entre a altura da parte aérea e o diâmetro do caule e RPAR: é a razão de matéria seca da parte aérea em matéria seca da raiz (DICKSON et al., 1960).

### 3.2 Análise de clorofilas e carotenoides em mudas de *C. dumosum* aos 90 DAT

As análises de clorofila e carotenóides foram realizadas de acordo com a metodologia de Lichtenthaler (1987). A nona e a décima folhas foram retiradas de uma repetição de cada tratamento, estas foram mantidas em caixa de gelo. Em seguida, 20 mg de massa fresca foram pesados sob luz verde para evitar a fotodegradação, em um tubo de vidro coberto com papel alumínio, foram adicionados 5 mL de acetona 80%, a massa pesada foi imersa na solução de acetona onde permaneceu em repouso por 48 h. As amostras foram lidas em espectrofotômetro a 470, 647 e 663 nm. Após as leituras, o teor de clorofila foi calculado de acordo com as seguintes equações: clorofila a (ug.gMF-1) = [(12,25.A663) – (2,79.A647)] . V, clorofila b (ug.gMF-1) = [(21,50.A647) – (5,10.A663).V, clorofila a+b (ug.gMF-1) = (7,15.A663 ) + (18,71.A647).V. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F e as médias comparadas pelo teste t (P≤0,05%), com auxílio do software estatístico SISVAR v.5.6 (FERREIRA, 2011).

### 3.3 Quantificação de Nitrogênio, Fósforo, Potássio e Silício na parte aérea de *C. dumosum* via matéria seca (DM)

Para quantificar o teor de K presente na matéria seca, a metodologia de Carmo et al. (2000) foi utilizado, com algumas adaptações. O material foi seco em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 72 h, moído em Willys Knife Mill e acondicionado em sacos plásticos identificados. Foram pesados, em balança analítica, 500 mg de massa seca da parte aérea, transferidos para cadinhos de porcelana, colocados em mufla elétrica com temperatura controlada. A temperatura foi aumentada gradativamente até 550 °C e o material permaneceu por 4 h até obtenção de cinza branca. As cinzas foram dissolvidas em 25 ml de ácido clorídrico (0,1 mol L<sup>-1</sup>) HCL. A leitura foi feita com fotômetro de chama Quimis (modelo Q398M2P).

Os teores de N, P e Si presentes na matéria seca da parte aérea foram obtidos pela metodologia de Malavolta (1997). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F e as médias comparadas pelo teste t (P≤0,05%), com auxílio do software estatístico SISVAR v.5.6 (FERREIRA, 2011).

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Efeito de substâncias húmicas e pó de rocha na nodulação e crescimento de mudas de *Chloroleucon dumosum*

#### 4.1.1 Período 60 dias após o tratamento

Observou-se que, aos 60 dias após o plantio, houve um estímulo no crescimento das mudas de *C. dumosum* causado pela adição de pó de rocha (Figura 1).

Os tratamentos com a presença de SH tiveram efeito positivo na massa seca da parte aérea, e quando associados ao pó de rocha esse efeito se tornou mais pronunciado (Figura 1A). É comprovado que os SH promovem o crescimento vegetal, vários estudos comprovaram o efeito positivo da fração humificada da matéria orgânica na fisiologia e crescimento das plantas (CANELLAS; OLIVARES, 2014; ROSE et al. 2014).

Houve efeito significativo para a variável massa seca da parte aérea, onde as melhores médias foram para os tratamentos com presença de pó de rocha. Quando o pó de rocha foi associado ao SH, houve um efeito aditivo na produção de massa seca, porém sem promover um aumento significativo. Embora tenha sido comprovado que o SH promove o crescimento das plantas, especialmente o crescimento das raízes, a aplicação de SH de turfa isoladamente não promoveu o crescimento em plantas de *C. dumosum* 60 dias após o início da aplicação de SH (Figura 1A).

As substâncias húmicas têm atividade semelhante aos hormônios vegetais e aumentam a absorção de nutrientes e o crescimento das plantas (NARDI et al. 2021). Além de seus efeitos bioativos, os ácidos húmicos são considerados aditivos para a introdução de microrganismos na forma de inoculantes no sistema solo-planta. O efeito dos materiais húmicos depende da origem e qualidade da matéria orgânica, importante na relação final entre ácidos orgânicos e componentes minerais, químicos e biológicos do solo, promovendo interações melhores e mais estáveis (CANELLAS; OLIVARES, 2014).

Estudos demonstraram que o silício pode estimular o crescimento e a produção das plantas. Por exemplo, o acúmulo de silício torna as folhas mais eretas, devido à maior rigidez estrutural dos tecidos e isso reduz o auto sombreamento e protege a planta contra fatores abióticos desfavoráveis, como estresse hídrico, toxicidade de alumínio e ferro, entre outros (EPSTEIN, 1994; MIR et al. 2022).

