

RODRIGO NASCIMENTO DE PAULA

**CRESCIMENTO INICIAL DE *Dendrocalamus asper* EM RESPOSTA A
RELAÇÕES CÁLCIO:MAGNÉSIO, SILÍCIO E ZINCO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Haroldo Nogueira de Paiva

Coorientadores: Helio Garcia Leite
Silvio Nolasco de Oliveira Neto

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2022**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa

T

P324c
2022 Paula, Rodrigo Nascimento de, 1978-
Crescimento inicial de *Dendrocalamus asper* em resposta a
relações cálcio:magnésio, silício e zinco / Rodrigo Nascimento
de Paula. – Viçosa, MG, 2022.

1 dissertação eletrônica (55 f.): il. (algumas color.).

Inclui anexos.

Orientador: Haroldo Nogueira de Paiva.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Engenharia Florestal, 2022.

Referências bibliográficas: f. 41-51.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2022.689>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Bambu - Adubos e fertilizantes. 2. Bambu - Efeito dos
minerais. 3. Calagem dos solos. I. Paiva, Haroldo Nogueira de,
1956-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Engenharia Florestal. Programa de Pós-Graduação em Ciência
Florestal. III. Título.

GFDC adapt. CDD 22. ed. 634.9287

Bibliotecário(a) responsável: Bruna Silva CRB-6/2552

RODRIGO NASCIMENTO DE PAULA

**CRESCIMENTO INICIAL DE *Dendrocalamus asper* EM RESPOSTA A
RELAÇÕES CÁLCIO:MAGNÉSIO, SILÍCIO E ZINCO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 24 de agosto de 2022.

Assentimento:



Documento assinado digitalmente
RODRIGO NASCIMENTO DE PAULA
Data: 13/09/2023 09:05:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Rodrigo Nascimento de Paula
Autor

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Haroldo'.

Haroldo Nogueira de Paiva
Orientador

*A todos os professores, mestres e
doutores que dominam a arte de
ensinar.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus o Grande Arquiteto do Universo.

À minha família, minha esposa e meu filho Pedro, pelo apoio e incentivo, estando sempre dispostos a ajudar.

Aos meus familiares, meus pais e irmãos, que sempre estão torcendo, incentivando e felizes com minhas conquistas.

Ao meu orientador e amigo, professor e estimado mestre Haroldo Nogueira de Paiva, por todo direcionamento, ensinamentos, apoio na condução deste trabalho com a cultura do bambu.

Aos meus coorientadores e amigos, professores Helio Garcia Leite e Silvio Nolasco de Oliveira Neto, pela seriedade como profissionais e pesquisadores, além da disponibilidade e interesse em apoiar nesse trabalho.

Aos amigos João Paulo Silva Ladeira, Josimar Reis Mendes, Jorge Luis da Silva, Geraldo Machado, Ricarla de Cassia Batalha de Freitas, Letícia Coelho Andrade de Moura, Davi Santos Oliveira, Adilson Santos Oliveira, Talles Aquino Guedes Barbosa, Marlos dos Santos Pereira Birindiba Garuzzo, por todo apoio e ótimo clima de trabalho. Vocês fizeram esse trabalho mais divertido.

Ao Doutorando Lucas Sergio pela parceria, a Doutora Genaina Aparecida de Souza pelo apoio e sugestões.

Aos professores e amigos Gleison Augusto dos Santos e Sebastião Renato Valverde, pelas provocações em relação a cultura do bambu e apoio ao longo dessa jornada.

A todos colegas e amigos da Sociedade de Investigações Florestais (SIF), vocês fazem a diferença.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal pela oportunidade de adquirir novos conhecimentos, desenvolver essa dissertação, e em especial ao Alexandre e Dilson pela disponibilidade e atenção ao longo desses anos.

A todos os professores da Universidade Federal de Viçosa, do Departamento de Engenharia Florestal, por sempre fazer a diferença, proporcionar condições de ensino, pesquisa e extensão, sempre com excelência.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior – Brasil (CAPES).

BIOGRAFIA

Filho de Delduque de Paula Silva e Maria das Graças do Nascimento de Paula, natural de Belo Horizonte, MG. Casado com Cibelle Costa Colares de Paula e pai de Pedro Colares de Paula. Começou na área florestal em 1995 ao iniciar o curso técnico em agropecuária na Central de Ensino e Desenvolvimento Agrário de Florestal (CEDAF), concluindo-o em 1997. Em 1999, ingressou no Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa (UFV), concluindo-o em julho de 2003. Em 2006, concluiu curso de Pós graduação e Especialização em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas no Agronegócio, pela Universidade Federal de Lavras (UFLA). Em 2012, concluiu o curso de especialização em Gestão Empresarial, pela Fundação Getúlio Vargas (FGV). Em 2020, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da UFV, em nível de Mestrado, submetendo-se à defesa de dissertação em agosto de 2022.

Ao longo de sua carreira trabalhou nas empresas Florestas Rio Doce, EMATER, Gerdau e Sociedade de Investigações Florestais (SIF).

“ Eu quase que nada não sei. Mas desconfio de muita coisa”.

“É junto dos bão que a gente fica mió”.

(Guimarães Rosa - Grande Sertão: Veredas)

RESUMO

PAULA, Rodrigo Nascimento, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2022. **Crescimento inicial de *Dendrocalamus asper* em resposta a relações cálcio:magnésio, silício e zinco.** Orientador: Haroldo Nogueira de Paiva. Coorientadores: Silvio Nolasco de Oliveira Neto e Helio Garcia Leite.

O interesse crescente pela cultura do bambu no Brasil vem de encontro com a necessidade de evoluir com o conhecimento do manejo nutricional. Estudos demonstram a importância de nutrientes como cálcio e magnésio, sendo que o magnésio chega a superar a quantidade quando comparado com o cálcio nos tecidos do bambu. Outro elemento, o silício, aparece como principal componente da massa de nutrientes em estudos com bambu, além disso, a literatura demonstra vários estudos com efeitos positivos do zinco em gramíneas. Tem-se como objetivo deste trabalho avaliar a produção de biomassa de *Dendrocalamus asper*, cultivado em vasos, sob efeito de relações cálcio e magnésio (Ca:Mg), e de doses de silício. O experimento foi instalado no viveiro de pesquisa do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, em arranjo fatorial 5 x 5 (5 níveis de relação Ca:Mg e 5 níveis de doses de silício), mais um tratamento adicional com zinco em vasos de 25 L, disposto no delineamento experimental de blocos ao acaso. Os tratamentos consistiram de cinco relações Ca:Mg (3:1; 2:1; 1:1; 1:2; 1:3), sendo as doses calculadas com base nos resultados da análise de caracterização química do solo, elevando-se a saturação por bases até o nível de 50%; cinco doses de silício, equivalentes a 0, 2, 4, 6 e 8 t ha⁻¹ de Agrosilício Plus® ha⁻¹, um tratamento adicional com Zn, equivalente a dose de 5 kg ha⁻¹. Os produtos utilizados foram Carbonato de Cálcio e Hidróxido de Magnésio. Para o silício utilizou-se Bugram Protect® via solo. Para o Zn utilizou-se como fonte sulfato de zinco. Todos os tratamentos receberam as mesmas quantidades de NPK, em adubações de plantio e cobertura, totalizando 45 g vaso⁻¹ de P₂O₅, 20 g vaso⁻¹ de N e 50 g vaso⁻¹ de K₂O. As avaliações foram realizadas após 207 dias de cultivo, quantificando o número de brotos, massa seca de folhas, galhos, colmos, parte aérea, rizomas, sistema radicular e massa seca total. Os resultados obtidos foram analisados estatisticamente, através da análise de variância, teste de Dunnett e Tukey e análise de regressão. Como resultado, não houve efeito

significativo, pelo teste Dunnett a 5% de probabilidade, para aplicação Zn, quando comparado com os demais tratamentos. Obteve-se resposta significativa, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey para a relação Ca:Mg 1:3, para massa seca de sistema radicular e massa seca total. Houve resposta significativa para maior dose de Si (equivalente a 8 t ha⁻¹ de Agrosilício Plus®). Pela análise de regressão é possível observar que os modelos ajustados indicam que a dose ótima, onde haverá maior crescimento é atingida em doses de Si superiores as testadas para essa idade e condição de cultivo. Os resultados demonstram respostas positivas do crescimento de *Dendrocalamus asper* com maior disponibilidade de Mg e Si no substrato.

Palavras-chave: Bambu. Adubação. Calagem. Nutrição mineral.

ABSTRACT

PAULA, Rodrigo Nascimento, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August 2022. **Crescimento inicial de *Dendrocalamus asper* em resposta a relações cálcio:magnésio, silício e zinco.** Advisor professor: Haroldo Nogueira de Paiva. Co-advisors: Silvio Nolasco de Oliveira Neto and Helio Garcia Leite.

As a result of the growing interest in Brazilian bamboo culture, it is fundamental to increase the knowledge about its nutritional management. Studies demonstrate the importance of nutrients such as calcium and magnesium and when compared, the tissues contained more magnesium than calcium. Silicon appears as the main component of nutrient mass in studies with bamboo. In addition, the literature has demonstrated several positive studies of zinc in grasses. The objective of this work is to assess the biomass production of *Dendrocalamus asper* bamboo, cultivated in pots, considering calcium and magnesium ratios (Ca:Mg), and silicon doses. The experiment was carried out in the research nursery of the Forest Engineering Department of the Federal University of Viçosa, in a 5 x 5 factorial arrangement (5 doses of Ca:Mg ratio and 5 doses of silicon), plus an additional treatment with zinc, randomly distributed. The treatments consisted of five Ca:Mg ratios (3:1; 2:1; 1:1; 1:2; 1:3) and the doses were calculated based on the results of the soil chemical characterization analysis, increasing the levels of base saturation up to the 50%, five silicon doses (0, 2, 4, 6 and 8 t ha⁻¹ of Agrosilício Plus®). Also, an additional treatment with Zn was performed, equivalent to a dose of 5 kg ha⁻¹ Calcium Carbonate and Magnesium Hydroxide were used. For silicon, Bugram Protect® was used, in the soil. For Zn, zinc sulfate was used as a source. All treatments received the same amounts of NPK, in amendment of the plantation and crop cover totaling 45 g/pot of P₂O₅, 20 g/pot of N and 50 g/pot of K₂O. The assess were carried out after 207 days of cultivation, quantifying the number of sprouts, leaf dry mass, branches, stalks, aerial part, rhizomes, fine roots, root system and total dry mass. The results obtained were statistically analyzed using analysis of variance, Dunnett's test, Tukey's test and regression analysis. As a result, there was no significant effect, for the Dunnett test at 5% level, for Zn application, when compared with the other treatments. A significant response was obtained, at 5% level, by the Tukey test for the Ca:Mg 1:3 ratio, for root

dry mass system and total dry mass. There was a significant response to a higher dose of Si (equivalent to 8 t ha⁻¹ of Agrosilicon Plus®). Through regression analysis, it is observed that the adjusted models indicate that the optimal dose, where there will be greater growth, is reached at doses of Si higher than those tested here in this study, for this age and cultivation condition. The results demonstrate positive growth responses of *Dendrocalamus asper* with greater availability of Mg and Si in the substrate.

Keywords: Bamboo. Fertilizing. Liming. Mineral nutrition.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1.** Experimento com *Dendrocalamus asper*. A. Implantação do experimento, B. Plantas de Bambu estabelecidas e C. Visão geral do experimento instalado.....30
- Figura 2.** Coleta de componentes da parte aérea e subterrânea de *Dendrocalamus asper* após 207 dias de instalação do experimento. A. Folhas. B. Galhos. C. Parte subterrânea. Barras = 10cm.....31
- Figura 3.** Massa seca de Rizoma (MSRZ), massa seca de Raízes (MSR) e massa seca da parte subterrânea (MSPS), de *Dendrocalamus asper* em função de relações Ca:Mg e doses de Si (0; 1; 2; 3 e 4, correspondentes a 0; 2; 4; 6 e 8 t/ha ou 0; 8,68; 17,36; 26,05 e 37,73 g vaso⁻¹), aos 207 dias após plantio. Médias com mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p > 0,05$).....37
- Figura 4.** Matéria seca de *Dendrocalamus asper* em função das doses de Si (0; 1; 2; 3 e 4, correspondentes a 0; 2; 4; 6 e 8 t ha⁻¹ de Agrossilício ou 0; 8,68 ; 17,36; 26,05 e 37,73 g vaso⁻¹), aos 207 dias após plantio. A. Massa seca de folhas (MSF). B. Massa seca de galhos (MSG,). C. Massa seca de colmos (MSC). D. Massa seca da parte aérea (MSPA).....39
- Figura 5.** A. Massa seca total (MST), de *Dendrocalamus asper* em função de relações Ca:Mg aos 207 dias após plantio. B. Matéria seca total em função das doses de Si (0; 1 ; 2; 3 e 4, correspondentes a 0; 2; 4; 6 e 8 t ha⁻¹ de Agrossilício ou 0; 8,68 ; 17,36; 26,05 e 37,73 g vaso⁻¹) aos 207 dias após plantio. Médias com mesmas letras não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p > 0,05$).....40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características químicas e físicas da amostra do solo utilizada para o cultivo de <i>Dendrocalamus asper</i>	29
Tabela 2. Resumo da análise de variância com os quadrados médios para as variáveis da parte subterrânea de <i>Dendrocalamus asper</i> após 207 dias após plantio. MSRZ (matéria seca de rizoma); MSR (matéria seca de raízes); MSPS (matéria seca da parte subterrânea) ns: não significativo. * significativo ($p < 0,05$).....	35
Tabela 3. Resumo da análise de variância com os quadrados médios para as variáveis da parte aérea de <i>Dendrocalamus asper</i> após 207 dias de instalação do experimento. NB (número de brotos); MSF (massa seca de folhas); MSG (massa seca de galhos); MSC (massa seca de colmos); massa seca da parte aérea (MSPA) e MST (massa seca total).ns: não significativo. * significativo ($p < 0,05$).....	38
Tabela 4. Incremento em porcentagem (%) induzidas pelas doses de Silício aplicadas. Comparação em ganho (%) de cada dose em relação ao controle (dose zero).....	41
Tabela A1. Teste de Dunett, a 5% de probabilidade, comparando-se o tratamento adicional com Zn com as diferentes relações Ca:Mg e tratamentos de Si.....	55
Tabela A2. Análise de variância para número de brotos de <i>Dendrocalamus asper</i> , aos 207 dias após plantio.....	56
Tabela A3. Análise de variância para massa seca de folhas de <i>Dendrocalamus asper</i> , aos 207 dias após plantio.....	56
Tabela A4. Análise de variância para massa seca de galhos de <i>Dendrocalamus asper</i> , aos 207 dias após plantio.....	56
Tabela A5. Análise de variância para massa seca de colmos de <i>Dendrocalamus asper</i> , aos 207 dias após plantio.....	57
Tabela A6. Análise de variância para massa seca de parte aérea de <i>Dendrocalamus asper</i> , aos 207 dias após plantio.....	57

