

## ***Xylopi* *aromatica*: crescimento inicial e *status* nutricional de mudas em solo degradado condicionado com resíduos**

*Xylopi* *aromatica*: initial growth and nutritional status of seedlings in degraded soil conditioned with residues

*Xylopi* *aromatica*: crecimiento inicial y estado nutricional de las plántulas en suelos degradados acondicionados con residuos

Recebido: 28/03/2022 | Revisado: 05/04/2022 | Aceito: 08/05/2022 | Publicado: 13/05/2022

**Thaís Soto Boni**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7201-6122>  
Universidade Estadual Paulista, Brasil  
E-mail: [thais.boni@unesp.br](mailto:thais.boni@unesp.br)

**Jaquelyne Poliszuk de Azevedo**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3787-0360>  
Universidade Estadual Paulista, Brasil  
E-mail: [jaquelynepoliszuk@gmail.com](mailto:jaquelynepoliszuk@gmail.com)

**Angelica Oviedo Rodriguez**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3520-6992>  
Biopastos S. A. S, Colômbia  
E-mail: [angie.oviedo.r@gmail.com](mailto:angie.oviedo.r@gmail.com)

**Kátia Luciene Maltoni**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6619-4504>  
Universidade Estadual Paulista, Brasil  
E-mail: [katia.maltoni@unesp.br](mailto:katia.maltoni@unesp.br)

### **Resumo**

A revegetação de áreas degradadas, com comprometimento edáfico e ausência de vegetação, precisa ser precedida por ações que melhorem as características edáficas e assim dar condições ao pleno desenvolvimento das culturas. A espécie *Xylopi* *aromatica*, conhecida popularmente como pimenta-de-macaco ocorre no Cerrado e vem sendo utilizada na revegetação de áreas degradadas. Assim, o objetivo com esta pesquisa foi avaliar o crescimento inicial e o estado nutricional de mudas de *X. aromatica*, introduzidas em área em recuperação, condicionada com macrófitas aquáticas (RO) e cinza do bagaço da cana-de-açúcar (RA), e comparar a mudas da mesma espécie encontradas em Cerrado conservado (CER), para identificação do potencial da espécie na recuperação de áreas degradadas. O estudo foi conduzido em área de supressão da vegetação e dos horizontes superficiais (horizontes A e B) do solo. Na área experimental foram adicionados os resíduos RO e RA em diferentes doses. Mudas de 10 espécies arbóreas de cerrado foram introduzidas na área, entre elas, a *X. aromatica*. Transcorrido um ano, avaliou-se seu estado nutricional. As mudas na área em recuperação apresentaram teores foliares semelhantes aos das mudas do CER para K, Ca, Mg, B e Mn, e superior para Cu, Fe e Zn. O solo da área experimental apresentou semelhanças ao solo do CER, porém ainda demanda ajustes nos teores de P e matéria orgânica. O crescimento da *X. aromatica* apresentou melhor resposta no tratamento com 32 t ha<sup>-1</sup> de macrófitas e 30 t ha<sup>-1</sup> de cinza, doses indicadas para obtenção dos melhores resultados.

**Palavras-chave:** Cerrado; Macrófitas aquáticas; Cinza do bagaço da cana-de-açúcar; Pimenta de macaco.

### **Abstract**

The revegetation of degraded areas, with edaphic compromise and absence of vegetation, needs to be preceded by actions that improve the edaphic characteristics and thus provide conditions for the full development of crops. The species *Xylopi* *aromatica*, popularly known as pimenta-de-macaco, occurs in the Cerrado and has been used in the revegetation of degraded areas. Thus, the objective of this research was to evaluate the initial growth and nutritional status of *X. aromatica* seedlings introduced in an area under reclamation, conditioned with aquatic macrophytes (RO) and sugarcane bagasse ash (RA), and compare them to seedlings of the same species found in preserved Cerrado (CER). The study was conducted in an area where the vegetation and the superficial soil horizons (horizons A and B) were suppressed. In the experimental area, the residues RO and RA were added at different doses. Seedlings of 10 cerrado tree species were introduced into the area, among them *X. aromatica*. One year after, their nutritional status was evaluated. The seedlings in the recovering area showed leaf contents similar to those of the CER seedlings for K, Ca, Mg, B, and Mn, and higher for Cu, Fe, and Zn. The soil of the experimental area showed similarities to the soil of the

CER, but still requires adjustments in the levels of P and organic matter. The growth of *X. aromatica* showed better response in the treatment with 32 t ha<sup>-1</sup> of macrophytes and 30 t ha<sup>-1</sup> of ash, doses indicated to obtain the best results.

**Keywords:** Cerrado; Aquatic macrophytes; Sugarcane bagasse ash; Pimenta de macaco.

### Resumen

La revegetación de las áreas degradadas, con comprometimiento edáfico y ausencia de vegetación, necesita ser precedida por acciones que mejoren las características edáficas y así proporcionar condiciones para el pleno desarrollo de los cultivos. La especie *Xylopia aromatica*, conocida popularmente como pimienta de mono, está presente en el Cerrado y se ha utilizado en la revegetación de áreas degradadas. Así, el objetivo de esta investigación fue evaluar el crecimiento inicial y el estado nutricional de plántulas de *X. aromatica*, introducidas en un área en recuperación, acondicionadas con macrófitos acuáticos (RO) y cenizas de bagazo de caña de azúcar (RA), y compararlas con plántulas de la misma especie encontradas en el Cerrado preservado (CER). estudio se realizó en una zona en la que se suprimió la vegetación y los horizontes superficiales del suelo (horizontes A y B). En la área experimental se incorporaron los residuos RO y RA en diferentes dosis. Se introdujeron en la área plántulas de 10 especies de árboles de cerrado, entre ellas, *X. aromatica*. Al cabo de un año, se evaluó su estado nutricional. Las plántulas de la zona de recuperación presentaron contenidos foliares similares a los de las plántulas de CER para K, Ca, Mg, B y Mn, y superiores para Cu, Fe y Zn. El suelo de la área experimental mostró similitudes con del CER, pero aún requiere ajustes de P y materia orgánica. El crecimiento de *X. aromatica* mostró mejor respuesta en el tratamiento con 32 t ha<sup>-1</sup> de macrófitos y 30 t ha<sup>-1</sup> de cenizas, dosis indicadas para obtener los mejores resultados.