O efeito do pó de rocha no crescimento das plantas foi comprovado quando comparado ao controle, onde as médias foram menores. Esse resultado pode representar uma possível alternativa para produção de mudas mais resistentes. Aos 60 dias de tratamento, não foi possível observar ainda diferenças estatisticamente significativas para as variáveis altura, número de folhas e diâmetro do colo (Figuras 1B, 1C, e 1D).

Ao contrário do que esperávamos inicialmente, os tratamentos com pó de rocha provocaram uma redução na formação de nódulos (Figura 1E) e na massa seca dos nódulos (Figura 1F). Uma hipótese para a baixa nodulação seria que as barreiras estruturais e químicas causadas pelo enriquecimento de silício podem ter dificultado a colonização por bactérias e isso reduziu a nodulação. Vários estudos mostram que o enriquecimento de Si na planta promove a formação dessas barreiras que acabam impedindo a colonização microbiana, principalmente de fungos e nematóides (MIR et al. 2022). Os efeitos benéficos do Si têm sido demonstrados em diversas espécies vegetais, sendo que, no caso de problemas fitossanitários, é capaz de aumentar a resistência das plantas ao ataque de insetos e patógenos. O silício pode conferir resistência às plantas por meio de sua deposição, formando uma barreira mecânica (EPSTEIN, 1994). As barreiras mecânicas incluem alterações na anatomia, como células epidérmicas mais espessas e maior grau de lignificação e silicificação (MENDES, 2011). Isso pode ter afetado negativamente o processo de simbiose da planta com bactérias fixadoras de nitrogênio, inibindo a nodulação. Embora o pó de rocha reduza a taxa de nodulação, este tratamento foi bastante eficiente no crescimento das plantas, mostrando-se uma alternativa para melhorar a qualidade da produção de mudas como já relatado por outros autores para espécies florestais (ARNOTT et al. 2021).