Tabela A7. Análise de variância para massa seca de rizomas de <i>Dendrocalamus asper</i> , aos 207 dias após plantio.....	57
Tabela A8. Análise de variância para massa seca de raízes finas de <i>Dendrocalamus asper</i> , aos 207 dias após plantio.....	58
Tabela A9. Análise de variância para massa seca do sistema radicular de <i>Dendrocalamus asper</i> , aos 207 dias após plantio.....	58
Tabela A10. Análise de variância para massa seca total de <i>Dendrocalamus asper</i> , aos 207 dias após plantio.....	58

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 Aspectos gerais da cultura do bambu	18
2.2 O <i>Dendrocalamus asper</i>	20
2.3 Aspectos nutricionais da cultura do bambu	22
2.4 O elemento Silício	24
2.5 O micronutriente Zinco	26
3 MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1 Implantação do experimento	27
3.2 Coleta de dados	29
3.3 Análises estatísticas	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
4.1 Produção de massa seca da parte subterrânea	33
4.2 Crescimento inicial e produção de massa seca da parte aérea	36
4.3 Produção de massa seca total	38
5. CONCLUSÕES	40
REFERÊNCIAS	41
ANEXOS	52

1 INTRODUÇÃO

O bambu é uma espécie, cujas culturas são predominantemente tropicais, renovável, perene, de produção anual, de rápido crescimento, com centenas de espécies espalhadas por todo o planeta e com diversas aplicações (PEREIRA, 2012). Tem folhagem alta e densa e natureza de crescimento rápido, devido ao qual é capaz de manter a espessa camada de serapilheira (MISHRA et al., 2014; FUKU et al., 2021). Até o momento, mais de 1.662 espécies em 121 gêneros de bambu foram identificadas, distribuídas em todo o mundo (GOYAL et al., 2012; CHOUDHURY et al., 2012; BRAHMA et al., 2014; WANG et al., 2020; BOROWSKI et al., 2022). A maioria das espécies de bambu é mais comum em áreas quentes e com alta pluviosidade, como a Ásia tropical e subtropical, América do Sul, África e Oceania (PEREIRA e BERALDO, 2016). Pode ser cultivado a altitudes de 0 a 3.800m, com índice pluviométrico entre 500 e 4.500 mm/ano, temperatura média entre 15°C e 40°C e umidade relativa acima de 35%, apresentando boa produtividade em solos com pH entre 4,5 e 7,5 (SANTI, 2015).

Seu cultivo ainda não é considerado de grande importância no Brasil, no entanto, o interesse pela produção sustentável de bambu é crescente. Prova disso é a aprovação da lei 12.484/2011 (Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu - PNMCB) e a aprovação pelo Senado Federal, em 24 de agosto de 2016 do acordo que garante a participação do Brasil na rede internacional do Bambu e Rattan (INBAR) (QUEIROZ, 2020).

O Brasil possui a segunda maior diversidade de bambus do mundo, sendo que a Lista das Espécies da Flora cita 258 espécies nativas (FILGUEIRAS e VIANA, 2017). *Dendrocalamus asper* (Schult. e Schult. f.), Backer ex K. Heyne 1927, conhecido popularmente como “bambu-gigante” ou “bambu-balde”, pertence à tribo Bambuseae e forma touceiras de grande porte, com até 30 m de altura. Originário da região sudeste da Ásia, provavelmente foi introduzida no Brasil pelos colonizadores portugueses (TOMBOLATO et al., 2012).

Se desenvolve bem em solos profundos, férteis, leves e com boa drenagem. Em plantios de bambu, a densidade é alta, realiza-se cortes e as brotações são deixadas crescer, sem necessidade de replantio. A nutrição se distingue por ser caracterizada pela existência de um complexo de colmos sucessivamente conectados

ao rizoma, levando à pressuposição de que, no planejamento da adubação, deve ser essencial a avaliação do status nutricional do sistema de cultivo (MENDES et al., 2010).

A fertilização mineral é a técnica comumente utilizada para as características químicas do solo para se atender as necessidades da cultura, aumentando, assim, a taxa de crescimento das plantas (SETTE JR et al., 2017), sendo fator preponderante no crescimento da touceira e na sua maturação (MAOYI et al., 2008).

Estudos relacionados a fertilização mineral relatam variação dos teores de nutrientes nas diferentes partes das plantas de *Bambusa bambos*, sendo observadas nas folhas e colmos foram de 19,00 e 12,10; 3,30 e 2,80; 16,00 e 14,40; 5,10 e 4,10; 5,40 e 4,60 g kg⁻¹ de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, respectivamente (SHANMUGHAVEL e FRANCIS, 1996).

Além disso, o bambu é altamente sensível a deficiências de nutrientes minerais, como Ca e Mg (GUO et al., 2021). O Mg atuando principalmente como cofator para uma série de enzimas envolvidas na fixação fotossintética de carbono, metabolismo energético e a eliminação de espécies reativas de oxigênio (ROS) (TANG e LUAN, 2017; KOBAYASHI et al., 2019). Enquanto os íons Ca da planta atuam como “mensageiro secundário”, que incluem respostas ao estresse biótico e abiótico, regulação e danos físicos (TANG e LUAN, 2017).

Além dos elementos minerais comumente encontrados nas plantas, nos bambus, de modo geral, são encontrados elevados teores de silício, considerado um elemento benéfico (MENEGALE, 2015). Estudos recentes revelaram que o silício tem a capacidade de regular o metabolismo dos ácidos málico e fórmico nas plantas, participando da regulação da absorção do alumínio (MEHTA et al., 2020). Porém, a escassez de Si no solo reflete de forma significativa a produtividade final de algumas culturas, especialmente as gramíneas. Estudos sugerem que a alta deposição de Si em alguns tecidos vegetais aumenta a sua força e rigidez, e melhora a tolerância contra estressores bióticos e abióticos em ambientes extremos (MA e YAMAJI 2006; MANDLIK et al., 2020).

Importante também destacar o papel que o zinco exerce sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo que aproximadamente 50% dos solos usados para a produção de culturas no mundo são deficientes em zinco. No Brasil, a deficiência de zinco é relatada em várias culturas anuais (BATAGLIA e RAIJ, 1994; GALRÃO, 1994; HERNANDES et al., 2009). Este elemento é importante na rota de

síntese do triptofano, um precursor na síntese de auxinas (TAIZ e ZEIGER, 2017). Ou seja, a deficiência de Zn pode gerar perdas no crescimento. Maior quantidade de Zn em brotos de bambu em relação a outros vegetais (DEVI et al., 2018), exemplificam sua capacidade de absorção e acúmulo deste mineral.

No entanto, existem poucas pesquisas relacionadas ao manejo e adubações adequadas para cultivos de bambu (BONK, 2021). Assim, estudos visando melhor entendimento do efeito dos nutrientes minerais no solo e a exigência das espécies de bambu são importantes para o melhor manejo nutricional desta cultura.

O objetivo deste estudo foi ampliar o conhecimento sobre manejo nutricional da cultura do bambu, avaliando o efeito de relações cálcio:magnésio, silício e zinco sobre o crescimento inicial de *Dendrocalamus asper*.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aspectos gerais da cultura do bambu

O termo bambu foi originalmente introduzido pelo naturalista sueco Carlos Lineu (1707-1778), que a partir do idioma hindú (Índia) adotou a terminologia mambu ou bambu (GRECO e CRIMBERG, 2011). Bambu consiste no nome genérico utilizado para um grupo de gramíneas perenes com colmo lenhoso que ocorre naturalmente na maioria das regiões tropicais do mundo, abrangendo 1.662 espécies com 121 gêneros (BOROWSKI et al., 2022), tem atraído cada vez mais atenção para produção de fibras, uso na construção civil e outros materiais. Existem mais de 1200 espécies de bambus, capazes de ocupar variados habitats . Apresenta alta capacidade de adaptabilidade, estratégia de reprodução eficaz e atualmente ocupa mais de 14 milhões de ha, localizados principalmente na Ásia, África e América (MAOY e BANIK, 1995). A ocorrência do bambu é vasta, abrangendo ampla faixa ecológica, apresenta altas taxas de crescimento e diversos usos. Se caracteriza como recurso importante nos locais onde ocorre abundantemente (por exemplo, China, Índia e Brasil). Recentemente vem ganhando espaço como recurso de biomassa globalmente importante (SCURLOCK et al., 2000). Além de ser uma fonte tradicional de energia e outros usos, a valorização elétrica de biomassa de bambu através de gaseificação foi pioneira recentemente (KERLERO et al., 2012). Além disso, a aceitação do bambu em mecanismos voluntários de financiamento de carbono ampliaram sua atratividade como espécie de plantação.

Há tempos, cientistas brasileiros indicavam o bambu como a segunda maior fonte potencial de biomassa energética no país, após a cana-de-açúcar (FILHO e BADR, 2004).

As plantações de bambu, no Brasil, eram exclusivamente para a produção de fibras, atualmente outros destinos tem sido dado a esta planta (EDRISI, SHEIKH ADIL et al., 2022) e atendimento das necessidades de pequenos produtores rurais. A crescente demanda por matéria-prima renovável tem despertado o interesse no cultivo de bambu (GUARNETTI e COELHO, 2014), como a produção de pellets (LIU et al., 2016), líquido combustível (DWIVEDI et al., 2009) e uma variedade de novos produtos de base biológica (LEE e WANG, 2006).

Nos países asiáticos é utilizado para diversos fins, empregando em sua cadeia

produtiva mais de um bilhão de pessoas principalmente de zonas rurais mais pobres da Ásia e também de países da América do Sul (DINIZ, 2014).

Há pouca informação quantitativa sobre a área efetivamente coberta com bambus no Brasil. Alguns estudos apontam para cerca de nove milhões de hectares no sudoeste da Amazônia, dominados por bambus nativos (FAO, 2010), sendo considerada uma das maiores florestas nativas de bambu do planeta.

O bambu é comercialmente importante porque pode ser utilizado como material de construção e seus brotos são fonte de alimento. Na China, o bambu é muito utilizado para a construção civil, movimentando cerca de US\$ 30 bilhões por ano, o que representa metade do mercado mundial (CGEE, 2018).

O ano de 2011 pode ser citado como um marco na linha do tempo do bambu no Brasil, diante a criação da Lei Federal n.º 12.484/2011, que dispõe sobre a Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu (PNMCB), incentivando produtores rurais a destinar terras para o seu cultivo. Porém, o interesse pela produção sustentável de bambu continua crescente no Brasil, considerando que o Senado Federal aprovou, em 24 de agosto de 2016, um acordo que garante a participação do Brasil na rede internacional do Bambu e Rattan (INBAR). Criada pela ONU, essa iniciativa reúne 41 países para implementar uma agenda global de desenvolvimento sustentável por meio do bambu (QUEIROZ, 2020).

Devido a estes incentivos criados tanto pelo governo brasileiro, quanto pela ONU, ultimamente outras utilizações vem sendo dadas ao cultivo de bambu. Como sua utilização em fitorremediação, pois espécies de bambu em comparação com outras plantas lenhosas apresentam alta taxa de crescimento, melhor absorção de íons do solo e fácil cultivo (WERE et al., 2017; BIAN et al., 2017; ZHONG et al., 2018; FUKU et al., 2021;). Pesquisas recentes relatam que a cultura do bambu, pode aumentar a diversidade bacteriana no solo (FUKU et al., 2021), a exemplo da maior diversidade microbiana observada em solos com floresta de bambu moso em comparação com a floresta mista de folhas largas (WANG et al., 2013). A utilização de plantas de bambu em áreas tropicais e subtropicais, em sistema agrossilvicultural pode manter os valores farmacêuticos de segurança alimentar e nutricional, assim como proporcionar desenvolvimento econômico (TEWARI et al., 2015; KITTUR et al., 2016; SAWARKAR et al., 2020).

A cultura do bambu é considerada uma das estratégias potenciais para restaurar terras contaminadas e aumentar o sequestro de carbono, devido à sua

rápida taxa de crescimento e baixo custo de manutenção (YUEN et al., 2017; KUMAR et al., 2021). A folhagem densa do bambu fornece grande quantidade de serapilheira, que atua como fonte de matéria orgânica que melhora o microclima e a umidade do solo, facilitando o processo de fitorremediação e restauração de solos degradados (KUMAR et al., 2021). Essa capacidade do bambu em recuperar solos degradados se relaciona a capacidade que a espécie tem em isolar nos vacúolos elementos contaminantes do solo (CHEN et al., 2015).

2.2 O *Dendrocalamus asper*

O *Dendrocalamus asper* (Schult. e Schult. f.) Backer ex K. Heyne 1927, conhecido popularmente como “bambu gigante”, “bambu doce” ou “bambu balde”, pertence a tribo Bambuseae, apresenta rizomas paquimorfos, formando touceiras. Seus colmos variam de 15 a 20 metros de altura, com comprimentos dos entrenós de 30 a 50 cm e diâmetro entre 6 e 12 centímetros (SHIRASUNA, 2012). Compreende cerca de 35 espécies com diversos usos e alto valor econômico (BANERJEE et al., 2011). As origens de *D. asper* remetem a ambientes tropicais, com distribuição pela Índia e Sudeste Asiático, incluindo Tailândia, Vietnã, Malásia, Indonésia e Filipinas (BENTON et al., 2015). Recentemente, *D. asper* foi introduzido em outros países tropicais, incluindo Gana, Benin, República Democrática do Congo, Quênia e Madagascar. Na Ásia tropical, *D. asper* cresce idealmente em regiões úmidas com solos ricos e pesados, de planícies a 1.500 m de altitude, com precipitação média anual de cerca de 2.400 mm. Também pode sobreviver bem em ambientes semiáridos com manejo adequado, como utilização de irrigação (MUSTAFA et al., 2021). Os caules maduros são usados na criação de móveis, instrumentos musicais, utensílios domésticos, artesanato e papel, enquanto os entrenós superiores são usados na fabricação de recipientes e painéis. Os brotos podem ser consumidos, sendo considerados os melhores entre os bambus tropicais asiáticos (SOWMYA et al., 2015). O rizoma, caules e estacas de galhos podem ser usados para sua propagação.

Dendrocalamus asper é uma das espécies de bambu mais cultivadas no mundo, com grande potencial no Brasil pela semelhança climática do país com seu centro de diversidade (MANHÃES, 2008; MARINHO, 2012; RIGO, 2020). Já *Bambusa vulgaris*, em plantios comerciais, apresentam considerável destaque pelo

elevado valor econômico, adaptabilidade e rápido crescimento (PEREIRA e BERALDO, 2008; MENDES et al., 2010; NETO et al., 2010; MOGNON et al., 2015; BRONDANI et al., 2017).