**Palabras clave:** Cerrado; Macrófitos acuáticos; Ceniza de bagazo de caña de azúcar; Pimienta de mono.

## 1. Introdução

O desmatamento do Cerrado em prol do uso agrosilvopastoril, da implantação de infraestruturas viárias, energéticas, da exploração mineral, entre outros se dá, muitas vezes, de forma desordenada e vem acontecendo desde a década de 60, deixando na paisagem as marcas da severa fragmentação do ecossistema e intensificando a necessidade de aprofundar os conhecimentos sobre o bioma e particularmente sobre espécies vegetais, para auxiliar no manejo e recuperação das áreas degradadas, devido às ações antrópicas (Fernandes & Pessôa, 2011; Sano, 2019).

No Cerrado, a indução da revegetação em áreas com subsolo exposto, conduzida com a introdução de espécies nativas, pode trazer vantagens, pois estas já estão adaptadas às condições ambientais e terão maior chance de sobrevivência (Mizobata et al., 2016; Thimoteo et al., 2016), além de contribuir para a retomada de alguns serviços ecossistêmicos (Brancaion et al., 2012; Tarrasón et al., 2016) como, ciclagem de nutrientes, conservação da estrutura e fertilidade do solo, disponibilidade de água (quantidade e qualidade), sequestro de carbono, manutenção da biodiversidade entre outros (Resende et al., 2021; Bustamante et al., 2019).

Para reintrodução da vegetação em solos de baixa fertilidade natural, em áreas submetidas a períodos secos prolongados no inverno e elevadas temperaturas ao longo do ano, é necessário melhorar o condicionamento do solo (Pedrol et al., 2010). O uso de resíduos como macrófitas aquáticas, removidas das unidades geradoras em Usinas Hidrelétricas (UHE), (Gunnarsson & Petersen, 2007; Boni et al., 2020; Fardin et al., 2021), e das cinzas, da queima do bagaço da cana-de-açúcar em caldeiras (Eggleston & Lima, 2015; Fardin et al., 2021), ambos podem ser adicionados ao solo como condicionantes (Boni et al., 2017; Fardin et al., 2021) contribuindo também para uma disposição planejada destes resíduos.

O sucesso dos estudos de revegetação depende, em muitas situações, do condicionamento edáfico do solo e da seleção de espécies adequadas às condições ambientais, uma vez que, o ambiente influencia a adaptação e a sobrevivência de mudas (Melotto et al., 2009; Almeida, 2016). Além da seleção das espécies, a qualidade das mudas também é importante e pode ser avaliada por meio de parâmetros morfológicos e fisiológicos, dentre estes o estado nutricional (Haase, 2008; Honorio et al., 2019).

A *Xylopia aromatica* (Lam.) Mart., espécie da família Annonaceae, conhecida popularmente como pimienta-de-macaco (Lorenzi, 2002), vem sendo utilizada na restauração ecológica de áreas degradadas no Cerrado (Socolowski et al., 2012; Bendito et al., 2018), por apresentar ampla distribuição no bioma, além de ser considerada uma espécie pioneira, embora presente

crescimento lento, produz grande quantidade de sementes e seus frutos são muito procurados pela avifauna, aspectos positivos no processo de recuperação de uma área onde a vegetação precisa ser reintroduzida (Durigan, 2004; Lorenzi, 2008; Bendito et al., 2018), esta espécie apresenta também potencial medicinal anitimicrobiano, antimalária e antitumoral (Garavito et al., 2006; Silva et al., 2015; Nascimento et al., 2018; Faria Gomes et al., 2021).

Para fins de cultivo e produção de mudas é importante saber que as anonáceas não demandam alta tecnologia e investimentos, pois se desenvolvem bem em solos profundos, com boa aeração e pH entre 6,0 e 6,5 (Rozane & Natale, 2014).

Em trabalho de restauração ecológica no Cerrado a *X. aromatica* foi introduzida, juntamente com outras 9 espécies, na revegetação de uma área cujo subsolo foi exposto à superfície, durante a construção da UHE de Ilha Solteira, na década de 1960. O material exposto, pobre em nutrientes, não apresenta condições edáficas propícias à regeneração natural do Cerrado, indicando a necessidade de ações antrópicas, como a introdução de mudas e o fornecimento de nutrientes para indução da revegetação e consequente recobrimento vegetal da superfície, para redução de processos erosivos (Rodrigues et al., 2007; Fardin et al., 2021).

Ações para revegetação desse subsolo exposto vêm sendo realizadas de forma empírica, o que gera demandas sobre a necessidade de fornecer nutrientes, sua adequação à espécie, entre outros. Com base no exposto, este estudo procurou avaliar o crescimento e o estado nutricional das mudas de *X. aromatica*, introduzidas em área degradada, sendo este último comparativamente à mudas e plantas adultas, da mesma espécie, encontradas em fragmentos de Cerrado conservado, bem como avaliar a fertilidade do subsolo, o qual foi condicionado com resíduos, para identificação do potencial da espécie para se desenvolver em áreas de baixa fertilidade e dos resíduos pra melhorar as condições edáficas do solo.

## 2. Metodologia

A área experimental situa-se no município de Selvíria (MS), à margem direita do Rio Paraná e a jusante da UHE de Ilha Solteira (coordenadas 20° 23' 02" S e 51° 24' 24" W Gr), a altitude média local é de 335 m, o clima foi classificado como Aw (clima tropical com estação seca no inverno e chuvosa no verão), segundo Köppen (Alvares et al., 2014), com temperatura e precipitação média anual de 23,7°C e 1.300 mm, respectivamente.

A área experimental foi delimitada dentro de uma área degradada devido à construção da UHE de Ilha Solteira (SP), ocorrida na década de 60, de onde foram removidos a vegetação (Cerrado) e horizontes do solo, deixando à superfície o subsolo, que permaneceu sem cobertura vegetal, devido à baixa resiliência do solo, e a intensidade do impacto. Esta área, descrita por Rodrigues et al. (2007), apresenta densidade média de 1,53 kg dm<sup>-3</sup>, baixa velocidade de infiltração de água no solo e alta resistência à penetração de raízes.