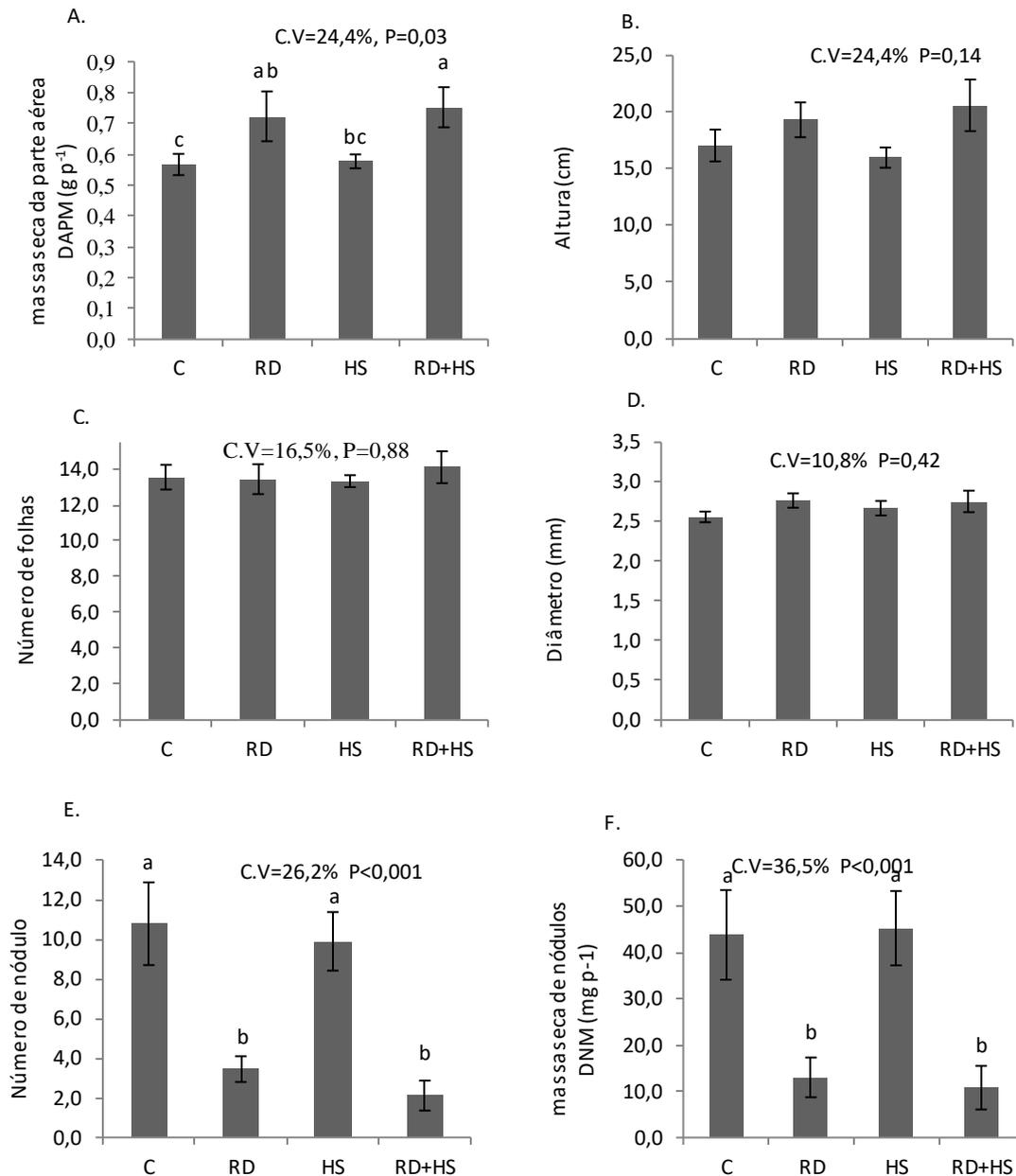


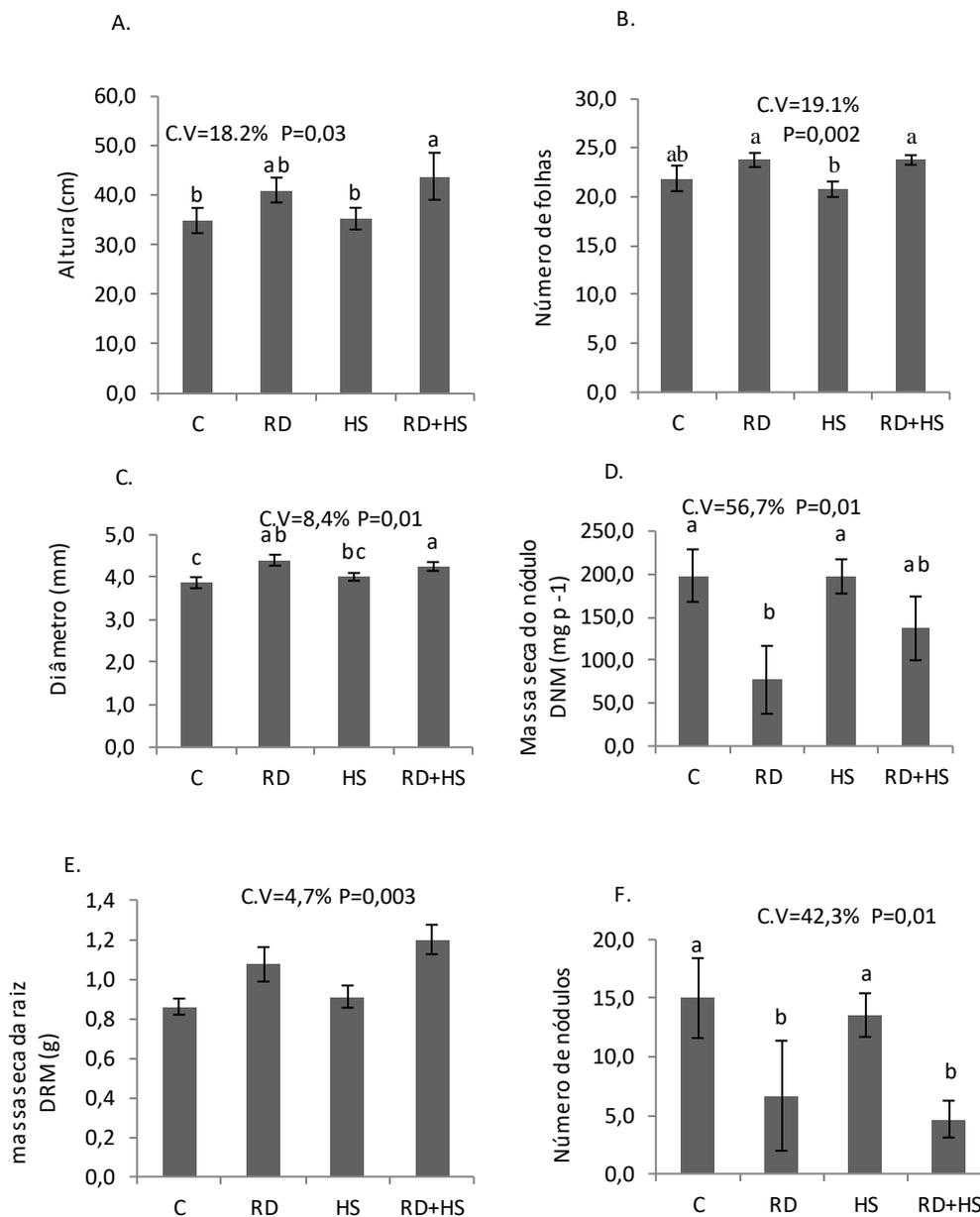
Figura 1. (A) massa seca da parte aérea de *C. dumosum* aos 60 DAT (DAPM), (B) altura da parte aérea, (C) número de folhas (NL), (D) diâmetro do colo (DC), (E) número de nódulos (NN), (F) massa seca de nódulos de *C. dumosum* aos 60 DAT (DNM). C=Controle; RD=pó de rocha; SH=substâncias húmicas ; RD+SH=pó de rocha +substâncias húmicas .