No Brasil, a maior parte das espécies de bambu, incluindo as do gênero *Dendrocalamus*, tem seu cultivo pouco difundido e suas cadeias produtivas ainda se apresentam deficitárias, assim como pesquisas científicas, bioprospecção e desenvolvimento tecnológico são limitados (BERALDO e AZZINI, 2004; DANTAS et al., 2005; RIGO, 2020;). Apesar da crescente demanda, os produtores ainda não possuem conhecimento adequado sobre o manejo e adubação desta cultura, sendo esse conhecimento essencial para manter ou mesmo aumentar o *status* de produtividade em solos nutricionalmente pobres (SHANMUGHAVEL e FRANCIS, 1997; DUNAISKI et al., 2019).

A madeira de florestas naturais nativas vem diminuindo nos últimos anos, sendo a o *D. Asper* potencial para uso como material de construção para habitação rural (THAPA et al., 2018). O uso do bambu tem sido explorado recentemente também para construção em variedades de aplicações de engenharia, habitação, pontes e pisos. Além disso, a maioria dos estudos sobre suas propriedades mecânicas mostrou que o bambu é um dos materiais renováveis e sustentáveis rendimento de biomassa por hectare comparável à madeira de florestas tropicais (VOGTLÄNDER et al., 2010). Devido à sua sustentabilidade, flexibilidade e resistência mecânica, é comparável à madeira de teca e ao aço (OGUNBIYI et al., 2015). Sendo estudado para produção de madeiras compostas e indicado como uma alternativa de alta qualidade, inclusive como em comparação com as espécies de madeira usadas na construção (MALANIT et al., 2009). Os valores de pH de *D. asper* para as seções inferior, média e superior do colmo não apresentam variações, esses valores das propriedades químicas das fibras são importantes para a fabricação de compósitos, pois, para espécies com níveis de pH mais elevados, é necessário um catalisador adicional durante a prensagem a quente. Em teste sobre as diferenças de resistência à compressão e resistência à tração o *D. asper* indica que possui excelentes propriedades mecânicas na resistência à compressão e à tração, boa qualidade para o material de construção (AMATOSA et al., 2016).

Além da construção o *D. asper*, constitui opção quanto a sustentabilidade e diversificação para geração de energia, pois possui valor calorífico satisfatório (CHIN et al., 2012), quando comparado a outras plantas. Sua biomassa pode ser utilizada

tanto na forma *in natura* quanto ser processada na forma de carvão vegetal, briquete, pellet, syngas e biocombustível. O bambu também produz mais biomassa do que outras culturas energéticas, como choupo, capim-comum, miscanthus, junco comum e bagaço de cana (ZHANG, 2008). O *D. asper* apresenta características e capacidade de ser utilizado como fonte de energia peletizada (SETTE JR et al., 2016). Também é adequado para fabricar briquetes a 80 °C sem perder sua eficiência e qualidade, além de diminuir os custos de energia (SINGH et al., 2004). Apresenta características energéticas que sugerem sua capacidade de uso como fonte de energia na forma de carvão vegetal. A espécie *D. asper* também é ideal para geração de eletricidade devido às suas propriedades únicas e taxa de crescimento apropriada (SANTOS et al., 2016).

Apresenta brotos ricos em proteínas, fibras alimentares, minerais e vitamina. Assim como, metabólitos secundários, como flavonas, ácidos fenólicos e esteróides, que possuem propriedades antioxidantes nas folhas (CHOUDHURY et al., 2012). Os fitoquímicos são conhecidos por possuir muitas propriedades biológicas, como atividades anticancerígenas, antibacterianas, anti-inflamatórias e antifúngicas (KONG et al., 2020). Embora a maioria das espécies de bambu produza brotos comestíveis, apenas cerca de 100 espécies foram relatadas como sendo utilizadas, entre elas, o *Dendrocalamus asper* (SOWMYA et al., 2015), que em sua composição, apresenta, elementos importantes como ferro, zinco, manganês, cobre e selênio nos brotos juvenis frescos (NIRMALA et al., 2008).

2.3 Aspectos nutricionais da cultura do bambu

O bambu se desenvolve em diversos tipos de solos e clima (RAO, 2004; FAO, 2007), sendo suas raízes resistentes e com maior densidade nos 30 centímetros superficiais do solo (RAO, 2004).

Qualquer planta para que possa sustentar positivamente a produção necessita de nutrientes, e estes em quantidade suficiente. Uma boa eficiência na alocação de nutrientes na planta vai depender da disponibilidade ou dose fornecida (LIMA, 2016), entre outros fatores.

Dentre as vantagens que a cultura do bambu apresenta em relação a outras culturas florestais, destaca-se a reduzida idade de corte. Apesar de vantajosa, a

reduzida idade de corte merece atenção especial a necessidade de reposição de nutrientes devido à exportação através da colheita dos colmos.

Lima Neto et al. (2010) avaliaram a exportação de macronutrientes em cultivos comerciais de bambu (*Bambusa vulgaris*) no estado da Paraíba. Os resultados mostram que os teores dos macronutrientes acumulados nos cavacos, bem como a quantidade exportada, seguiram a mesma ordem em todos os sítios estudados: K, N, Ca, Mg, P, e S. Os autores sugerem que nos programas de adubação da espécie *Bambusa vulgaris* deve ser priorizado o fornecimento de nitrogênio, potássio e cálcio.

Trabalhos de Shanmughavel e Francis (1997) e Maoyi et al. (2008), demonstram a importância da aplicação de Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K), no manejo nutricional de plantios de bambu. A aplicação de N, P e K aumentou a produção de colmo em *Bambusa bambos* (L.) Voss (SHANMUGHAVEL e FRANCIS, 1997). Outros trabalhos destacam também a importância do magnésio com relação aos teores encontrados em folhas, galhos e colmos de *Bambusa bambos* (KAUSHAL et al., 2020; GUO et al., 2021).

Os estudos de Shanmughavel e Francis (2001) avaliando a aplicação dos macronutrientes no quarto ano de cultivo de *Dendrocalamus strictus* e *Bambusa arundinaceae*, com produção da parte aérea de 122 t ha⁻¹, mostraram que houve acúmulo de 919, 88, 978, 420 e 517 kg ha⁻¹ respectivamente de N, P, K, Ca e Mg, e que a demanda de nutrientes pela planta depende da sua taxa de crescimento e eficiência com que ela converte os nutrientes absorvidos em biomassa.

As informações disponíveis indicam uma demanda importante por cálcio e magnésio na cultura de *Dendrocalamus hamiltonii* (TOKY e RAMAKRISHNAN, 1982), *Bambusa balcooa*, *Dendrocalamus strictus* e *Thyrostachys oliveri* (TEWARI et al., 1994), e que maiores quantidades de Mg em relação ao Ca, foram encontradas tanto na parte aérea quanto na subterrânea. A necessidade de nutrientes nessas espécies de bambu, em geral, são em ordem decrescente N, Mg, Ca e P (DUNAISKI, et al., 2019).

Os solos brasileiros são, de modo geral, pobres em magnésio. Isso se deve tanto ao material de origem, com baixas concentrações do nutriente quanto a intensos processos pedogenéticos ao longo da formação dos solos nos quais os produtos de intemperização como o Mg são lixiviados (BATISTA et al., 2018).

O magnésio desempenha função de extrema importância na fisiologia das plantas. Tem como função principal ser o átomo central da molécula de clorofila que

confere a cor verde às plantas. De maneira geral, cerca de 20% do Mg da planta faz parte do pigmento. Além disso, o elemento é constituinte de algumas proteínas, cofator de algumas enzimas e, como o Ca, também é constituinte de pectinas das paredes celulares (BATISTA et al., 2018), impactando positivamente em processos relacionados ao crescimento e produtividade das lavouras. Além de seu papel estrutural, como componente da parede celular e lamela média, em plantas da família Gramineae como o bambu, esse elemento, atua como mensageiro secundário. Um exemplo, é o papel do Ca^{2+} na proteína quinase dependente de Ca^{2+} na regulação da tolerância à seca (BATISTA et al., 2018). Também é sinalizador de estresse no processo de fixação de carbono, melhorando a atividade da fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPC). Afetando a transcrição a nível de fosforilação, respondendo rapidamente ao ambiente externo (JING et al., 2021).

2.4 O elemento Silício

O silício é o segundo elemento mais abundante no planeta, é benéfico para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Pode aumentar a resistência de plantas de várias espécies, pois aumenta a tolerância a estresses abióticos e bióticos (LIANG et al., 2007). O Si contribui para melhorar os mecanismos de manutenção do controle de espécies reativas de oxigênio, regulando o mecanismo redox (FOYER e NOCTOR, 2011). Plantas superiores podem acumular Si como um elemento não essencial, mas benéfico, que difere muito entre as espécies de plantas devido às diferenças de absorção pelas raízes (MA e YAMAJI, 2006). Mecanismos ativos, passivos e exclusivos atuam na absorção de Si em espécies vegetais, portanto, são classificadas como de alta, intermediárias e não acumuladoras, respectivamente (CORNELIS et al., 2010). O silício (Si) está demandando atenção mundial dos cientistas devido ao seu impacto na melhoria do crescimento e desenvolvimento das plantas (GOUR et al., 2020). Em nível de planta individual, a deposição de Si nos tecidos varia muito devido a diferentes mecanismos de absorção pelas plantas (SCHOELYNCK et al., 2014; MA e YAMAJI, 2015). As gramíneas são considerados acumuladores de Si (MA e YAMAJI, 2015; YANG et al., 2015), e no caso do bambu, é o principal componente inorgânico nas fibras de *Dendrocalamus giganteus* (MARINHO, 2012).

Outros estudos como de Higuchi (1990) e Liese (1998), também encontraram

o Si como o principal elemento no teor de cinzas do bambu, sendo este superior ao das madeiras. Os estudos de Villar-Cociña et al. (2011) e Moraes (2019), relataram teores de sílica (SiO_2) variando de 74,5% a 84% nas cinzas de folhas de bambu.

O silício pode conferir maior rigidez às células vegetais, maior resistência ao acamamento, melhor tolerância a estresses hídricos, salinidade e toxidez de elementos traço, maior resistência a fungos e insetos-praga, além de aumentar a produção de diversas culturas (SANTOS et al., 2021).

Em solos com elevados teores de argila, a disponibilidade de Si diminui com a calagem, pois a concentração de silício solúvel no solo e extraível são influenciadas pelo aumento do pH (CAMARGO et al., 2007).

O bambu é considerado planta acumuladora de Si, com concentrações de Si variando de 3 a 410 mg g^{-1} SiO_2 na matéria seca, conferindo efeito positivo em seu crescimento (UMEMURA e TAKENAKA, 2014), podendo aumentar a reprodução vegetativa e o rápido crescimento. Possivelmente, o bambu utiliza o Si para fortalecer as paredes celulares (LUX et al., 2003). Além disso, contribui para regular o CO_2 atmosférico pela ocupação de carbono dentro dos fitólitos (PhytOC), o que permite à espécie acumular mais CO_2 que outras espécies (SONG et al., 2013). Caracterizando-se como imobilizador de C atmosférico, contribuindo para o aumento do sequestro de C nas atividades ligadas a agricultura. Este papel se relaciona com uma possível melhoria da fotossíntese das plantas com influência do Si. Por exemplo, o Si pode mitigar alguns estresses nas plantas, melhorando os processos fisiológicos devido ao acúmulo de nutrientes e investimento em força e rigidez (EPSTEIN, 2009; MAGHSOUDI et al., 2016).

A capacidade fotossintética geralmente está intimamente ligada ao teor de N e P nas folhas, porque ambos afetam amplamente a capacidade de assimilação de CO_2 através da alteração da concentração de enzima e ATP (LI et al., 2018; ZHANG, 2018). O silício foi associado com a aumento da taxa fotossintética líquida e o teor de clorofila (LI et al., 2018, VERMA et al., 2019). Alguns estudos relatam que a disponibilidade de Si modifica a eficiência do uso de nutrientes (NEU et al., 2017; TEIXEIRA et al., 2020), enquanto a deficiência de Si no solo pode diminuir o crescimento das plantas e reduzir a fotossíntese. Conseqüentemente, doses crescentes de Si podem melhorar aspectos fisiológicos, como taxa fotossintética líquida, acúmulo de nutrientes, levando ao aumento do crescimento.

Alguns estudos indicam benefícios experimentais para gramíneas ou plantas

cultivadas com Si exógeno, como aumentar a produção de biomassa e modificar a estequiometria de nutrientes (SCHALLER et al., 2012; MEENA et al., 2014).

2.5 O micronutriente Zinco

A disponibilidade de Zn para as plantas pode ser afetada por várias características do solo, tais como o pH, teor de matéria orgânica, textura, conteúdo de óxidos, mineralogia da fração argila, como também a literatura tem documentado sintomas de carência de Zn induzidos pela adição de P em doses elevadas (JUNIOR et al., 2007). De acordo com Graham e Welch (1996), aproximadamente 50% dos solos usados para a produção de cereais no mundo são deficientes em zinco. No Brasil, a deficiência de zinco é relatada em várias culturas anuais (BARBOSA FILHO et al., 1994; BATAGLIA e RAIJ, 1994; GALRÃO, 1994; HERNANDES et al., 2009), sendo o micronutriente mais limitante à produtividade das culturas no país.

Sua forma mais comum na solução do solo é a do cátion Zn^{2+} , que se movimenta no solo por difusão, caminhando a favor do gradiente de concentração, isto é, de uma região de maior concentração para outra de menor concentração (MALAVOLTA, 2006).

Embora a participação dos micronutrientes seja menor, a falta de qualquer um deles pode resultar perdas significativas de produção devido a influência desses elementos em funções fisiológicas importantes como fotossíntese e estruturação de enzimas e proteínas (ILYAS et al., 2015).

No metabolismo vegetal, a presença deste micronutriente é fundamental, pois o Zn está envolvido em muitos processos biológicos, como defesa antioxidante, síntese proteica, metabolismo de carboidratos, metabolismo de auxinas e estabilidade do material genético (CLEMENS, 2001).

A deficiência de zinco é reconhecida como problema nutricional mundial para a produção das culturas (FAGERIA, 2000), especialmente, as gramíneas que são exigentes neste nutriente (PRADO et al., 2007).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Implantação do experimento

O experimento foi conduzido no Viveiro de Pesquisas do Departamento de Engenharia Florestal (DEF) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, no período de outubro de 2021 a junho de 2022.

As mudas clonadas de *Dendrocalamus asper* foram produzidas via estaquia de galhos colhidos em colmos de uma touceira localizada no Setor de Dendrologia do DEF.

Como substrato foi utilizado solo coletado cerca de 40 cm abaixo da camada superior de um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa, em área DEF-UFV, que foi submetido a secagem ao ar e peneiramento em malha de 5 mm.