Em novembro de 2011, a área experimental - AEXP (3,4 ha) foi gradeada (grade pesada/0,40 m de profundidade) e escarificada (0,37 m de profundidade), para revolvimento da camada superficial. Resíduos orgânicos (RO) - macrófitas aquáticas (secas e fragmentadas) e agroindustrial (RA) - cinza da queima do bagaço da cana-de-açúcar (Tabela 1), foram distribuídos a lanço na AEXP, com aplicador de calcário, e incorporados ao solo degradado com grade média (0,30 m).

O RO foi coletado pela equipe da CESP (Companhia Energética de São Paulo) nas grades que ficam na entrada das unidades geradoras no lago da UHE de Jupiá, em Três Lagoas (MS) e tem em sua composição uma mistura de *Egeria densa* Planch., *Egeria najas* Planch., *Ceratophyllum demersum* L., *Eichhornia azurea* Kunth, *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms., *Pistia stratiotes* L. e *Typha latifolia* L. (Thomaz et al., 2008). Após retirado da água foi colocado em caminhões para transporte até o local do experimento.

**Tabela 1.** Caracterização química das macrófitas - resíduo orgânico (RO) e físico-química da cinza do bagaço da cana-de-açúcar – resíduo agroindustrial (RA).

Parâmetro	Resíduo Orgânico	Resíduo Agroindustrial
Carbono Orgânico (g kg <sup>-1</sup> )	290	570
Nitrogênio (g kg <sup>-1</sup> )	17,6	6,1
Relação C:N	16,5	93,4
Fósforo (g kg <sup>-1</sup> )	1,7	0,86
Potássio (g kg <sup>-1</sup> )	6,5	1,6
Cálcio (g kg <sup>-1</sup> )	11,6	5,3
Magnésio (g kg <sup>-1</sup> )	2,4	1,1
Enxofre (g kg <sup>-1</sup> )	6,7	0,24
Boro (mg kg <sup>-1</sup> )	27	<3,2 <sup>1</sup>
Cobre (mg kg <sup>-1</sup> )	57	21,1
Ferro (mg kg <sup>-1</sup> )	2000	1540
Manganês (mg kg <sup>-1</sup> )	194	182
Zinco (mg kg <sup>-1</sup> )	34	12,4

<sup>1</sup> Não quantificado, concentrações menores do que o limite de quantificação (3,2 mg kg<sup>-1</sup>). Fonte: Autores.

O RA foi coletado diretamente da caldeira da Usina Alcoolvale: Álcool e Açúcar S.A., em Aparecida do Taboado (MS), colocada em caminhões e transportada até o local do experimento. Tanto RA, quanto RO permaneceram expostos ao sol por 120 dias, para secagem. Além da secagem, RO passou por um processo de fragmentação para homogeneizar o tamanho dos fragmentos entre 10 e 50 mm, o que foi feito com picadeira de capim e, em seguida, ambos foram incorporados ao solo degradado.

As doses utilizadas de RO (00; 16 e 32 t ha<sup>-1</sup>) e RA (00; 15; 30 e 45 t ha<sup>-1</sup>) combinadas, produziram 12 tratamentos com 03 repetições, estabelecidos em 36 parcelas (20 x 30 m) na AEXP. A combinação das doses foram: RO00 + RA00; RO00 + RA15; RO00 + RA30; RO00 + RA45; RO16 + RA00; RO16 + RA15; RO16 + RA30; RO16 + RA45; RO32 + RA00; RO32 + RA15; RO32 + RA30; RO32 + RA45 em t ha<sup>-1</sup>, alocadas em campo em delineamento experimental em blocos casualizados, com RA sendo aplicado em faixas em um fatorial 3 x 4 (três doses de RO e quatro doses de RA), como descrito em Boni *et al.* (2020).

Em Fevereiro/2012 (estação chuvosa), mudas de *Xylopia aromatica* (Lam.) Mart. foram introduzidas na AEXP juntamente com mudas de outras 09 espécies arbóreas de Cerrado (*Anadenanthera falcata* Benth Speg. (Angico do Cerrado), *Psidium guineense* Swartz (Araçá do Campo), *Dipteryx alata* Vogel (Baru), *Mabea fistulifera* Mart (Canudo de Pito), *Astronium fraxinifolium* Schott (Gonçalo Alves), *Tabebuia caraiba* Mart. (Ipê Amarelo), *Hymenaea stigonocarpa* Mart. Ex Hayne (Jatobá do Cerrado), *Hancornia speciosa* Gom. (Mangaba), e *Acacia polyphylla* DC. (Monjoleiro)), com plantio conduzido em covas (0,40 m de profundidade), e espaçamento de 4,0 x 5,0 m, totalizando 1.080 mudas em 3,4 ha, com três indivíduos de cada espécie em cada uma das parcelas experimentais (Figura 1).

**Figura 1.** a) Área experimental antes das intervenções. b) Introdução dos resíduos. c) Plantio das mudas. d) *Xylopia aromatica* em campo aos 8 meses.



Fonte: Autores.

As mudas de *X. aromatica*, tinham entre 0,30 e 0,40 m de altura no plantio, e foram avaliadas a altura (distância entre o colo e a gema apical), o diâmetro do coleto, medido 5 cm acima do colo, com paquímetro digital (Carneiro, 1995), e o estado nutricional em Fevereiro/2013, 12 meses após a introdução das mudas na área experimental.

A partir da avaliação da altura (H) e do diâmetro do coleto (D) foram calculados os incrementos ocorridos, subtraindo da medida aos 12 meses, a medida inicial (plantio). As medidas iniciais (Fevereiro/2012) serviram de base para os cálculos do Incremento Periódico (IP), de acordo com a equação de Encinas *et al.* (2005):

$$IP=X_f-X_i$$

Equação 1

Onde: IP = Incremento Periódico,  $X_i$  = valor da altura ou diâmetro no plantio e  $X_f$  = valor da altura ou diâmetro ao final, 12 meses após inserção da muda em campo.