#### 4.1.2 Período 90 dias após o tratamento

Os efeitos do pó de rocha no crescimento das plantas foram significativos aos 90 DAT. As variáveis de crescimento foram significativas em todos os tratamentos com presença de pó de rocha (Figuras 2A, 2B, 2C, 2D, 2E). Houve efeito positivo da adição de pó de rocha nas variáveis: altura, número de folhas, diâmetro do caule, massa seca da parte aérea e massa seca da raiz, que em relação à testemunha foram estatisticamente superiores.

O silício é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre e se acumula nos tecidos de todas as plantas e representa de 0,1 a 10% de sua matéria seca (EPSTEIN,1994). A aplicação do Silício pode corrigir a acidez do solo, aumentar a disponibilidade de fósforo, aumentara saturação por bases e os teores de Cálcio e Magnésio nos solos, além da absorção do Silício trazer benefícios às plantas, como maior resistência da parede celular, maior taxa fotossintética, menor perda de água, maior absorção de Cálcio e Magnésio e aumento da produtividade (MIR et al. 2022).

O número de nódulos e a massa seca do nódulo nos tratamentos com pó de rocha continuaram menores, em relação ao controle (Figuras 2F; 2G).



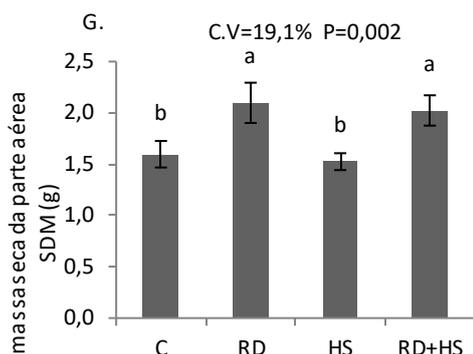


Figura 2. (A) Altura da parte aérea, (B) número de folhas (NF), (C) diâmetro do colo (DC), (D) massa seca do nódulo (DNM), (E) massa seca da raiz (DRM) de *C. dumosum* aos 90 DAT, (F) número de nódulos (NN), (G) massa seca da parte aérea (MS). C=Controle; RD=pó de rocha; SH=substâncias húmicas ; RD+SH=pó de rocha +substâncias húmicas

Substâncias húmicas podem atuar no aumento da população de bactérias diazotróficas endofíticas, atuando como condicionador físico-químico, além de promover maior estabelecimento de inóculo bacteriano no interior da planta Marques (2008). Isso pode ser explicado em parte pelos efeitos do SH no aumento do número de raízes laterais, que constituem o principal sítio de infecção da planta hospedeira por bactérias endofíticas. Os SH podem apresentar efeitos positivos no aumento da fitomassa vegetal, pois possuem alta reatividade de superfície e alto peso molecular, atuando como reservatório de nutrientes e contribuindo para a estabilização química dos microagregados, conforme já relatado por Silva et al. (2016).

Houve efeito significativo para massa seca total e uso eficiente de água, onde os tratamentos com melhor desempenho foram aqueles com adição de pó de rocha para ambas as variáveis. Não houve efeito significativo para o IQD (Tabela 1).

Tabela 1. Massa seca total (TDR), uso eficiente de água (EUA) e índice de qualidade de Dickson (IQD) em *C. dumosum* aos 90 dias após a aplicação dos tratamentos

| TRATAMENTOS | TDR (g)       | EUA H <sub>2</sub> O | IQD         |
|-------------|---------------|----------------------|-------------|
| C           | (2.66±0.16) b | (0.49±0.03) b        | (0.25±0.02) |
| RD          | (3.25±0.25) a | (0.60±0.05) a        | (0.29±0.02) |
| SH          | (2.63±0.13) b | (0.49±0.02) b        | (0.25±0.01) |
| RD+SH       | (3.36±0.20) a | (0.62±0.04) a        | (0.28±0.02) |

As médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $\leq 0.05$ ).