Foi efetuada correção de acidez do solo, utilizando-se de mistura de carbonato de cálcio (CaCO_3) e hidróxido de magnésio $\text{Mg}(\text{OH})_2 + 7 \text{H}_2\text{O}$, considerando diferentes relações de Ca e Mg, 1:3; 1:2; 1:1; 2:1 e 3:1 (Ca:Mg). A necessidade de calagem (NC, em toneladas por hectare) foi calculada com base nos resultados da análise de caracterização química do solo (Tabela 1), elevando-se a saturação por bases até o nível de 50%, conforme recomendação de TOMBOLATO et al. (2012), sendo: $\text{NC (t/ha)} = (\text{V}_2 - \text{V}_1) \text{CTC (T)} / 100$, em que V_2 é a porcentagem de saturação por bases desejada, V_1 é a porcentagem de saturação por bases do solo, conforme análise, e CTC (T) é a capacidade de troca catiônica em $\text{pH} = 7,0$.

Tabela 1. Características químicas e físicas da amostra do solo utilizada para o cultivo do bambu (*Dendrocalamus asper*).

pH	P	K	Al^{3+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	H+Al	SB	CTC(t)	CTC(T)	V	m	MO
H_2O	mg dm^{-3}		$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$							%		dag kg^{-1}
4,79	0,7	6	0,92	0,11	0,01	3,93	0,14	1,06	4,04	3,5	86,8	1,66

pH em água – Relação 1: 2,5; P e K – Extrator Mehlich 1; Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} - Extrator: $\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$; H+ Al – Extrator $\text{CaOAc } 0,5 \text{ mol L}^{-1}$. pH 7,0; SB = Soma de bases; CTC(t) = Capacidade de troca catiônica efetiva; CTC (T) = Capacidade de troca catiônica, pH 7,0; V = Saturação por bases; m = Saturação por alumínio; Matéria orgânica (MO) = $\text{C.org} \times 1,724$ – Método Walkley – Black.

Areia grossa = 19 dag kg^{-1} ; Areia fina = 13 dag kg^{-1} ; Silte = 11 dag kg^{-1} ; Argila = 57 dag kg^{-1}

Desta forma, os tratamentos consistiram de cinco relações Cálcio:Magnésio (3:1; 2:1; 1:1; 1:2; 1:3), e cinco doses de Si equivalentes a 0; 2; 4; 6 e 8 t ha^{-1} de

Agrosilício Plus®, e um tratamento adicional com 0,3125 g vaso⁻¹ de Zinco. Caracterizou-se, assim, um fatorial 5 x 5 + 1, disposto em delineamento experimental em blocos casualizados, com cinco repetições, totalizando 130 vasos com mudas de *Dendrocalamus asper*. A utilização do arranjo em blocos foi definida devido as características do local do experimento, onde havia possibilidade de sombreamento diferencial durante o dia pelas árvores nativas ao redor.

Após a adição dos corretivos, a terra de subsolo foi acondicionada em vasos de 25 litros que permaneceram em período de incubação por 37 dias, com manutenção do teor de umidade próximo à capacidade de campo (Figura 1). As doses de silício foram aplicadas após 30 dias de cultivo via solo, utilizando-se como fonte Bugram Protect®, altamente solúvel.

Figura 1. Experimento com *Dendrocalamus asper*. **A.** Implantação do experimento, **B.** Plantas de Bambu estabelecidas e **C.** Visão geral do experimento instalado.



Após período de incubação, as mudas foram plantadas e receberam por meio de covetas laterais, adubação de base com macronutrientes. A adubação de manutenção seguiu as recomendações de TOMBOLATO et al. (2012), sendo

aplicados 150 g vaso^{-1} da fórmula 02:30:10. As plantas ainda receberam duas adubações de cobertura aos 30 e 60 dias pós plantio com 100 g vaso^{-1} de Sulfato de Amônio (SA) e 100 g vaso^{-1} de Cloreto de Potássio (KCl), em cada adubação.

Para o tratamento adicional com Zinco utilizou-se dose de referência equivalente à aplicação de 5 kg ha^{-1} , usando como fonte o Sulfato de Zinco, sendo aplicada aos 30 dias de cultivo. Durante o período de condução do experimento, a umidade do substrato foi mantida próxima a capacidade de campo, sendo a irrigação realizada de acordo com monitoramento diário. O experimento foi conduzido a pleno sol com todos vasos expostos aos efeitos de fatores ambientais como precipitação, temperatura e luminosidade.

3.2 Coleta de dados

Após o término da condução do experimento (207 dias após o plantio), foi realizada a coleta de informações sobre a produção de colmos e biomassa da parte aérea e subterrânea das plantas (Figura 2).

Figura 2. Coleta de componentes da parte aérea e subterrânea de *Dendrocalamus asper* após 207 dias de instalação do experimento. **A.** Folhas. **B.** Galhos. **C.** Parte subterrânea. Barras = 10cm.



O número de brotos (NB), altura (H), diâmetro da base dos colmos (DC), massa de matéria seca de folhas (MSF), de galhos (MSG), de colmos (MSC), a soma de todos componentes da parte aérea corresponde a massa de matéria seca da parte aérea (MSPA = MSF + MSG + MSC). A massa de matéria seca de rizomas (MSRZ), de raízes (MSR), corresponde a massa de matéria seca da parte subterrânea (MSPS = MSRZ + MSR). A massa de matéria seca total (MST) é resultante da soma de MSPA e MSPS.

A altura dos colmos (H) foi obtida através de fita métrica milimetrada, medindo-se do nível do solo no vaso até o ápice da planta, especificamente, na última inserção foliar. O diâmetro de coleto (DC) foi mensurado na base do primeiro colmo, utilizando-se de um paquímetro digital. O material vegetal foi coletado e submetido a secagem em estufa com circulação forçada de ar, a 65°C, por 72 horas ou condição de massa constante, para obtenção da massa de matéria seca de parte aérea e parte subterrânea (MSPA e MSPS).

3.3 Análises estatísticas

O modelo estatístico adotado foi.

$$y_{klj} = m + b_j + A_k + B_l + (AB)_{kl} + e_{klj}$$

y_{klj} : valor observado das variáveis estudadas (número de brotos, MS de folhas, MS de galhos, MS de colmo, MS da parte subterrânea, MS da parte aérea, MS de raiz total e MS total), no nível k do fator A (k = 3:1; 2:1; 1:1; 1:2; 1:3), no nível l do fator B (l = 0; 2; 4; 6 e 8), na repetição no bloco j (j = 1, 2, 3, 4 e 5).

m : média geral considerando todas as observações do experimento;

b_j : efeito do bloco j;

A_k : efeito do fator relação Ca/Mg (k = 3:1; 2:1; 1:1; 1:2; 1:3);

B_l : efeito do fator doses de silício (l = 0; 2; 4; 6 e 8);

$(AB)_{kl}$: efeito da interação da relação Ca/Mg (fator A) com as doses de silício (fator B);

e_{klj} : erro associado à observação y_{klj} .

Para comparação das médias do tratamento adicional, em caso de significância, foi utilizado o teste Dunnett ($\alpha = 5\%$), considerando o tratamento adicional como testemunha. As hipóteses testadas foram $H_0: C = 0$; $H_1: C \neq 0$, sendo $C = \text{média do tratamento} - \text{média do tratamento adicional}$. Para as variáveis em que não foram constatadas diferenças significativas entre as médias dos 25 tratamentos em relação a testemunha, aplicou-se o teste Dunnett somente para as médias dentro de cada fator principal.

Foi realizada análise de variância (ANOVA) para cada uma das nove variáveis estudadas, considerando nível de significância de 5%. As hipóteses testadas foram:

$$H_{0(1)} = FA_1 = FA_2 = FA_3 = FA_4 = FA_5 ; H_{a(1)}: \text{não } H_{0(1)};$$

$$H_{0(2)} = FB_1 = FB_2 = FB_3 = FB_4 = FB_5; H_{a(2)}: \text{não } H_{0(2)};$$

$$H_{0(3)} = FA_1FB_1 = FA_1FB_2 = FA_1FB_3 = \dots = FA_5FB_5; H_{a(3)} = \text{não } H_{0(3)}.$$

em que: FA = níveis do fator A (Relação Ca:Mg) e FB = níveis do fator B (Doses de silício).

Onde foi observada diferença significativa, prosseguiu-se com o teste Tukey de comparação de médias ($\alpha = 5\%$), para os tratamentos qualitativos (Relação Ca/Mg) e para as interações. Para o fator quantitativo das doses de silício, os desdobramentos dos efeitos foram investigados ajustando os modelos de regressão lineares simples (1) e polinômio de segundo grau (2).

$$Y_{klj} = \beta_0 + \beta_1 Si + e_{klj} \quad (1)$$

$$Y_{klj} = \beta_0 + \beta_1 Si + \beta_2 Si^2 + e_{klj} \quad (2)$$

em que y_{klj} é o valor observado das variáveis estudadas (número de brotos, MS de folhas, MS de galhos, MS de colmo, MS de rizoma, MS de raiz, MS da parte aérea, MS de raiz total e MS total).

β_n : parâmetros da regressão a serem estimados.

Si: doses de silício.

e_{klj} : erro associado à observação y_{klj} .

A avaliação dos modelos de regressão ajustados foi realizada pela análise do coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) e da significância dos parâmetros

estimados, considerando significância de 5%. As doses ótimas de silício foram calculadas a partir da relação $-\beta_1/2\beta_2$. Todas as análises estatísticas foram realizadas com os softwares Microsoft Excel e R versão 4.2 (disponível em <https://www.r-project.org/>). Detalhes das análises e procedimentos se encontram nos anexos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Produção de massa seca da parte subterrânea

Plantas submetidas à relações Ca:Mg, assim como à doses de Si, não diferiram significativamente daquelas que receberam o tratamento adicional com Zn, em relação a MSRZ, MSR e MSPS, pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$). Este comportamento pode ser devido a dose aplicada de Zn não ter afetado o crescimento das plantas de forma significativa. Além disso, já foi descrito que o bambu apresenta o comportamento de acumular nutrientes traços, por isso é indicado como planta restauradora (PRIYA et al., 2020) (Tabela 2).

Observou-se efeito significativo das relações Ca:Mg ($p < 0,05$) para MSRZ, MSR, MSPS (Figuras 3A; 3C e 3E, respectivamente e Tabela 2). Assim como para as doses de Si para essas mesmas variáveis (Figuras 3B, 3D e 3F, respectivamente) ($p < 0,05$).

Tabela 2. Resumo da análise de variância com os quadrados médios para as variáveis da parte subterrânea de *Dendrocalamus asper* após 207 dias de instalação do experimento. MSRZ (matéria seca de rizoma); MSR (matéria seca de raízes); MSPS (matéria seca da parte subterrânea); ns: não significativo. * significativo ($p \leq 0,05$).

FV	G.L.	QUADRADO MEDIO		
		MSRZ	MSR	MSPS
Intercept	1	339091,777 *	384803,028 *	1446344,924 *
Bloco	4	1064,127 *	6131,653 *	11487,100 *
Trat	25	650,406 *	589,644 *	2201,956 *
Ca/Mg	4	2083,297 *	1629,131 *	6888,079 *
Si	4	793,727 *	1272,131 *	3988,219 *
Ca/Mg*Si	16	273,465 ^{ns}	195,732 ^{ns}	692,615 ^{ns}
Fatorial x Testemunha	1	376,627 ^{ns}	4,345 ^{ns}	461,878 ^{ns}
Error	100	321,283	416,247	1202,169
CV(%)		39,6	46,0	39,3

Considerando-se a fase inicial de crescimento, espera-se que as plantas invistam maior alocação de carboidratos no crescimento subterrâneo nos primeiros meses (TAIZ e ZEIGER, 2017). Esse resultado sugere que a massa seca de rizomas varia com as relações Ca:Mg, assim como, varia com as doses de Si. Maior crescimento do sistema radicular na espécie *B. vulgaris* foi observado nas camadas

do solo com maior quantidade de nutriente (KAUSHAL et al., 2020), evidenciando o efeito positivo da aplicação de fertilizantes. No entanto, para bambu, diversos estudos indicam que a biomassa acumulada abaixo do solo é controlada principalmente pela respiração radicular, que é dependente da fotossíntese do dossel (HELMISAARI et al., 2002; MEI et al., 2010; KAUSHAL et al., 2020). A variação na biomassa subterrânea, portanto, pode ser atribuída não só a nutrição mineral, mas a variação nas características ambientais acima do solo em diferentes espécies de bambu (KAUSHAL et al., 2020).

Maior disponibilidade de magnésio, contribui para maior produção MSRZ, pois favorece a fotossíntese pelo aumento de moléculas de clorofila (SINGH et al., 2021). A maior média de MSRZ foi observada pela aplicação da relação 1:3 (Ca:Mg) com 64,90g de massa seca de rizomas/planta (Figura 3A). A aplicação de Si também afetou positivamente a produção de MSRZ (Figura 3D). A maior produção de massa seca de rizomas foi observada na maior dose de silício com 59,17g massa seca de rizomas/planta, enquanto a menor produção foi observada na ausência de aplicação de silício (Figura 3B).