Para avaliação do estado nutricional das mudas introduzidas na AEXP foram determinados os teores foliares de N por digestão sulfúrica, B por digestão por via seca (incineração) e demais (P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn) por digestão nitro-perclórica, de acordo com metodologia proposta por Malavolta *et al.* (1997). Cada amostra foi composta de 3 subamostras, 3 mudas (cada parcela experimental tinha 3 mudas de *X. aromatica*, de cada uma foram retiradas 2 a 3 folhas para análise), esta coleta foi realizada no final de março de 2013. Para fins de comparação, os teores foliares citados foram também determinados em folhas de mudas e plantas adultas de *X. aromatica* coletadas em fragmento de Cerrado conservado (CER) localizado nas proximidades da AEXP. Neste, foram delimitadas 3 áreas, onde foram coletadas amostras de 3 mudas e de 3 plantas adultas, produzindo assim 9 amostras compostas para mudas e 9 amostras compostas para plantas adultas. A coleta de *X. aromatica* no CER foi conduzida no mês de Outubro/2013, período com mesma pluviosidade de março de 2013. Das mudas foram retiradas 2 a 3 folhas como na área experimental e nas árvores foram coletadas folhas no terço médio da copa.

O solo da AEXP e do Cerrado (CER) foram coletados e avaliados quanto à fertilidade (P, MO, pH,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ , H+Al,  $Al^{3+}$ , SB, CTC e V) segundo Raij *et al.* (2001). Na AEXP foram coletadas 36 amostras compostas (5 amostras simples/parcela) na camada de 0,0 a 0,20 m e no CER o solo foi coletado junto das mudas em campo, coletaram-se 9 amostras compostas (3 simples) por muda coletada, nas profundidades 0,0 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m.

Os dados obtidos foram avaliados por meio de análises de variância, seguida dos testes Scott-Knott ( $p < 0,05$ ) e Dunnett ( $p < 0,05$ ), para comparação das medidas e análise de regressão, utilizando-se o programa estatístico SAS (SAS Institute Inc., 2014).

### 3. Resultados

#### Status nutricional: mudas da AEXP e mudas de Cerrado conservado (MCC)

Transcorridos 12 meses do transplantio das mudas de *X. aromatica* na AEXP, estas apresentaram teores foliares semelhantes aos das mudas coletadas no CER para K, Ca, Mg, B e Mn, e teores inferiores para N e P (Tabela 2).

Quanto aos micronutrientes Cu, Fe e Zn, a *X. aromatica* apresentou alguns tratamentos da AEXP com concentrações foliares acima da média observada para as MCC (Tabela 2). Nos tratamentos realizados no solo da AEXP, onde RO não foi adicionado, as concentrações foliares de Fe foram elevadas. O Mn embora estatisticamente sem diferenças entre as áreas avaliadas, apresenta coeficiente de variação elevado (55%) e tendência numérica a menores concentrações foliares nas mudas da AEXP, variando entre 32,7 e 83,0 (média de 52,8), enquanto que as MCC apresentaram concentração média de Mn de 73,4  $mg\ kg^{-1}$  (Tabela 2).

**Tabela 2.** Teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn nas mudas de *Xylopia aromatica*, por tratamento (área experimental) e no Cerrado conservado (MCC), bem como valores de F e coeficiente de variação (CV).

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- (g kg <sup>-1</sup> ) -----					----- (mg kg <sup>-1</sup> ) -----				
MCC	22,0	1,6	7,5	5,1	1,7	38,2	7,9	228,9	73,4	19,1
RO00 + RA00	17,8 <sup>ns</sup>	0,9 <sup>***</sup>	6,6 <sup>ns</sup>	4,7 <sup>ns</sup>	2,0 <sup>ns</sup>	30,3 <sup>ns</sup>	22,3 <sup>ns</sup>	910,0 <sup>***</sup>	49,7 <sup>ns</sup>	22,3 <sup>ns</sup>
RO00 + RA15	13,3 <sup>***</sup>	0,5 <sup>***</sup>	5,3 <sup>ns</sup>	3,3 <sup>ns</sup>	1,7 <sup>ns</sup>	48,0 <sup>ns</sup>	23,0 <sup>ns</sup>	746,3 <sup>***</sup>	75,7 <sup>ns</sup>	153,7 <sup>***</sup>
RO00 + RA30	15,6 <sup>***</sup>	0,6 <sup>***</sup>	7,0 <sup>ns</sup>	3,8 <sup>ns</sup>	1,5 <sup>ns</sup>	53,3 <sup>ns</sup>	31,7 <sup>***</sup>	989,0 <sup>***</sup>	32,7 <sup>ns</sup>	40,7 <sup>ns</sup>
RO00 + RA45	15,5 <sup>***</sup>	0,6 <sup>***</sup>	9,2 <sup>ns</sup>	4,0 <sup>ns</sup>	1,3 <sup>ns</sup>	32,3 <sup>ns</sup>	8,0 <sup>ns</sup>	275,3 <sup>ns</sup>	57,3 <sup>ns</sup>	38,0 <sup>ns</sup>
RO16 + RA00	15,5 <sup>***</sup>	0,5 <sup>***</sup>	7,3 <sup>ns</sup>	4,6 <sup>ns</sup>	1,8 <sup>ns</sup>	44,3 <sup>ns</sup>	6,3 <sup>ns</sup>	393,3 <sup>ns</sup>	44,0 <sup>ns</sup>	30,7 <sup>ns</sup>
RO16 + RA15	16,3 <sup>***</sup>	0,6 <sup>***</sup>	7,3 <sup>ns</sup>	3,9 <sup>ns</sup>	1,6 <sup>ns</sup>	35,7 <sup>ns</sup>	16,3 <sup>ns</sup>	376,3 <sup>ns</sup>	55,3 <sup>ns</sup>	145,7 <sup>***</sup>
RO16 + RA30	17,5 <sup>ns</sup>	0,6 <sup>***</sup>	5,5 <sup>ns</sup>	3,8 <sup>ns</sup>	1,1 <sup>ns</sup>	39,3 <sup>ns</sup>	21,0 <sup>ns</sup>	365,0 <sup>ns</sup>	49,5 <sup>ns</sup>	70,5 <sup>***</sup>
RO16 + RA45	17,0 <sup>***</sup>	0,7 <sup>***</sup>	8,0 <sup>ns</sup>	4,0 <sup>ns</sup>	1,4 <sup>ns</sup>	41,6 <sup>ns</sup>	8,5 <sup>ns</sup>	295,5 <sup>ns</sup>	40,0 <sup>ns</sup>	42,0 <sup>ns</sup>
RO32 + RA00	14,3 <sup>***</sup>	0,6 <sup>***</sup>	5,3 <sup>ns</sup>	4,5 <sup>ns</sup>	2,0 <sup>ns</sup>	41,9 <sup>ns</sup>	19,7 <sup>ns</sup>	888,3 <sup>***</sup>	46,0 <sup>ns</sup>	25,7 <sup>ns</sup>
RO32 + RA15	14,1 <sup>***</sup>	0,6 <sup>***</sup>	7,3 <sup>ns</sup>	4,7 <sup>ns</sup>	1,5 <sup>ns</sup>	30,5 <sup>ns</sup>	6,7 <sup>ns</sup>	557,0 <sup>ns</sup>	83,0 <sup>ns</sup>	42,7 <sup>ns</sup>
RO32 + RA30	16,1 <sup>***</sup>	0,6 <sup>***</sup>	6,5 <sup>ns</sup>	4,4 <sup>ns</sup>	1,3 <sup>ns</sup>	28,9 <sup>ns</sup>	20,0 <sup>ns</sup>	269,7 <sup>ns</sup>	55,0 <sup>ns</sup>	150,3 <sup>***</sup>
RO32 + RA45	15,7 <sup>***</sup>	0,7 <sup>***</sup>	9,0 <sup>ns</sup>	3,1 <sup>ns</sup>	1,3 <sup>ns</sup>	31,0 <sup>ns</sup>	8,0 <sup>ns</sup>	169,0 <sup>ns</sup>	45,5 <sup>ns</sup>	45,0 <sup>ns</sup>
<b>p valor</b>	0,0001	0,0001	0,5656	0,1264	0,3419	0,9867	0,0391	0,0128	0,2614	0,0004
<b>Média Geral</b>	16,24	0,71	7,08	4,17	1,57	38,16	15,58	497,20	54,39	63,56
<b>CV (%)</b>	13	17	21	27	20	17	40	36	55	31