Em relação aos teores de pigmentos fotossintéticos, incluindo clorofila a, clorofila b, clorofila a+b e carotenóides, em média houve pouca variação entre os tratamentos (Figura 3),

não apresentando contrastes significativos. A aplicação de SH promoveu redução na produção de clorofila b, embora não significativamente (Figura 3 A).

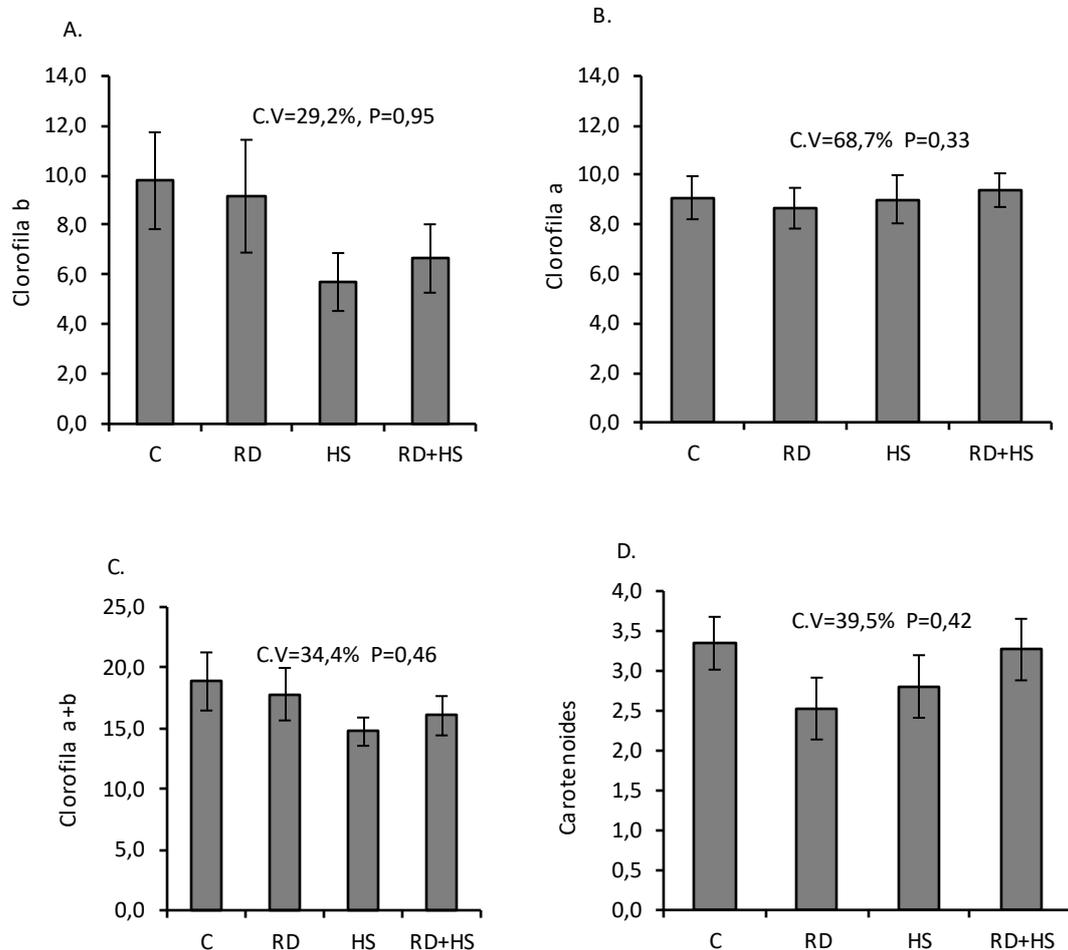


Figura 3 - Análise de clorofilas e carotenóides em *C. dumosum*. (A) Clorofila b, (B) Clorofila a, (C) Clorofila a+b, (D) Carotenóides. Valores expressos em µg/ml of MF. C=Controle;RD=pó de rocha; SH=substâncias húmicas ; RD+SH=pó de rocha +substâncias húmicas .