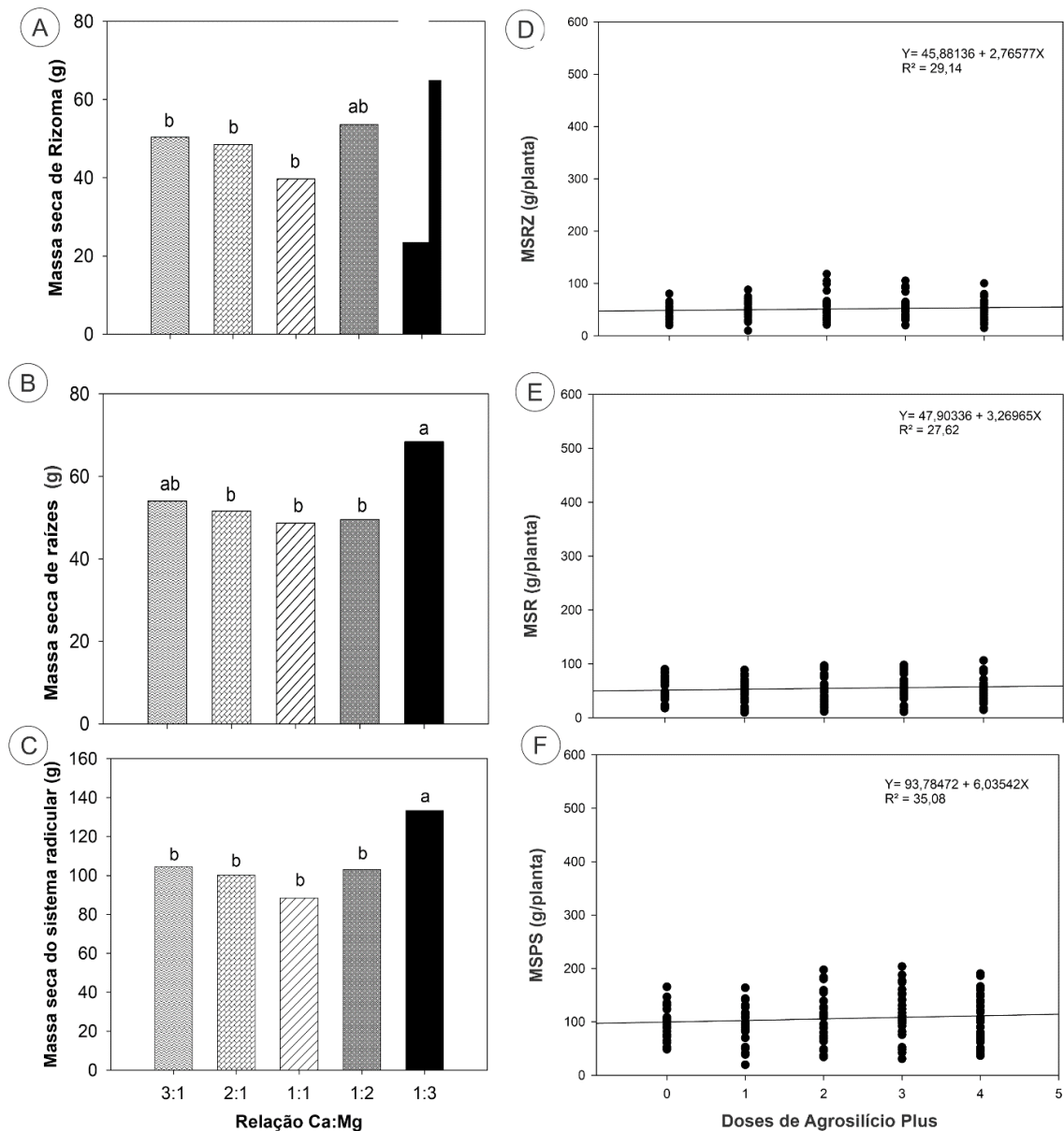
Como já mencionado, houve efeito significativo quanto a MSR para os fatores principais Ca:Mg e doses de Si (Figura 3B e 3E), demonstrando que a MSR varia com a aplicação dos nutrientes Ca, Mg e Si. A maior produção de MSR foi atingida pela aplicação de Ca: Mg (1:3) e na maior dose de silício com 61,14g planta⁻¹ (Figuras 3B e 3E). O crescimento de raízes contribui para maior área de solo explorada, aumentando a eficiência na absorção de nutrientes e água (COMAS et al., 2004). Sendo que o crescimento e a morfologia das raízes finas são fortemente influenciadas pelo microambiente, como a nutrição mineral (COMAS et al., 2004).

O crescimento inicial da parte subterrânea MSPS (soma dos componentes massa seca de rizomas e massa seca de raízes), demonstra efeito significativo das relações Ca:Mg e doses de Si, isoladamente ($p < 0,05$).

A maior média de MSPS foi obtida pela aplicação de Ca:Mg na relação 1:3, com 133,30 g planta⁻¹ de massa seca da parte subterrânea, havendo portanto, efeito positivo da maior disponibilidade de Mg na relação 1:3 (Ca:Mg). O Mg é um elemento associado ao aumento nos teores de clorofila em plantas, assim como no bambu (SINGH et al., 2021). Maiores concentrações de clorofila, resultam em maior potencial fotossintético (TAIZ e ZEIGER, 2017), de forma que há maior incremento em biomassa do sistema subterrâneo (Figura 3C).

De maneira semelhante, o Si afetou a produção de MSPS, sendo a maior produção obtida pela aplicação da maior dose de silício com 121,01g/planta, enquanto a menor produção foi observada na ausência de aplicação de silício (Figura 3F). Para a resposta das plantas de bambu às doses de Si, foi feita a análise de regressão e os modelos ajustados (Figuras 3 D a 3F e Tabela 3).

Figura 3. Massa seca de Rizoma (MSRZ), massa seca de Raízes (MSR) e massa seca da parte subterrânea (MSPS), de *Dendrocalamus asper* em função de relações Ca:Mg e doses de Si (0; 1 ; 2; 3 e 4, correspondentes a 0; 2; 4; 6 e 8 t ha⁻¹ ou 0; 8,68 ; 17,36; 26,05 e 37,73 g vaso⁻¹), aos 207 dias após plantio. Médias com mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Tukey (p > 0,05).



Com a obtenção dos coeficientes e do coeficiente de determinação dos modelos que melhor se ajustaram as variáveis de crescimento da planta, foi possível obter as curvas de resposta as doses de Si para as diferentes variáveis de crescimento (Figura 3). De forma geral, percebe-se aumento no crescimento inicial do bambu, na parte subterrânea, em resposta as doses crescentes de Si, confirmando o comportamento observado na literatura quanto aos efeitos positivos do Si no crescimento e vigor de plantas de bambu (QIAN et al., 2019). Observa-se, também, pela tendência dos modelos que a dose ideal de Si, está acima das doses testadas. Ou seja, maiores doses podem refletir em maior crescimento inicial do bambu.

4.2 Crescimento inicial e produção de massa seca da parte aérea

Observa-se que não houve efeito significativo da interação entre as relações de Ca:Mg e doses de Si ($p=0,2931$) para NB, MSF, MSG, MSC e MSPA (Tabela 3).

Tabela 3. Resumo da análise de variância com os quadrados médios para as variáveis da parte aérea de *Dendrocalamus asper*, após 207 dias de instalação do experimento. NB (número de brotos); MSF (massa seca de folhas); MSG (massa seca de galhos); MSC (massa seca de colmos); massa seca da parte aérea (MSPA) e MST (massa seca total).ns: não significativo. * significativo ($p<0,05$).

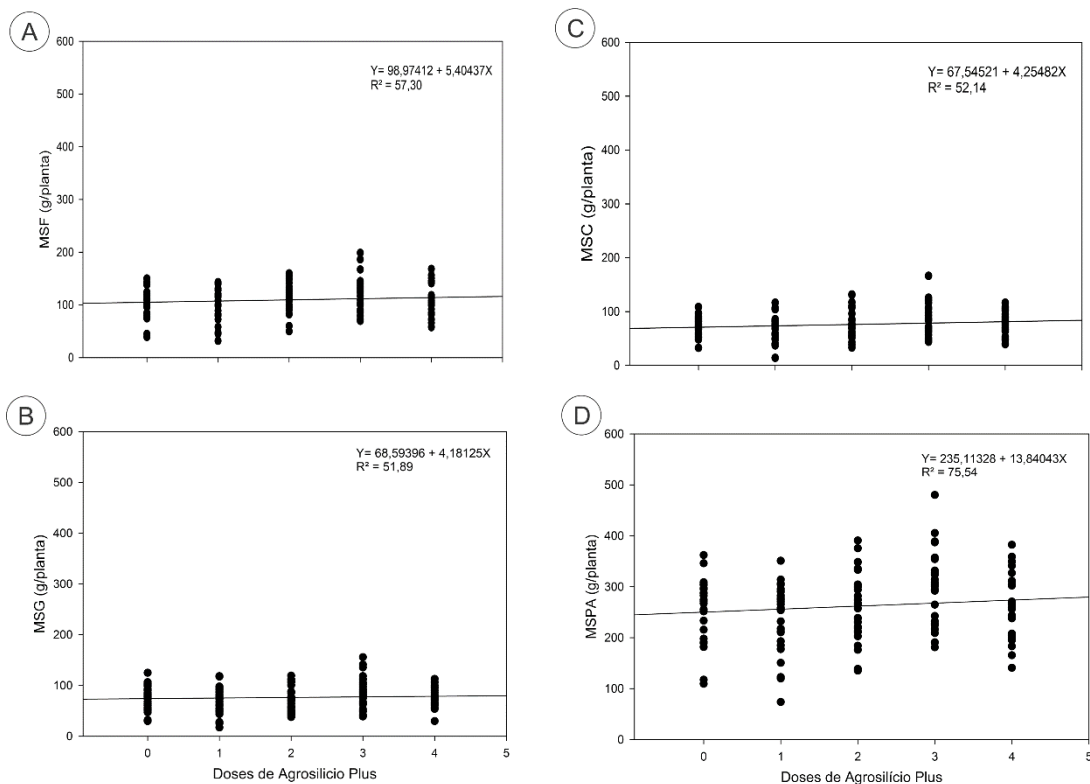
FV	G.L.	QUADRADO MEDIO				
		NB	MSF	MSG	MSC	MSPA
Intercept	1	2303,712 *	1559387,097 *	758274,850 *	751688,532 *	8919443,474 *
Bloco	4	7,352 *	2256,587 *	202,170 ^{ns}	578,243 ^{ns}	6660,012 ^{ns}
Trat	25	3,057 ^{ns}	1045,588 ^{ns}	565,526 ^{ns}	655,189 ^{ns}	4502,531 ^{ns}
Ca/Mg	4	2,469 ^{ns}	1339,362 ^{ns}	574,370 ^{ns}	323,246 ^{ns}	5234,371 ^{ns}
Si	4	2,186 ^{ns}	3020,778 *	1514,196 ^{ns}	1582,558 *	16560,445 *
Ca/Mg*Si	16	3,410 ^{ns}	529,980 ^{ns}	292,423 ^{ns}	547,244 ^{ns}	1437,342 ^{ns}
Fatorial x Testemunha	1	3,248 ^{ns}	219,471 ^{ns}	1105,130 ^{ns}	0,631 ^{ns}	2386,537 ^{ns}
Error	100	2,878	851,688	645,266	602,485	4765,367
CV(%)		41,5	27,9	32,5	32,5	26,4

A produção inicial de biomassa da parte aérea não foi afetada pelas relações Ca:Mg. Ainda que a ausência de efeito das relações Ca:Mg no crescimento da parte aérea também tenha sido relatada por AZMY et al. (2004), a utilização de fertilizantes tem potencial para favorecer as taxas de crescimento de plantas de bambu (ZHANG et al., 2021). Assim, pesquisas voltadas para a cultura devem ser incentivadas, no intuito de verificar o efeito de doses de nutrientes sobre o crescimento e

desenvolvimento de plantas de bambu.

Por outro lado a aplicação de Si, promoveu aumento de todas as variáveis analisadas, sendo maior produção de MSF obtida pela aplicação da maior dose de silício (121,80 g planta⁻¹ de MSF), enquanto a menor na ausência de aplicação de silício (Figura 4A). A maior produção de MSPA foi obtida pela aplicação da maior dose de silício com 286,03 g planta⁻¹, 30,6% superior à obtida quando na ausência de aplicação de silício (Figura 4D).

Figura 4. Matéria seca de *Dendrocalamus asper* em função das doses de Si (0; 1; 2; 3 e 4, correspondentes a 0; 2; 4; 6 e 8 t ha⁻¹ de Agrossilício ou 0; 8,68; 17,36; 26,05 e 37,73 g vaso⁻¹, aos 207) dias após plantio. **A.** Massa seca de folhas (MSF). **B.** Massa seca de galhos (MSG,). **C.** Massa seca de colmos (MSC). **D.** Massa seca da parte aérea (MSPA).



O Si, ainda que seja um elemento não essencial, contribui para o aumento da resistência das plantas ao estresse abiótico, estimulando sistemas antioxidantes (QIAN et al., 2019), e reduzindo a perda de água por transpiração (YEO et al., 1999; QIAN et al., 2019). Dessa forma, melhorando as características de hidratação da raiz, a taxa fotossintética e por consequência contribuindo para o crescimento (QIAN et al.,

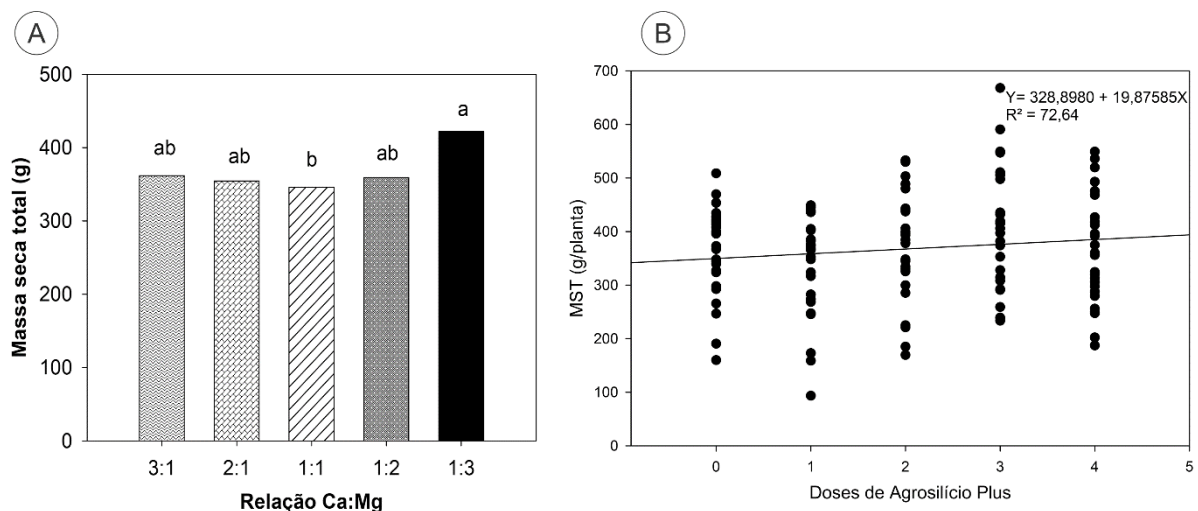
2019), e acúmulo de biomassa, reduzindo o estresse nas plantas, aumentando sua eficiência em crescimento (TAIZ e ZEIGER, 2017; QIAN et al., 2019).

4.3 Produção de massa seca total

A MST, constituída pela soma da MSPA e MSPS, não apresentou interação significativa entre as relações de Ca:Mg e doses de Si ($P < 0,05$). Efeito significativo foi observado para os fatores principais Ca:Mg e doses de Si (Figura 5).

A aplicação de Ca:Mg na relação 1:3, com 421,89g, promoveu maior produção de MST em relação a menor proporção 1:1 (Figura 5A). Mesmo comportamento promovido pela aplicação de Si, quando a maior dose promoveu a produção de 407,04 g planta⁻¹ de MST (Figura 5B).

Figura 5. A. Massa seca total (MST), de *Dendrocalamus asper* em função de relações Ca:Mg aos 207 dias após plantio. **B.** Materia seca total em função das doses de Si (0; 1 ; 2; 3 e 4, correspondentes a 0; 2; 4; 6 e 8 tha⁻¹ de Agrossilício ou 0; 8,68; 17,36; 26,05 e 37,73 g vaso⁻¹) aos 207 dias após plantio. Médias com mesmas letras não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p > 0,05$).