<sup>ns</sup>=valores não significativos; <sup>\*\*\*</sup>= diferença significativa entre as médias dos tratamentos e médias da testemunha (MCC) pelo teste de Dunnett para  $p \leq 0,05$ , respectivamente. RO = resíduo orgânico nas doses 0, 16 e 32 t ha<sup>-1</sup> (RO00, RO16 e RO32 respectivamente); RA = resíduo agroindustrial nas doses 0, 15, 30 e 45 t ha<sup>-1</sup> (RA00, RA15, RA30 e RA45 respectivamente); MCC = mudas coletadas no Cerrado. Fonte: Autores.

### Solo da área experimental e Solo coletado em cerrado conservado

Comparativamente o solo da área experimental (SAEXP) apresentou resultados semelhantes de pH, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, H+Al, B e de Mn com o solo coletado em cerrado conservado (SCC). Porém, com menores teores para P, MO, Al<sup>3+</sup>, Cu, Fe e Zn no SAEXP (Tabela 3).

Apenas o tratamento que recebeu 32 t ha<sup>-1</sup> de RO combinada a 45 t ha<sup>-1</sup> de RA, apresentou pH (4,9) estatisticamente superior ao encontrado no SCC (pH 4,3). Comportamento verificado também para outras variáveis como Ca<sup>2+</sup> e H+Al.

O condicionamento químico do SAEXP, ainda que incipiente para P, MO, Cu, Fe e Zn, não representou prejuízo à nutrição da planta, como no caso do Fe, em que alguns tratamentos mesmo com baixos teores no solo, apresentou concentração elevada na parte aérea das mudas (Tabelas 2 e 3).

### Planta adulta (PA) e mudas coletadas em Cerrado conservado (MCC)

A análise estatística descreveu semelhanças entre as concentrações foliares das MCC em relação às plantas adultas (PA), exceto para concentração de Mn, mais baixa nas MCC, com média 1,7 vezes menor (Tabela 4).

**Tabela 4.** Análise de variância das concentrações foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, valores de F e coeficientes de variação (CV) para mudas (MCC) e plantas adultas (PA) coletadas no Cerrado.

Tratamentos	N	P	----- (g kg <sup>-1</sup> ) -----				S	B	----- (mg kg <sup>-1</sup> ) -----			
			K	Ca	Mg				Cu	Fe	Mn	Zn
PA	20,7	1,5	6,4	6,3	1,6	2,0	42,6	6,9	213,7	120,3a	16,8	
MCC	22,0	1,6	7,5	4,6	1,7	2,0	34,4	7,9	194,2	67,3b	19,1	
Valor de F	2,459 <sup>ns</sup>	0,558 <sup>ns</sup>	2,043 <sup>ns</sup>	3,831 <sup>ns</sup>	0,374 <sup>ns</sup>	0,034 <sup>ns</sup>	1,911 <sup>ns</sup>	1,039 <sup>ns</sup>	0,268 <sup>ns</sup>	6,635*	3,630 <sup>ns</sup>	
CV (%)	9	19	25	35	24	24	33	29	40	47	15	

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, por variável, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott a 5%. <sup>ns</sup>=valores não significativos; \* = valores significativos para  $p \leq 0,05$ . Fonte: Autores.

#### Teores de nutrientes no solo e concentrações foliares

Da análise química do solo (Tabela 3) depreende-se que os teores de Ca encontrados em alguns dos tratamentos superam o Ca no SCC, mas isto não se reproduz nas concentrações foliares de Ca, que não diferem estatisticamente em relação às concentrações das MCC.

Os tratamentos estabelecidos na AEXP não influenciaram as concentrações foliares de Mg das mudas produzidas (1,1 a 2,0 g kg<sup>-1</sup>) e se mostram próximos aos teores encontrados nas mudas e plantas adultas coletadas em campo, 1,7 e 1,6 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 4). Tanto o solo amostrado no CER (SCC), como SAEXP, se mostraram semelhantes quanto aos teores de Mg, o que permite afirmar que a adição do condicionante orgânico selecionado (RO) não contribuiu para elevar os teores de Mg no solo, e pode estar relacionado às baixas concentrações foliares deste nas mudas produzidas, além do comportamento antagônico que pode envolver os nutrientes Mg, K e Ca. A análise química do SAEXP apresentou, em todos os tratamentos, teores de Fe cerca de 10 vezes menores que no SCC. Em contrapartida as concentrações de Fe foliar das mudas da AEXP foram significativamente maiores em relação a MCC na maioria dos tratamentos, sendo inferior apenas na combinação das doses máximas dos resíduos e em alguns tratamentos.