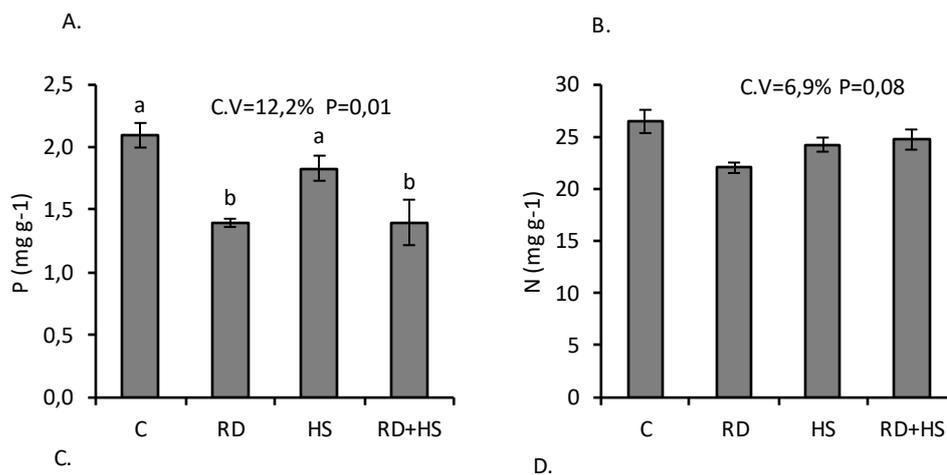
As plantas submetidas ao pó de rocha apresentaram baixo teor de fósforo (Figura 4A), o que pode ter afetado a nodulação. O P é um nutriente essencial para o desenvolvimento das plantas e sua deficiência limita a produção e a capacidade de crescimento (MORINIÈRE et al. 2016; PUEYO et al. 2021). Além disso, o P é um elemento muito importante para a nutrição das leguminosas e para a nodulação e fixação do N<sub>2</sub> (WANG et al. 2020). A baixa fertilidade do solo, devido a sua grande deficiência de P e micronutrientes, pode afetar a nodulação, que provavelmente são os fatores mais limitantes para a fixação de N<sub>2</sub>, conseqüentemente uma planta com menos fósforo pode ter teores de N mais baixos também (Figura 4B).

Não houve diferença significativa entre os tratamentos para acúmulo de N, K e Si na parte aérea da planta (Figuras 4AB, 4C, 4D). O nitrogênio é considerado o elemento mais

abundante, constituindo cerca de 80% da atmosfera terrestre. É o macronutriente que mais comumente limita o crescimento e a produção das plantas. Isso porque as plantas não possuem mecanismos para a absorção direta do Nitrogênio (N<sub>2</sub>) disponível na atmosfera.

Plantas submetidas a tratamentos com pó de rocha adicionado ao substrato apresentaram os maiores teores de Magnésio (Mg) no tecido da parte aérea (Figura 4E). Para o acúmulo de Cálcio (Ca) no tecido da parte aérea não houve diferença significativa entre os tratamentos (Figura 4F).

O Mg é essencial para as plantas, sendo absorvido da solução do solo na forma do íon Mg<sup>2+</sup>, tem função estrutural e está envolvido como cofator em muitas transferências enzimáticas na respiração, fotossíntese e síntese de DNA e RNA. O Ca é um elemento imóvel nas plantas, na parte aérea, a deficiência do nutriente é caracterizada pela redução do crescimento dos tecidos meristemáticos, causando danos nas extremidades e folhas novas, que ficam deformadas e cloróticas. A deficiência de Ca é rara em condições de campo, especialmente quando os solos já foram corrigidos com cal (TAIZ; ZEIGER, 2004).