Pela análise de regressão é possível observar que os modelos ajustados indicam que a dose ótima, onde haverá maior crescimento, é atingida em doses de Si superiores as testadas no presente estudo. Estudos de campo e em idades mais avançadas, devem ser realizados para permitir o avanço do entendimento das

relações Ca:Mg e das doses de Si.

Os maiores ganhos foram observados para a maior dose aplicada, com 32,80% a mais de MST quando comparados com ausência de aplicação de Si (Tabela 4).

Tabela 4. Incremento de matéria seca total (%), na produção de massa seca total induzido pela aplicação de silício (maior dose de silício aplicada versus ausência de aplicação).

Doses de Si	Ganho Médio MST (%)
0.0	0.0
1.0	25.05
2.0	17.67
3.0	24.29
4.0	32.80

A aplicação de Si melhora significativamente o potencial de crescimento do bambu. Indicando que o crescimento do órgão subterrâneo aumenta com a aplicação de Si (QIAN et al., 2019). Além disso, o Si afeta positivamente a biomassa total de bambu, em decorrência do aumento da fotossíntese (QIAN et al., 2019). No presente estudo na maior dose aplicada (equivalente a 8 t.ha⁻¹), observou-se uma produção de massa seca total 32,80% superior, quando comparado com o tratamento sem silício. Este aumento já foi atribuído a maior quantidade e funcionalidade dos cloroplastos (DETMANN et al., 2012); aumento na espessura das folhas e área superficial dos cloroplastos (TAMAI et al., 2008); aumento da eficiência do uso da água e da condutância do mesófilo (FLEXAS et al., 2012). Além de melhor ajuste do sistema antioxidativo, regulando de forma positiva o controle do excesso de espécies reativas de oxigênio (MORADTALAB et al., 2018). Dessa forma, este conjunto de melhorias no metabolismo da planta, afeta de forma significativa diversas variáveis de crescimento do bambu em resposta ao Si, como encontrado no presente estudo.

5. CONCLUSÕES

Há efeito positivo da relação 1:3 (Ca:Mg), para formação do sistema subterrâneo (raízes e rizomas).

Há resposta positiva da aplicação de silício sobre o crescimento de plantas de bambu, tanto para massa seca da parte aérea quanto para massa seca da parte subterrânea.

A aplicação de Zn, na dose estudada, não implica em ganhos de crescimento de biomassa para o cultivo de Bambu (*Dendrocalamus asper*).

REFERÊNCIAS

- AMATOSA, T. A.; LORETERO, M. E. Analytical Behaviour in Mechanical Properties of *Dendrocalamus asper*: Bamboo as Construction Building Materials in the Philippines. **Global Journal of Engineering and Technology**, v.1, p.114–121, 2016.
- AZMY, H. M.; WAHAB, R.; SAMSI, H.W.; SULAIMAN, O. Application of organic fertilizers on natural stand bamboos for sustainable management in Peninsular Malaysia. **Journal Bamboo Rattan**, v. 3, p. 301-309, 2004.
- BANERJEE, M.; GANTAIT, S.; PRAMANIK, B.R. A two-step method for accelerated mass propagation of *Dendrocalamus asper* and their evaluation in field. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v.17, p.387–393, 2011.
- BATAGLIA, O. C.; RAIJ, B. Soluções extratoras na avaliação da fitodisponibilidade de zinco em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p.457-461, 1994.
- BATISTA, M. A.; BRANDÃO-FILHO, J.; FREITAS, P. S. L.; BERIAN, L. O. S.; GOTO, R. **Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral**. Maringá: EDUEM, 2018. 51p.
- BENTON, A. **Priority Species of Bamboo**. In: LIESE, M.; KOHL, M. *Bamboo (Tropical Forestry)*. Springer: Switzerland, 2015. p. 31–41.
- BERALDO, A. L.; AZZINI, A. **Bambú: Características e aplicações**. Guaíba: Livraria Editora Agropecuária, 2004. 180p.
- BIAN, F.; ZHONG, Z.; ZHANG, X.; YANG, C. Phytoremediation potential of moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) intercropped with *Sedum plumbizincicola* in metal-contaminated soil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, p. 27244–27253, 2017.
- BONK, C. **Crescimento e propriedades físico-mecânicas de bambu *Dendrocalamus asper* (Schult & Schult. f.) Backer ex Heyne em função da adubação**. 81 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Dois Vizinhos, Paraná, 2021.
- BOROWSKI, P.F.; PATUK, I.; BANDALA, E.R. Innovative Industrial Use of Bamboo as Key “Green” Material. **Sustainability**, v. 14, e1955, 2022.
- BRAHMA, B. K.; BASUMATAR, A.; BASUMATARY, J.; NARZARY, D.; MW SHAHARY, N.; JAMATIA, S.; BASUMATARY, P.; GOYAL, A. K. Inventorying bamboo diversity of Kokrajhar District, BTAD, Assam, India with emphasis on its uses by the Bodos tribes. **International Journal of Fundamental and Applied Sciences**, v. 3, p. 30-34, 2014.
- BRONDANI, G. E.; OLIVEIRA, L. S.; FURLAN, F. C.; RIBEIRO, A. S.; DRUMOND, P.; WIEDMAN, G. **Estabelecimento in vitro de *Bambusa vulgaris* Schrad. ex JC Wendl e *Dendrocalamus asper* (Schult. et Schult. F.) Backer ex K. Heyne**. In:

DRUMOND, P. M.; WIEDMAN, G. *Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia*. Rio de Janeiro: Instituto Ciência Hoje, 2017. 98p.

CAMARGO, M.S.; KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S. Solubilidade do silício em solos: influência do calcário e ácido silícico aplicados. **Solos e Nutrição de Plantas**, v.66, p.637-647, 2007.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (CGEE) – **Economia do Bambu no Brasil: Tecnologia e Inovação na Cadeia Produtiva – Perspectivas e Desafios**, 2018.

CHEN, J.; SHAFI, M.; LI, S.; WANG, Y.; WU, J.; YE, Z.; LIU, D. Copper induced oxidative stresses, antioxidant responses and phytoremediation potential of Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*). **Scientific Reports**, v. 5, p. 1-9. 2015.

CHIN, K. L.; IBRAHIM, S.; HAKEEM, K. R.; H'NG, P. S.; LEE, S. H.; LILA, M. A. M. Bioenergy production from bamboo: Potential source from Malaysia's perspective. **BioResources**, v. 12, p. 6844–6867, 2012.

CHOUDHURY, D.; SAHU, J.K; SHARMA, G.D. Value addition to bamboo shoots: a review. **Journal of Food Science and Technology**, v.49, p. 407- 414, 2012.

CLEMENS, S. Molecular mechanisms os plant metal tolerance ande homeostasis. **Planta**, v. 212, p. 475-486, 2001.

COMAS, L. H.; EISSENSTAT, D. M. Linking fine root traits to maximum potential growth rate among 11 mature temperate tree species. **Functional Ecology**, v.18, p. 388–397, 2004.

CORNELIS, J. T.; DELVAUX, B.; CARDINAL, D.; ANDRÉ, L.; RANGER, J.; OPFERGELT, S. Tracing mechanisms controlling the release of dissolved silicon in forest soil solutions using Si isotopes and Ge/Si ratios. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v.74, p. 3913-3924, 2010.

DANTAS, A. B.; MILITO, C. M.; LUSTOSA, M. C. J.; TONHOLO, J. **O uso do bambu na construção do desenvolvimento sustentável**. Maceió: Instituto do Bambu, 2005. 84p.

DETMANN, K.C.; ARAÚJO, W.L.; MARTINS, S.C.; SANGLARD, L.M.; REIS, J.V.; DETMANN, E.; RODRIGUES, F.A.; NUNES-NESI, A.; FERNIE, A.R.; DAMATTA, F.M. Silicon nutrition increases grain yield, which, in turn, exerts a feed-forward stimulation of photosynthetic rates via enhanced mesophyll conductance and alters primary metabolism in rice. **New Phytologist**, v.196, p. 752–762, 2012.

DEVI, W.P.; KUMAR, H. Frugal Innovations and Actor–Network Theory: A Case of Bamboo Shoots Processing in Manipur, India. **The European Journal of Development Research**, v. 30, p. 66–83, 2018.

DINIZ, M. F. Bambu: sustentabilidade na construção civil. **Engenharia e Construção**: Online. Disponível em: <<https://www.engenhariaeconstrucao.com/2014/11/bambu-sustentabilidade-construcao.html>>. Acesso em: 22 jun. 2022.

DUNAISKI, F. A.; PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V.; GOTZ, L. F. Biomass and phosphorus content in giant bamboo cuttings influenced by phosphate fertilization. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 18, n. 4, p. 412-416, 2019.

DWIVEDI, U. K.; GHOSH, A.; CHAND, N. Role of PVA modification in improving the sliding wear behaviour of bamboo. **BioResources**, v. 4, p. 522-528, 2009.

EPSTEIN, E. Silicon: its manifold roles in plants. **Annals of Applied Biology**, v. 155, p.155–160, 2009.

FAGERIA, N. K. Níveis adequados e tóxicos de zinco na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, p. 390-395, 2000.

FILGUEIRAS, T. S.; VIANA, P. L. **Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia**. 1. Ed. Rio de Janeiro: ICH, 2017. 655p.

FILHO, A. P.; BADR, O. Biomass resources for energy in North-Eastern Brazil. **Applied Energy**, v.77, p. 51-67, 2004.

FLEXAS, J.; BARBOUR, M.M.; BRENDEL, O.; CABRERA, H.M.; CARRIQUI, M.; DIAZ-ESPEJO, A.; DOUTHE, C.; DREYER, E.; FERRIO, J.P.; GAGO, J.; GALLÉ, A.; GALMÉS, J.; KODAMA, N.; MEDRANO, H.; NIINEMETS, U.; PEGUERO-PINA, J.J.; POU, A.; RIBAS-CARBÓ, M.; TOMÁS, M.; TOSENS, T.; WARREN, C.R. Mesophyll diffusion conductance to CO₂: An unappreciated central player in photosynthesis. **Plant Science**, v. 193, p. 70–84, 2012.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – FAO. **Global Forest Resources Assessment**. Roma: FAO, 2010.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – FAO. **World bamboo resources: A thematic study prepared in the framework of the Global Forest Resources Assessment 2005**. Roma: FAO, 2007.

FOYER, C.H.; NOCTOR G. Ascorbate and glutathione: the heart of the redox hub. **Plant Physiology**, v.155, p. 2–18, 2011.

FUKE P.; MANU M. T.; KUMAR M.; SAWARKAR A. D.; PANDEY A.; SINGH L. Role of microbial diversity to influence the growth and environmental remediation capacity of bamboo: A review. **Industrial Crops and Products**, v.167, e113567, 2021.

GALRÃO, E. Z. Métodos de correção da deficiência de Zn para o cultivo do milho num Latossolo Vermelho-Escuro, argiloso, sob cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, p. 229-233, 1994.

GOUR, D. S.; PRASAD, B. Utilization of Bamboo fibre and M-sand in Concrete as a Replacement of Natural Sand: A Review. **International Journal of Scientific Research in Civil Engineering**, v. 4, p.1-7, 2020.

GOYAL, A. K.; BRAHMA, B. K. Antioxidant and nutraceutical potential of bamboo: an overview. **Journal of Fundamental and Applied Sciences**, v.3, p. 2–10, 2014.

GOYAL, A. K.; GHOSH, P. K.; DUBEY, A. K.; SEN, A. Inventorying bamboo biodiversity of North Bengal: a case study. **Journal of Fundamental and Applied Sciences**, v.1, p. 5-8, 2012.

GRAHAM, R.D.; WELCH, R.M. **Breeding for staple food crops with high micronutrient density**. Washington: International Food Policy Research Institute (IFPRI), 1996. 450p.

GRECO, T.M; CROMBERG, M. **Bambu: Cultivo e manejo**. Florianópolis: Editora Insular, 2011. 183p.

GUARNETTI, R. L.; COELHO, S. T. Cogeração de eletricidade utilizando bambu no brasil: aspectos técnicos, econômicos e ambientais. **Biomassa BR**, v. 3, p. 3-8, 2014.

GUO, Z.; ZHUANG, M.; YANG, L.; LI, Y.; WU, S.; CHEN, S. Differentiated mineral nutrient management in two bamboo species under elevated CO₂ environment. **Journal of Environmental Management**, v. 279, e111600, 2021.

HELMISAARI, H. S.; MAKKONEN, K.; KELLOMAKI, S.; VALTONEN, E.; MALKONEN, E. Below- and above-ground biomass, production and nitrogen use in Scots pine stands in eastern Finland. **Forest Ecology and Management**, v.165, p.317–326, 2002.

HERNANDES, A.; MELLO, P.R.; SOUZA, P. F.; MODA, L. R.; SANTOS, I. J. G.; GUIMARÃES, R. D. C. M. Desenvolvimento e nutrição do Capim-Tanzânia em função da aplicação de zinco. **Scientia Agraria**, v. 10, p. 383-389, 2009.

HIGUCHI, T. Lignin biochemistry: biosynthesis and biodegradation. **Wood Science and Technology**, v. 24, p. 23-63, 1990.

ILYAS, A.; ASHRAF, M. Y.; HUSSAIN, M.; ASHRAF, M.; AHMED, R.; KAMAL, A. Effect of micronutrients (Zn, Cu and B) on photosynthetic and fruit yield attributes of citrus reticulata blanco var. Kinnow. **Pakistan Journal of Botany**, v. 47, p. 1241-1247, 2015.

JING, X.; CAI, C.; FAN, S.; LUO, H. Physiological Response Characteristics of Moso Bamboo under Drought Stress Based on Calcium Signal. **Forests**, v.12, e1699, 2021.

CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007. Porto Alegre. **Conquistas e desafios da ciência do solo brasileira: Anais**. Porto Alegre: SBCS, 2007. 200p.

KAUSHAL, R.; SINGH, I.; THAPLIYAL, S. D.; GUPTA, A. K.; MANDAL, D.; TOMAR, J. M. S.; DURAI, J. Rooting behaviour and soil properties in different bamboo species of Western Himalayan Foothills, India. **Scientific reports**, v.10, p.1-17, 2020.

KERLERO G. R.; DE BUSSY, J. **Open ideas** - electrical valorization of bamboo in Africa. Paris: Enea Consulting, 2012. 58p.

KITTUR, B. H.; SUDHAKARA, K.; MOHAN KUMAR, B.; KUNHAMU, T. K.;

SURESHKUMAR, P. Bamboo based agroforestry systems in Kerala, India: performance of turmeric (*Curcuma longa* L.) in the subcanopy of differentially spaced seven-year-old bamboo stand. **Agroforestry Systems**, v. 90, p. 237-250, 2016.