**Tabela 3.** Valores médios para P, MO, pH, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, H+Al, Al<sup>3+</sup>, B, Cu, Fe, Mn e Zn do solo, por tratamento de resíduos (área experimental) e em campo (remanescentes de Cerrado), bem como valores de F e coeficientes de variação (CV).

Tratamentos	P	MO	pH	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	H+Al	Al <sup>3+</sup>	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	(mg dm <sup>-3</sup> )	(g dm <sup>-3</sup> )	(CaCl <sub>2</sub> )		----- (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----					----- (mg dm <sup>-3</sup> ) -----			
SCC	1,6	16,6	4,3	0,7	5,4	3,8	32,3	8,3	0,12	1,4	37,5	5,8	0,32
RO00 + RA00	1,0***	8,0***	4,5 <sup>ns</sup>	0,3 <sup>ns</sup>	1,7 <sup>ns</sup>	1,0***	31,7 <sup>ns</sup>	5,0***	0,10 <sup>ns</sup>	0,6***	2,0***	7,9 <sup>ns</sup>	0,15***
RO00 + RA15	1,0***	8,3***	4,5 <sup>ns</sup>	0,7 <sup>ns</sup>	6,3 <sup>ns</sup>	2,3 <sup>ns</sup>	28,7 <sup>ns</sup>	4,0***	0,09 <sup>ns</sup>	0,5***	3,0***	7,6 <sup>ns</sup>	0,12***
RO00 + RA30	1,0***	9,3***	4,7 <sup>ns</sup>	0,7 <sup>ns</sup>	6,7 <sup>ns</sup>	2,3 <sup>ns</sup>	26,0 <sup>ns</sup>	2,3***	0,11 <sup>ns</sup>	0,6***	2,7***	9,1 <sup>ns</sup>	0,15***
RO00 + RA45	1,0***	8,7***	4,6 <sup>ns</sup>	0,8 <sup>ns</sup>	8,3 <sup>ns</sup>	2,7 <sup>ns</sup>	24,0 <sup>ns</sup>	2,0***	0,11 <sup>ns</sup>	0,5***	2,3***	7,5 <sup>ns</sup>	0,15***
RO16 + RA00	1,0***	9,3***	4,4 <sup>ns</sup>	0,4 <sup>ns</sup>	4,7 <sup>ns</sup>	2,7 <sup>ns</sup>	30,3 <sup>ns</sup>	6,7 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	0,6***	3,7***	11,3***	0,12***
RO16 + RA15	1,0***	9,0***	4,6 <sup>ns</sup>	0,7 <sup>ns</sup>	6,3 <sup>ns</sup>	2,3 <sup>ns</sup>	27,3 <sup>ns</sup>	3,0***	0,12 <sup>ns</sup>	0,6***	3,3***	8,0 <sup>ns</sup>	0,19***
RO16 + RA30	1,0***	9,0***	4,6 <sup>ns</sup>	0,8 <sup>ns</sup>	8,3 <sup>ns</sup>	2,7 <sup>ns</sup>	26,3 <sup>ns</sup>	1,7***	0,25 <sup>ns</sup>	0,5***	3,3***	9,4 <sup>ns</sup>	0,15***
RO16 + RA45	1,0***	8,0***	4,8 <sup>ns</sup>	0,9 <sup>ns</sup>	9,3 <sup>ns</sup>	3,3 <sup>ns</sup>	23,0 <sup>ns</sup>	1,3***	0,16 <sup>ns</sup>	0,5***	2,3***	7,9 <sup>ns</sup>	0,15***
RO32 + RA00	1,0***	8,3***	4,5 <sup>ns</sup>	0,7 <sup>ns</sup>	8,0 <sup>ns</sup>	2,0 <sup>ns</sup>	27,3 <sup>ns</sup>	3,3***	0,18 <sup>ns</sup>	0,5***	2,7***	7,9 <sup>ns</sup>	0,15***
RO32 + RA15	1,0***	9,3***	4,6 <sup>ns</sup>	0,9 <sup>ns</sup>	7,3 <sup>ns</sup>	2,7 <sup>ns</sup>	25,0 <sup>ns</sup>	2,7***	0,12 <sup>ns</sup>	0,6***	3,0***	8,3 <sup>ns</sup>	0,15***
RO32 + RA30	1,0***	9,3***	4,8 <sup>ns</sup>	0,9 <sup>ns</sup>	9,3 <sup>ns</sup>	3,7 <sup>ns</sup>	24,0 <sup>ns</sup>	2,0***	0,10 <sup>ns</sup>	0,5***	2,3***	8,2 <sup>ns</sup>	0,15***
RO32 + RA45	1,0***	8,0***	4,9***	1,1 <sup>ns</sup>	11,6***	3,6 <sup>ns</sup>	21,7***	0,7***	0,09 <sup>ns</sup>	0,5***	2,3***	6,8 <sup>ns</sup>	0,15***
<b>p valor</b>	0,0001	0,0001	0,0382	0,6565	0,2191	0,0384	0,0168	0,0001	0,7604	0,0001	0,0001	0,0203	0,0001
<b>Média Geral</b>	1,05	9,66	4,59	0,73	7,19	2,71	27,73	3,36	0,13	0,61	5,41	8,14	0,14
<b>CV (%)</b>	15	11	5	28	34	36	14	47	49	19	33	20	30

<sup>ns</sup>=valores não significativos; \*\*\*= diferença significativa entre as médias dos tratamentos e médias da testemunha (MCC) pelo teste de Dunnett para p ≤ 0,05, respectivamente. RO = resíduo orgânico nas doses 0, 16 e 32 t ha<sup>-1</sup> (RO00, RO16 e RO32 respectivamente); RA = resíduo agroindustrial nas doses 0, 15, 30 e 45 t ha<sup>-1</sup> (RA00, RA15, RA30 e RA45 respectivamente); SCC = solo coletadas no Cerrado. Fonte: Autores.