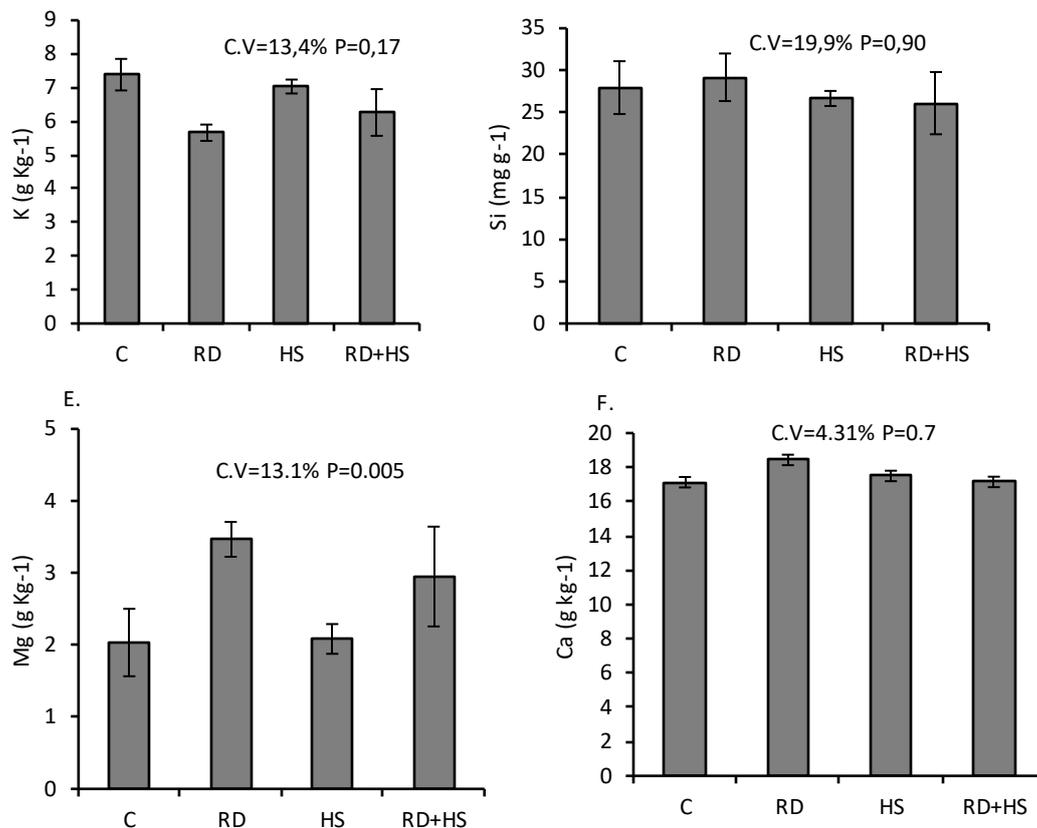


Figura 4. Teor de P (A), N (B), K (C) e Si (D), Mg (E), Ca (F) na parte aérea de *C. dumosum*. C=Controle;RD=pó de rocha; SH=substâncias húmicas ; RD+SH=pó de rocha +substâncias húmicas .

Não houve diferença estatística entre os tratamentos para o teor de potássio (Figura 4C). Para as leguminosas, a deficiência de potássio, além de afetar o crescimento da planta, reduz a nodulação (número e tamanho dos nódulos), afetando a fixação de nitrogênio (XU et al. 2020).

As plantas dos tratamentos com presença de pó de rocha apresentaram uso eficiente do nitrogênio. Apesar de apresentarem baixos teores de P nos tecidos, as plantas tratadas com pó de rocha e substâncias húmicas no substrato conseguiram fazer uso eficiente do fósforo e isso foi suficiente para mantê-las saudáveis e em crescimento (Figuras 5A, 5B).

A.

B.

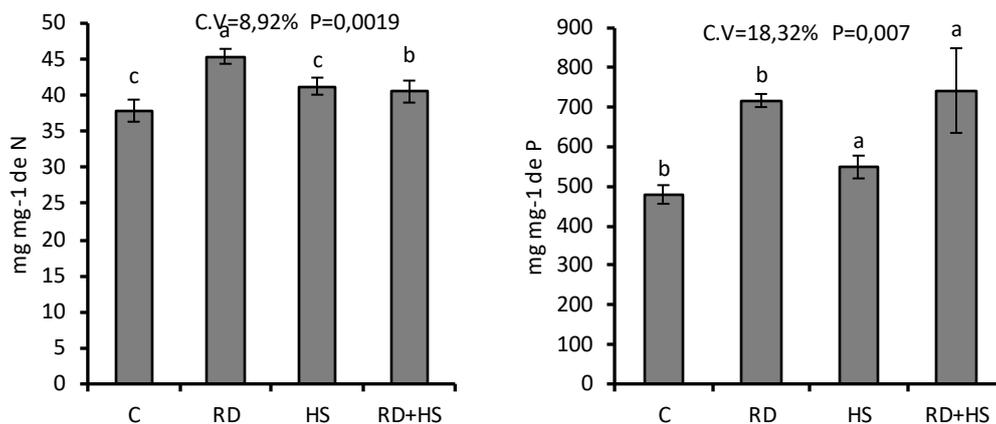


Figura 5. Uso eficiente de nitrogênio (A) e fósforo (B) por plantas de *C. dumosum* 90 dias após a aplicação dos tratamentos

A deficiência de P tem um impacto negativo na fixação biológica de N<sub>2</sub>. A redução na fixação de N<sub>2</sub> em leguminosas com suprimento limitado de P é geralmente explicada por uma diminuição no crescimento do hospedeiro e, conseqüentemente, na demanda fixa de N, no crescimento e funcionamento dos nódulos ou no crescimento de ambos (ROSE et al. 2014; WANG et al. 2020).

## 5 CONCLUSÃO

O tratamento com pó de rocha foi positivo e pode ser recomendado para produção de mudas de *Chloroleucon dumosum*, causando maior aumento na massa seca da parte aérea, observado após 60 dias, principalmente quando combinado com substâncias húmicas. Esse benefício foi maior aos 90 dias após o plantio, quando além da massa seca da parte aérea, houve aumento da altura, diâmetro do caule e número de folhas. O aumento também foi observado no tratamento com pó de rocha associado à substâncias húmicas, mas não quando a substâncias húmicas estava sozinha.