KOBAYASHI, T.; NOZOYE, T.; NISHIZAWA, N.K. Iron transport and its regulation in plants. **Free Radical Biology and Medicine**, v.133, p.11–20, 2019.

KONG, C. K.; TAN, Y. N.; CHYE, F. Y.; SIT, N. W. Nutritional compositions, biological activities, and phytochemical contents of the edible bamboo shoot, *Dendrocalamus asper* from Malaysia. **International Food Research Journal**, v.27, p.54-64, 2020.

KUMAR, R.; THANGARAJU, M. M.; KUMAR, M.; THUL, S. T.; PANDEY, V. C.; YADAV, S.; KUMAR, S. Ecological restoration of coal fly ash–dumped area through bamboo plantation. **Environmental Science and Pollution Research**, v.28, p.33416-33432, 2021.

LEE, S.H.; WANG, S. Biodegradable polymers/bamboo fiber biocomposite with bio-based coupling agent. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 37, p. 80-91, 2006.

LI, Z. C.; SONG, Z. L.; TAO, W.; SHAOPAN, X. C.; LIANG, Y. Impacts of silicon on biogeochemical cycles of carbon and nutrients in croplands. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 17, p. 2182–2195, 2018.

LI, Z. H.; KOBAYASHI, M. Plantation future of bamboo in China. **Journal of Forestry Research**, v.15, p. 233-242, 2004.

LIANG, Y.; SUN, W.; ZHU, Y.G.; CHRISTIE P. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review. **Environmental Pollution**, v.147, p. 422– 428, 2007.

LIESE, W. **The anatomy of bamboo culms**. Netherlands: Brill, 1998. 208p.

NETO, M.C.; NETO, E.B.; BARRETO, L.P.; SILVA, J.A.A. Exportação de macronutrientes em cultivos comerciais de bambu no tabuleiro costeiro do estado da Paraíba. **Revista Árvore**, v.34, p.251-257, 2010.

LIMA, S. G. **Manejo da adubação do bambu *Dendrocalamus giganteus* Wallich ex Munro em área experimental**. 46f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Florestal) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2016.

LIU, Z.; MI, B.; JIANG, Z.; FEI, B.; CAI, Z. Improved bulk density of bamboo pellets as biomass for energy production. **Renewable Energy**, v. 86, p.1-7, 2016.

LUX, A.; LUXOVÁ, M.; ABE, J.; MORITA, S.; INANAGA, S. Silicification of bamboo (*Phyllostachys heterocycla* Mitf.) root and leaf. **Plant Soil**, v. 255, p.85–91, 2003.

MA, J. F.; YAMAJI, N. A cooperative system of silicon transport in plants. **Trends in Plant Science**, v. 20, p. 435-442, 2015.

MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in**

plant science, v. 11, p. 392-397, 2006.

MAGHSOUDI, K.; EMAM, Y.; PESSARAKLI, M. Effect of silicon on photosynthetic gas exchange, photosynthetic pigments, cell membrane stability and relative water content of different wheat cultivars under drought stress conditions. **Journal of Plant Nutrition**, v. 39, p. 1001–1015, 2016.

MALANIT, P.; BARBU, M.C.; FRÜHWALD, A. The gluability and bonding quality of an Asian bamboo (*Dendrocalamus asper*) for the production of composite lumber. **Journal of Tropical Forest Science**, v.21, p.361–368, 2009.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MANDLIK, R.; THAKRAL, V.; RATURI, G.; SHINDE, S.; NIKOLIĆ, M.; TRIPATHI, D. K.; DESHMUKH, R. Significance of silicon uptake, transport, and deposition in plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 71, p. 6703-6718, 2020.

MANHÃES, A.P. **Caracterização da cadeia produtiva do bambu no Brasil: Abordagem preliminar**. 39f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

MAOYI, F.; JINZHONG, X.; BENZHI, Z.; ZHENGCAI, L.; XIANTAN, X. **Technical Manual on Sympodial Bamboos Cultivation**. China: Forestry Publishing House, 2008.101p.

MARINHO, N. P. **Características das fibras do bambu (*Dendrocalamus giganteus*) e potencial de aplicação em painéis de fibra de média densidade (mdf)**. 144f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

MEENA, V.; DOTANIYA, M.; COUMAR, V.; RAJENDIRAN, S.; KUNDU, S.; SUBBARAO, A. A case for silicon fertilization to improve crop yields in tropical soils. Proceedings of the National Academy of Sciences. **India Section B: Biological Sciences**, v. 84, p. 505–518, 2014.

MEHTA, S.; GOGNA, M.; SINGH, B.; PATRA, A.; SINGH, I. K.; SINGH, A. Silicon: a plant nutritional “non-entity” for mitigating abiotic stresses. **Plant stress biology**, v. 1, p. 17–49, 2020.

MEI, L.; GU, J. C.; ZHANG, Z. W.; WANG, Z. Q. Responses of fine root mass, length, production and turnover to soil nitrogen fertilization in *Larixgmelinii* and *Fraxinus* and *shurica* forests in North eastern China. **Journal of Forest Research**, v.15, p. 194–201, 2010.

MENDES, S.D.C.; MOLICA, S.G.; FERREIRA, R.L.C.; CÉSPEDES, G.H.G. Absorção e distribuição de nutrientes em plantios comerciais de bambu (*Bambusa vulgaris*) no nordeste do Brasil. **Revista Árvore**, v.34, p. 991-999, 2010.

MENEGALE, M. L. C.; CASTRO, G. S. A.; MANCUSO, M. A.; Silício: Interação Com o Sistema Solo-Planta. **Journal of Agronomic Sciences**, v. 4, p. 435-454, 2015.

MISHRA, G.; GIRI, K.; PANDAY, S.; KUMAR, R.; BISHT, N. S. Bamboo: potential resource for eco-restoration of degraded lands. **Journal of Biology and Earth Sciences**, v. 4, p.130-136, 2014.

MOGNON, F.; RODRIGUES, A.L.; SANQUETTA, C.R.; DALLA CORTE, A.P.; NOVAES, A.B.; BLUM, C.T. Alocação e modelagem da biomassa em *Dendrocalamus asper*. **Floresta**, v.45, p.1-10, 2015.

MORADTALAB, N.; WEINMANN, M.; WALKER, F.; HÖGLINGER, B.; LUDEWIG, U.; NEUMANN, G. Silicon improves chilling tolerance during early growth of maize by effects on micronutrient homeostasis and hormonal balances. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 410- 420, 2018.

MORAES, M. J. B.; MORAES, J. C. B.; TASHIMA, M. M.; AKASAKI, J. L.; SORIANO, L.; BORRACHERO, M. V.; PAYÁ, J. Production of bamboo leaf ash by auto-combustion for pozzolanic and sustainable use in cementitious matrices. **Construction and Building Materials**, v. 208, p. 369-380, 2019.

MUSTAFA, A. A.; DERISE, M. R.; YONG, W. T. L.; RODRIGUES, K. F. A concise review of *Dendrocalamus asper* and related bamboos: germplasm conservation, propagation and molecular biology. **Plants**, v. 10, e1897, 2021.

NEU, S.; SCHALLER, J.; DUDEL, E. G. Silicon availability modifies nutrient use efficiency and content, C: N: P stoichiometry, and productivity of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). **Scientific Reports**, v. 7, p.1–8, 2017.

NIRMALA, C.; SHARMA, M. L.; DAVID, E. A comparative study of nutrient components of freshly harvested and canned bamboo shoots of *D. giganteus* Munro, bamboo science and culture. **The Journal of the American Bamboo Society**, v. 21, p. 41–47, 2008.

OGUNBIYI, M.A.; OLAWALE, S.O.; TUDJEGBE, O.E.; AKINOLA, S.R. Comparative analysis of the tensile strength of bamboo and reinforcement steel bars as structural member in building construction. **International Journal of Scientific & Technology Research**, v. 4, p.551–553, 2015.

PEREIRA, M. A. R.; BERALDO, A. L. **Bambu de corpo e alma**. 5. Ed. Bauru: Canal 6 Editora, 2016. 30p.

PEREIRA, M. A.; BERALDO, A. L. **Bambu de corpo e alma**. Bauru: Canal 6 Editora, 2008. 44p.

PEREIRA, M. R. Determinação de características físicas do bambu gigante laminado (*Dendrocalamus giganteus*), cultivado na Unesp/campus de Bauru. **Madeira: arquitetura e engenharia**, v. 7, p. 1-15, 2012.

PRADO, R. M; NATALE, W.; DE CASTRO, M. M. Fontes de zinco aplicado via semente na nutrição e crescimento inicial do milho cv. Fort. **Bioscience Journal**, v.23, p. 16-24, 2007.

PRIYA, S.M.; DIVYA, P.; RAJALAKSHMI, R. A review status on characterization and electrochemical behaviour of biomass derived carbon materials for energy storage

supercapacitors. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, v. 16, e100243, 2020.

QIAN, Z.Z.; ZHUANG, S.Y.; LI, Q.; GUI, R.Y. Soil Silicon Amendment Increases *Phyllostachys praecox* Cold Tolerance in a Pot Experiment. **Forests**, v.10, p. 405-415, 2019.

QUEIROZ, F. F. **Estabelecimento e Cultivo de Células em Suspensão e Uso de Biorreatores como Estratégias de Propagação de Bambus do Gênero Guadua**. 208 f. Tese (Doutorado em Botânica) - Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

RAO, R. Bamboos and their Role in Ecosystem Rehabilitation. **Silviculture**, v.2, p. 1011–1017, 2004.

RIGO, G. **Comportamento morfofisiológico de *Dendrocalamus asper* (Schult f.) Backer ex heyne no sistema de propagação in vitro por clusters e no processo de aclimatização**. 75 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

SANTI, T. Bambu para toda obra. **O Papel**, v. 76, p. 23-34, 2015.

SANTOS, D. R. D. S.; JUNIOR, C. R. S.; DA SILVA, M. F.; YAMAJI, F. M.; ALMEIDA, R. D. A. Bamboo species potential as energy source. **Scientia Forestalis**, v. 44, p.751–758, 2016.

SANTOS, L. C.; SILVA, G. A. M.; OLIVEIRA A. M.; ROCHA, J. L. A.; ARAÚJO S. S. T.; RIBEIRO, M. D. S.; SOUSA, F. Q. O papel do silício nas plantas. **Research, Society and Development**, v.10, e3810716247, 2021.

SAWARKAR, A. D.; SHRIMANKAR, D. D.; KUMAR, A.; KUMAR, A.; SINGH, E.; SINGH, L.; KUMAR, R. Commercial clustering of sustainable bamboo species in India. **Industrial Crops and Products**, v.154, e112693, 2020.

SCHALLER, J.; BRACKHAGE, C.; GESSNER, M.; BÄUKER, E.; GERT, D. E. Silicon supply modifies C: N: P stoichiometry and growth of *Phragmites australis*. **Plant Biology**, v. 14, p.392–396, 2021.

SCHOELYNCK, J.; MÜLLER, F.; VANDEVENNE, F.; BAL, K.; BARÃO, L.; SMIS, A.; STRUYF, E. Silicon–vegetation interaction in multiple ecosystems: a review. **Journal of vegetation science**, v. 25, p. 301-313, 2014.

SCURLOCK, J. M. O.; DAYTON, D. C.; HAMES, B.; Bamboo: an overlooked biomass resource? **Biomass and Bioenergy**, v.19, p.229-244, 2000.

SETTE, C. R. J; FONSECA L. P. A.; MENDES L. D. M.; GONDIM, B.; CONEGLIAN, P. V. A.; ARAÚJO, A. R. Characterization of biomass, charcoal and briquette of *Phyllostachys aurea* Carr. ex A. & C. Rivière. **Scientia Forestalis**, v. 45, p. 619-628, 2017.

SETTE, C. R.; JR.; DE CASTRO, P.; FREITAS, V. P.; YAMAJI, F. M.; ALMEIDA, R. D. A. Production and characterization of bamboo pellets. **Bioscience Journal**, v.32, p. 922–930, 2016.

SHANMUGHAVEL, P.; FRANCIS, K. Above ground biomass production and nutrient distribution in growing bamboo (*Bambusa bambos* (L.) Voss). **Biomass and Bioenergy**, v. 10, p. 383-391, 1996.

SHANMUGHAVEL, P.; FRANCIS, K. Balance and turnover of nutrients in a bamboo plantation (*Bambusa bambos*) of different ages. **Biology and fertility of soils**, v. 25, p. 69-74, 1997.

SHANMUGHAVEL, P.; FRANCIS, K. **Physiology of Bamboo**. Jodhpur: Scientific Publishers, 2001. 154p.

SHIRASUNA, R.T. **Bambus Nativos (Poaceae – Bambusoideae) no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, Brasil**. 84f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade vegetal e meio ambiente) – Instituto de Botânica da Secretaria do Estado do Meio Ambiente, São Paulo, 2012.

SINGH, S.; KUMAR, P.; ANSARI, S. A. A simple method for large-scale propagation of *Dendrocalamus asper*. **Scientia Horticulturae**, v. 100, p. 251–255, 2004.

SINGH, S.; SINGH, H.; SHARMA, S.K.; NAUTIYAL, R. Seasonal variation in biochemical responses of bamboo clones in the sub-tropical climate of Indian Himalayan foothills. **Heliyon**, v.7, e06859, 2021.

SONG, Z.; LIU, H.; LI, B.; YANG, X. The production of phytolith-occluded carbon in China's forests: implications to biogeochemical carbon sequestration. **Global Change Biology**, v.19, p. 2907–2915, 2013.

SOWMYA, C.; JAGADISH, M.R.; SYAM, V. Cultivation prospects of *Dendrocalamus asper* backer for edible shoots in semiarid and humid tropics of peninsular India. **Int. International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences**, v. 5, p. 95–101, 2015.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2017. 888p.

TAMAI, K.; MA, J.F. Reexamination of silicon effects on rice growth and production under field conditions using a low silicon mutant. **Plant Soil**, v. 307, p. 21–27, 2008.

TANG, R. J.; LUAN, S. Regulation of calcium and magnesium homeostasis in plants: from transporters to signaling network. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 39, p. 97–105, 2017.

TEIXEIRA, G. C. M.; PRADO, R. D. M.; ROCHA, A. M. S.; PICCOLO, M. D. C. Root- and foliar-applied silicon modifies C: N: P ratio and increases the nutritional efficiency of pre-sprouted sugarcane seedlings under water deficit. **PLoS ONE**, v. 15, e0240847, 2020.

TEWARI, S.; BANIK, R. L.; KAUSHAL, R.; BHARDWAJ, D.; CHATURVEDI, O.; GUPTA, A. Bamboo based agroforestry systems. **ICFRE**, v.24, p. 261-284, 2015.