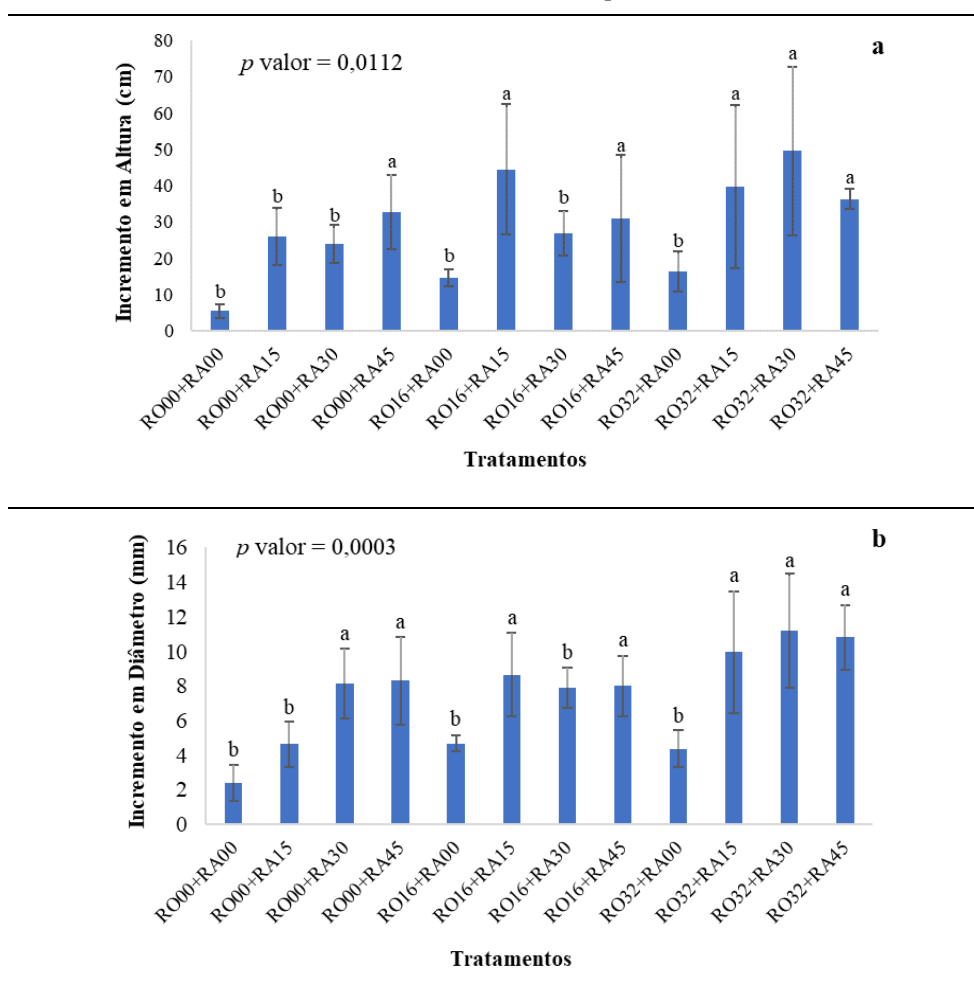


### Crescimento das plantas da área experimental

Os incrementos em altura e diâmetro das mudas na AEXP, avaliando os 12 meses iniciais das mudas em campo, permitiram destacar os tratamentos com doses mais elevadas e também combinadas dos resíduos (RO e RA) (Figura 2).

Para altura de planta, os incrementos variaram de 5,46 a 49,56 cm, sendo o menor valor obtido no tratamento sem adição de resíduos (RO00 + RA 00), e o maior valor, obtido na combinação RO32 + RA30 (Figura 2a). Enquanto para o diâmetro do caule, os incrementos variaram de 2,21 a 11,20 mm, destacando também o tratamento RO32 + RA30 (Figura 2b), onde ocorreu adição dos dois tipos de resíduos em doses próximas.

**Figura 2.** Incrementos médios em altura (a) e diâmetro (b) da *X. aromatica*, para cada tratamento após 12 meses do plantio das mudas na área experimental. RO = resíduo orgânico nas doses 0, 16 e 32 t ha<sup>-1</sup> (RO00, RO16 e RO32 respectivamente); RA = resíduo agroindustrial nas doses 0, 15, 30 e 45 t ha<sup>-1</sup> (RA00, RA15, RA30 e RA45 respectivamente).



Fonte: Autores.

### 4. Discussão

Áreas degradadas e de baixa fertilidade, proporcionam à vegetação menores teores de nutrientes prontamente disponíveis, dificultando seu estabelecimento nesses ambientes. No geral, as plantas nativas do Cerrado são tolerantes e, ou, estão adaptadas à solos ácidos e de baixa fertilidade (Haridasan, 2008), no entanto, muitos estudos evidenciam respostas positivas à adubação, principalmente de N e P (Scholz *et al.*, 2006; Calgaro *et al.*, 2008; Vieira *et al.*, 2011; Pinho *et al.*, 2019). Neste

estudo observam-se baixas concentrações foliares de N e P, condição atribuída às condições edáficas locais, isto é, baixos teores de N e P no solo, indicando necessidade de fornecimento destes.

Nitrogênio e fósforo são elementos essenciais, por serem constituintes de diversas biomoléculas importantes e essenciais para o crescimento das plantas (Rentsch *et al.*, 2007), sendo os dois elementos mais limitantes em relação à produtividade da vegetação (Krouk & Kiba, 2020). Duboc e Guerrini (2008), trabalhando com 9 espécies nativas de Cerrado, verificaram que 7 delas apresentaram teores foliares de P inferiores a 2,0 g kg<sup>-1</sup>. Haridasan (2005) apresentou dados de diversas espécies de ampla distribuição no cerrado, com concentrações foliares de P variando de 0,23 a 1,88 g kg<sup>-1</sup>. O autor cita, ainda, que as espécies mais abundantes, em solos distróficos, parecem ser menos exigentes em nutrientes por apresentarem menores concentrações foliares, dados que corroboram as observações deste estudo, levando a crer que a *X. aromatica* é pouco exigente em P.