Por outro lado, o pó de rocha inibiu a nodulação de *Chloroleucon dumosum*, mesmo quando adicionado a substâncias húmicas. A adição de substâncias húmicas não alterou nenhum dos parâmetros analisados relacionados ao crescimento vegetal, exceto quando associada ao pó de rocha, quando promoveu maior crescimento (mas sem significância estatística) em relação ao pó de rocha isoladamente.

Os tratamentos não alteraram o teor de clorofila e carotenóides nas plantas, mas a concentração de fósforo (P) foi menor nos dois tratamentos com pó de rocha (sozinho ou combinado com SH) e a concentração de MG foi maior nos tratamentos onde houve adição de pó de rocha. Embora os tratamentos com pó de rocha condicionassem baixos teores de fósforo no tecido, esse fato não foi importante para reduzir o desempenho das mudas de *C. dumosum* nessa fase inicial.

Uma vez que o pó de rocha adicionado ao substrato inibiu a nodulação, sugere-se estudos com a adição deste substrato em outras fases de crescimento da planta, após a nodulação, para que este processo não seja inibido na fase inicial de crescimento.

## 6 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ARNOTT, A.; GALAGEDARA, L.; THOMAS, R.; CHEEMA, M.; SOBZE, J. M. The potential of rock dust nanoparticles to improve seed germination and seedling vigor of native species: A review. **Science of the Total Environment**, v. 775, p.145139, 2021.

CANELLAS, L. P.; OLIVARES, F. L. Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 1, n. 3, p. 1-11, 2014.

DICKSON, A. et al. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forest Chronicle**, v. 36, p. 10-13, 1960.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceeding of the National Academy Science**, Washington, v. 91, n. 1, p. 11-17, 1994.

FERREIRA, D.F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**; Lavras; v. 35, n.6, p.1039-1042, 2011.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzymology**, p.350-382, 1987.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira de Potássio e do Fósforo, 319 p., 1997.

MARQUES, J. R. B.; SILVA, L. G.; CANELLAS, L. P.; OLIVARES, F. L. Promoção do enraizamento de microtoletes de cana-de-açúcar pelo uso conjunto de substâncias húmicas e bactérias diazotróficas endofíticas. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.32, p.1121-1128, 2008.

MENDES, L.; SOUZA, C. H. E. S.; MACHADO, V. J. Adubação com silício: influência sobre o solo, planta, pragas e patógenos. **Cerrado Agrocências**. UNIPAM, v.2, p. 51-63, 2011.

MIR, R. A.; BHAT, B. A.; YOUSUF, H.; ISLAM, S. T.; RAZA, A.; RIZVI, M. A.; CHARAGH, S.; ALBAQAMI, M.; SOFI, P. A.; ZARGAR, S. M. Multidimensional Role of Silicon to Activate Resilient Plant Growth and to Mitigate Abiotic Stress. **Frontiers in Plant Science**, v.13, p. 1-26, 2022.

PUEYO, J. J.; QUIÑONES, M. A.; COBA DE LA PEÑA, T.; FEDOROVA, E. E.; LUCAS, M. M. Nitrogen and Phosphorus Interplay in Lupin Root Nodules and Cluster Roots. **Frontiers in Plant Science**, v.12, p. 1–9, 2021.

ROSE, M. T.; PATTI, A. F.; LITTLE, K. R.; BROWN, A. L.; JACKSON, W. R.; CAVAGNARO, T. R. A Meta-Analysis and Review of Plant-Growth Response to Humic Substances: Practical Implications for Agriculture, 2014.

SAMPAIO, E.; FREITAS, A. D. Sampaio&Freitas.pdf. In **Restauração na Caatinga**, 2nd ed (Ed J.M.F. Silva), p. 10–26. Maceó: EDUFAL, 2021.

SILVA, R. J. et al. Humic substances, purified MAP and hydrogel in the development and survival of Eucalyptus urograndis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.7, p.625-629, 2016.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. 719p. Porto Alegre: Artmed, 2004.

WANG, Y., YANG, Z., KONG, Y., LI, W., Du, H., ZHANG, C. mPAP12 Is Required for Nodule Development and Nitrogen Fixation Under Phosphorus Starvation in Soybean. **Frontiers in Plant Science**, v.11, p. 1–12, 2020.

XU, X.; DU, X.; WANG, F.; SHA, J.; CHEN, Q.; TIAN, G.; ZHU, Z.; GE, S.; JIANG, Y. Effects of Potassium Levels on Plant Growth, Accumulation and Distribution of Carbon, and Nitrate Metabolism in Apple Dwarf Rootstock Seedlings. **Frontiers in Plant Science**, v.11, p. 1–13, 2020.