TEWARI, S.K.; KUMAR, N.; KATIYAR, R.S.; BALASUBRAMANIAN, V.R.; MISRA, P.N. Preliminary observations on the comparative performance of three bamboo

species on alkali soils of Uttar Pradesh. **Bamboo News**, v. 19, p.1–3, 1994.

THAPA, P.; AMITA, B.; PRIYANKA, S.; KIRAN, D. Advances in Bamboo Biotechnology: Present Status and Future Perspective. **Biotechnologies of Crop Improvement**, v. 1, p. 243–265, 2018.

TOKY, O. P.; RAMAKRISHNAN, P.S. Role of bamboo (*Dendrocalamus hamiltonii*) in conservation of potassium during slash and burn agriculture (Jhum) in North Eastern India. **Journal of Tree Sciences**, v. 1, p. 17-26, 1982.

TOMBOLATO, A.F.C.; GRECO, T.M.; PINTO, M.M. Dez espécies de bambus exóticos mais comuns no paisagismo no Brasil. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, v.18, p. 105-114, 2012.

UMEMURA, M.; TAKENAKA, C. Biological cycle of silicon in moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) forests in central Japan. **Ecological Research**, v. 29, p. 501– 510, 2014.

VERMA, K. K.; WU, K. C.; SINGH, P.; MALVIYA, M. K.; SINGH, R. K.; SONG, X. P.; LI, Y. R. The protective role of silicon in sugarcane under water stress: photosynthesis and antioxidant enzymes. **Biomedical Journal of Scientific & Technical Research**, v.15, e26717, 2019.

VILLAR-COCIÑA, E.; MORALES, E. V.; SANTOS, S. F.; SAVASTANO, J. H.; FRÍAS, M. Pozzolanitic behavior of bamboo leaf ash: Characterization and determination of the kinetic parameters. **Cement and Concrete Composites**, v. 33, p. 68-73, 2011.

VOGTLÄNDER, J.; VAN D. L. P.; BREZET, H. The sustainability of bamboo products for local and Western European applications. LCAs and land-use. **Journal of Cleaner Production**, v.18, p.1260–1269, 2010.

WANG, B.; WEI, W. J.; LIU, C. J.; YOU, W. Z.; NIU, X.; MAN, R. Z. Biomass and carbon stock in Moso bamboo forests in subtropical China: characteristics and implications. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 25, p.137-148, 2013.

WANG, Y.; CHEN, J.; WANG, D.; YE, F.; HE, Y.; HU, Z.; ZHAO, G. A systematic review on the composition, storage, processing of bamboo shoots: Focusing the nutritional and functional benefits. **Journal of Functional Foods**, v. 71, p.104015, 2020.

WERE, F.H.; WAFULA, G.A.; WAIRUNGU, S. Phytoremediation Using Bamboo to Reduce the Risk of Chromium Exposure from a Contaminated Tannery Site in Kenya. **Journal of Health and Pollution**, v.16, p.12-25, 2017.

YANG, X.; SONG, Z.; LIU, H.; BOLAN, N. S.; WANG, H.; LI, Z. Plant silicon content in forests of north China and its implications for phytolith carbon sequestration. **Ecological Research**, v. 30, p. 347– 355, 2015.

YEO, A.R.; FLOWERS, S.A.; RAO, G.; WELFARE, K.; SENANAYAKE, N.; FLOWERS, T.J. Silicon reduces sodium uptake in rice (*Oryza sativa* L.) in saline conditions and this is accounted for by a reduction in the transpirational bypass flow. **Plant Cell Environment**, v. 22, p. 559–565, 1999.

- YUEN, J. Q.; FUNG, T.; ZIEGLER, A. D. Carbon stocks in bamboo ecosystems worldwide: Estimates and uncertainties. **Forest Ecology and Management**, v. 393, p. 113-138, 2017.
- ZHANG, G.; ZHANG, L.; WEN, D. Photosynthesis of subtropical forest species from different successional status in relation to foliar nutrients and phosphorus fractions. **Scientific Reports**, v.8, p. 1–12, 2018.
- ZHANG, S.; LI, Y.; SINGH, B.P.; WANG, H.; CAI, X.; CHEN, J.; QIN, H.; LI, Y.; CHANG, S.X. Contrasting short-term responses of soil heterotrophic and autotrophic respiration to biochar-based and chemical fertilizers in a subtropical Moso bamboo plantation. **Applied Soil Ecology**, v. 157, e103758, 2021.
- ZHANG, Y. H. P. Reviving the carbohydrate economy via multi-product lignocellulose biorefineries. **Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology**, v. 35, p. 367–375, 2008.
- ZHONG, Z.; BIAN, F.; ZHANG, X. Testing composted bamboo residues with and without added effective microorganisms as a renewable alternative to peat in horticultural production. **Industrial Crops and Products**, v. 112, p. 602-607, 2018.

ANEXOS

Tabela A1 (A-H). Teste de Dunett, 5% de probabilidade, comparando tratamento adicional com Zn com as diferentes relações Ca:Mg e tratamentos de Si.

A			
Número de brotos			
Relação Ca/Mg	Médias	Doses de sílicio	Médias
1:1	4.15ns	T0	3.84ns
1:2	4.26ns	T1	4.56ns
1:3	3.67ns	T2	4.28ns
2:1	4.52ns	T3	3.92ns
3:1	4.29ns	T4	4.29ns
T (Zn)	5,00	T (Zn)	5,00

B			
Massa seca de folhas			
Relação Ca/Mg	Médias	Doses de sílicio	Médias
1:1	109.5736ns	T0	92.9308ns
1:2	106.1992ns	T1	115.8336ns
1:3	122.238ns	T2	106.2168ns
2:1	103.358ns	T3	112.134ns
3:1	107.5496ns	T4	121.8032ns
T (Zn)	103.026	T (Zn)	103.026

C			
Massa seca de galhos			
Relação Ca/Mg	Médias	Doses de sílicio	Médias
1:1	76.8572ns	T0	63.8588ns
1:2	72.988ns	T1	78.3304ns
1:3	85.1384ns	T2	76.9944ns
2:1	75.5124ns	T3	83.3348ns
3:1	74.2864ns	T4	82.264ns
T (Zn)	61.794	T (Zn)	61.794

D			
Massa seca de colmo			
Relação Ca/Mg	Médias	Doses de sílicio	Médias
1:1	71.178ns	T0	62.3448ns
1:2	76.9096ns	T1	76.1292ns
1:3	81.2096ns	T2	80.3976ns
2:1	75.564ns	T3	79.4412ns
3:1	75.4144ns	T4	81.9628ns
T (Zn)	75.694	T (Zn)	75.694

E			
Massa seca de rizoma			
Relação Ca/Mg	Médias	Doses de sílicio	Médias
1:1	39.6936ns	T0	44.102ns
1:2	53.5794ns	T1	53.8113ns
1:3	64.8972ns	T2	48.6455ns
2:1	48.5152ns	T3	51.3384ns
3:1	50.3791ns	T4	59.1673ns
T (Zn)	42.562	T (Zn)	42.562

F			
Massa seca de raiz			
Relação Ca/Mg	Médias	Doses de sílicio	Médias
1:1	48.6689ns	T0	43.2688ns
1:2	49.5421ns	T1	59.1696ns
1:3	68.4054ns	T2	53.2135ns
2:1	51.5856ns	T3	54.7191ns
3:1	54.0115ns	T4	61.8425ns
T (Zn)	53.492	T (Zn)	53.492

G			
Massa seca da parte aérea			
Relação Ca/Mg	Médias	Doses de sílicio	Médias
1:1	257.6104ns	T0	219.134ns
1:2	256.0932ns	T1	270.2928ns
1:3	288.584ns	T2	263.6072ns
2:1	254.4328ns	T3	274.908ns
3:1	257.2492ns	T4	286.0276ns
T (Zn)	240.514	T (Zn)	240.514

H			
Massa seca total			
Relação Ca/Mg	Médias	Doses de sílicio	Médias
1:1	345.9724ns	T0	306.5048ns
1:2	359.2148ns	T1	383.2736ns
1:3	421.8864ns	T2	365.466ns
2:1	354.5336ns	T3	380.9656ns
3:1	361.64ns	T4	407.0372ns
T (Zn)	336.568	T (Zn)	336.568

Tabela A2. Análise de variância para número de brotos, no cultivo em vasos de *Dendrocalamus asper*, aos 207 dias após plantio.

FV	G.L.	SQ	QM	F	p-valor
Bloco	4	29,4106	7,3526	2,5551	0,0434
Trat	25	76,4255	3,0570	1,0623	0,3994
Ca/Mg	4	9,8770	2,4692	0,8581	0,4920
Si	4	8,7420	2,1855	0,7595	0,5541
Ca/Mg*Si	16	54,5580	3,4099	1,1850	0,2931
Fatorial x T(Zn)	1	3,2485	3,2485	1,1289	0,2906
Resíduo	100	287,7644	2,8776		
Total	129	393,6005			

Tabela A3. Análise de variância para massa seca de folhas, no cultivo em vasos de *Dendrocalamus asper*, aos 207 dias após plantio.

FV	G.L.	SQ	QM	F	p-valor
Bloco	4	9026,3482	2256,5870	2,6495	0,0376
Trat	25	26139,7150	1045,5886	1,2277	0,2352
Ca/Mg	4	5357,4493	1339,3623	1,5726	0,1875
Si	4	12083,1126	3020,7781	3,5468	0,0095
Ca/Mg*Si	16	8479,6819	529,9801	0,6223	0,8592
Fatorial x T(Zn)	1	219,4712	219,4712	0,2577	0,6128
Resíduo	100	85168,8182	851,6882		
Total	129	120334,8814			

Tabela A4. Análise de variância para massa seca de galhos, no cultivo em vasos de *Dendrocalamus asper*, aos 207 dias após plantio.

FV	G.L.	SQ	QM	F	p-valor
Bloco	4,0000	808,6804	202,1701	0,3133	0,8685
Trat	25,0000	14138,1616	565,5265	0,8764	0,6354
Ca/Mg	4,0000	2297,4814	574,3703	0,8901	0,4728
Si	4,0000	6056,7843	1514,1961	2,3466	0,0596
Ca/Mg*Si	16,0000	4678,7663	292,4229	0,4532	0,9629
Fatorial x T(Zn)	1,0000	1105,1297	1105,1297	1,7127	0,1936
Resíduo	100,0000	64526,5606	645,2656		
Total	129,0000	79473,4027			

Tabela A5. Análise de variância para massa seca de colmos, no cultivo em vasos de *Dendrocalamus asper*, aos 207 dias após plantio.

FV	G.L.	SQ	QM	F	p-valor
Bloco	4	2312,9750	578,2437	0,9598	0,4331
Trat	25	16379,7448	655,1898	1,0875	0,3709
Ca/Mg	4	1292,9838	323,2459	0,5365	0,7092
Si	4	6330,2328	1582,5582	2,6267	0,0389
Ca/Mg*Si	16	8755,8976	547,2436	0,9083	0,5619
Fatorial x Zn	1	0,6307	0,6307	0,0010	0,9743
Resíduo	100	60248,4888	602,4849		
Total	129	78941,2086			

Tabela A6. Análise de variância para massa seca de parte aérea, no cultivo em vasos de *Dendrocalamus asper*, aos 207 dias após plantio.

FV	G.L.	SQ	QM	F	p-valor
Bloco	4	26640,0517	6660,0129	1,3976	0,2403
Trat	25	112563,2759	4502,5310	0,9448	0,5454
Ca/Mg	4	20937,4824	5234,3706	1,0984	0,3616
Si	4	66241,7786	16560,4446	3,4752	0,0106
Ca/Mg*Si	16	22997,4782	1437,3424	0,3016	0,9956
Fatorial x T(Zn)	1	2386,5367	2386,5367	0,5008	0,4808
Resíduo	100	476536,6520	4765,3665		
Total	129	615739,9795			

Tabela A7. Análise de variância para massa de rizomas, no cultivo em vasos de *Dendrocalamus asper*, aos 207 dias após plantio.

FV	G.L.	SQ	QM	F	p-valor
Bloco	4	4256,5107	1064,1277	3,3121	0,0136
Trat	25	16260,1672	650,4067	2,0244	0,0075
Ca/Mg	4	8333,1867	2083,2967	6,4843	0,0001
Si	4	3174,9088	793,7272	2,4705	0,0494
Ca/Mg*Si	16	4375,4445	273,4653	0,8512	0,6256
Fatorial x T(Zn)	1	376,6271	376,6271	1,1723	0,2815
Resíduo	100	32128,3361	321,2834		
Total	129	52645,0140			

Tabela A8. Análise de variância para massa seca de raízes, no cultivo em vasos de *Dendrocalamus asper*, aos 207 dias após plantio.

FV	G.L.	SQ	QM	F	p-valor
Bloco	4	24526,6128	6131,6532	14,7308	0,0000
Trat	25	14741,1055	589,6442	1,4166	0,1157
Ca/Mg	4	6516,5225	1629,1306	3,9139	0,0054
Si	4	5088,5259	1272,1315	3,0562	0,0202
Ca/Mg*Si	16	3131,7122	195,7320	0,4702	0,9559
Fatorial x Zn	1	4,3450	4,3450	0,0104	0,9188
Resíduo	100	41624,6663	416,2467		
Total	129	80892,3846			

Tabela A9. Análise de variância para massa seca da parte subterrânea, no cultivo em vasos de *Dendrocalamus asper*, aos 207 dias após plantio.

FV	G.L.	SQ	QM	F	p-valor
Bloco	4	45948,4019	11487,1005	9,5553	0,0000
Trat	25	55048,9047	2201,9562	1,8317	0,0188
Ca/Mg	4	27552,3151	6888,0788	5,7297	0,0003
Si	4	15952,8756	3988,2189	3,3175	0,0135
Ca/Mg*Si	16	11081,8363	692,6148	0,5761	0,8950
Fatorial x T(Zn)	1	461,8778	461,8778	0,3842	0,5368
Resíduo	100	120216,8721	1202,1687		
Total	129	221214,1788			

Tabela A10. Análise de variância para massa seca total, no cultivo em vasos de *Dendrocalamus asper*, aos 207 dias após plantio.

FV	G.L.	SQ	QM	F	p-valor
Bloco	4	121291,9364	30322,9841	3,3655	0,0125
Trat	25	293157,1429	11726,2857	1,3015	0,1803
Ca/Mg	4	92143,5770	23035,8942	2,5567	0,0433
Si	4	142782,5698	35695,6425	3,9618	0,0050
Ca/Mg*Si	16	53282,7833	3330,1740	0,3696	0,9865
Fatorial x Zn	1	4948,2128	4948,2128	0,5492	0,4604
Resíduo	100	900988,5073	9009,8851		
Total	129	1315437,5866			