A matéria orgânica do solo (MO) é tanto fonte quanto sumidouro de formas orgânicas de carbono (C) e dos principais nutrientes essenciais para as plantas, como N, P e S (Murphy, 2015). Contudo, a MO da área degradada em recuperação apresenta baixos teores e menores do que os evidenciados no SCC, mesmo após a adição dos resíduos, indicando reduzida mineralização e liberação de nutrientes para as plantas.

Haridasan (2005) relatou concentrações foliares de Ca variando entre 1,0 e 10,6 g kg<sup>-1</sup> para várias espécies arbóreas de cerrado, faixa em que se inserem os valores observados para a *X. aromatica*, indicando que os teores verificados no solo não foram limitantes, estando as mudas inseridas na AEXP adequadamente supridas de Ca. Os tratamentos estabelecidos não influenciaram as concentrações de Mg foliar das mudas inseridas na AEXP (1,1 a 2,0 g kg<sup>-1</sup>) e se mostraram próximos aos valores observados nas mudas e plantas adultas coletadas em campo, 1,7 e 1,6 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Quando analisamos os teores de Mg no solo, podemos notar que apenas o tratamento RO00+RA00 (1,0 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) difere do Mg em SCC (3,8 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), indicando que os condicionantes utilizados (RO e RA) elevaram os teores de Mg no SAEXP e equipararam aos teores encontrados no CER. No entanto, outros fatores interferem na absorção e concentração de Mg nas folhas, devido a competição antagônica com outros elementos (K e Ca) (Rhodes & 2018; Xie *et al.*, 2021) e a importância em processos fisiológicos como fotossíntese e ativador enzimático (Yan & Hou, 2018).

Nos trabalhos de Duboc e Guerrini (2008), Haridasan (2005) e Malavolta *et al.* (1997) encontram-se teores foliares de Mg variando de 1,5 a 3,0 g Kg<sup>-1</sup> (mudas de 12 meses), de 0,6 a 2,2 g Kg<sup>-1</sup> (plantas adultas) e de 1,5 a 5,0 g Kg<sup>-1</sup> (essências florestais adultas), respectivamente, sugerindo que estas plantas não necessitam de maiores suprimentos de Mg. Assim, pode-se inferir que as mudas introduzidas na AEXP apresentam concentração foliar de Mg em acordo com a literatura.

As plantas requerem micronutrientes em pequenas quantidades, no entanto, algumas absorvem grandes quantidades e não apresentam sintomas ou efeitos de toxicidade (Leite *et al.*, 2022). As mudas introduzidas na área experimental apresentaram concentrações maiores do que os níveis críticos descritos na literatura. Para Cu há indicações de ocorrência de toxicidade com concentração entre 20 e 30 mg kg<sup>-1</sup> e para o Zn entre 100 e 300 mg kg<sup>-1</sup> (Krämer, 2010), para Fe concentrações maiores do que 500 mg kg<sup>-1</sup> de biomassa seca (Marschner *et al.*, 2012). No entanto, há plantas que podem ser consideradas acumuladoras de Fe foliar, por exemplo, pois não apresentam sintomas de toxidez mesmo com concentrações foliares maiores do que 500 mg kg<sup>-1</sup>, a *X. aromatica* pode estar entre estas plantas acumuladoras de Fe, uma vez que em ao menos cinco dos tratamentos apresentou concentrações foliares maiores que 500 mg kg<sup>-1</sup>, chegando a 989 mg kg<sup>-1</sup> de biomassa sem apresentar sinais de toxicidade.

As elevadas concentrações de Fe observadas nas folhas corroboram com a literatura, indicando que de fato as folhas podem acumular e estocar o Fe, uma vez que o acúmulo de Fe nas folhas pode estar associado à fotossíntese, que requer elevadas quantidades de proteínas que contêm Fe e aos cloroplastos que armazenam 80% do Fe foliar (Briat *et al.*, 2006; López-Millán *et al.*, 2016).

Entre os micronutrientes apenas as concentrações foliares de Mn foram baixas em relação aos valores encontrados na literatura, onde comumente encontramos concentrações de Mn foliar em espécies nativas de Cerrado variando entre 50 (Souza-

Souto et al., 2007), 120 (Niedack *et al.*, 2021) e 300 mg kg<sup>-1</sup> (Schettini *et al.*, 2018), colocando boa parte das mudas de *X. aromatica* dentro do esperado, embora um pouco abaixo da concentração encontrada nas mudas avaliadas em campo.

Os resíduos introduzidos, macrófitas aquáticas e cinza do bagaço da cana-de-açúcar, são ricos em diversos nutrientes e podem ter contribuído para melhorar, ainda que em curto prazo, a fertilidade do solo, propiciando assim absorção de nutrientes pelas plantas (Hueso-González et al., 2018). A adição desses condicionantes também pode alterar o pH do solo, que por sua vez tem influência sobre os processos biogeoquímicos e sobre a disponibilização e/ou adsorção de nutrientes (Dai *et al.*, 2017).

Além da disponibilidade natural de nutrientes no solo, as plantas podem liberar carboidratos, aminoácidos, lipídios e vitaminas – exsudatos – através de suas raízes para estimular a atividade microbiana no solo rizosférico. As bactérias rizosféricas participam da ciclagem de nutrientes, especialmente nitrogênio, fósforo e micronutrientes como ferro, manganês, zinco e cobre, e assim podem determinar a disponibilidade destes para plantas e comunidade microbiana (Dotaniya & Meena, 2015).

Ao analisar as concentrações foliares entre plantas adultas e mudas no cerrado conservado, nota-se uma maior concentração de Mn foliar nas plantas adultas. Alguns estudos, com diversos grupos vegetais, indicam que a redistribuição de micronutrientes em plantas maduras é muito reduzida, principalmente para micronutrientes como o Mn e o Fe (Mendes *et al.*, 2012; Page & Feller, 2015), portanto os tecidos mais velhos apresentam maiores concentrações desses elementos.

Ao final de 12 meses em campo, os maiores incrementos em altura e diâmetro ocorreram no tratamento RO32+RA30, indicando que para o crescimento da planta a introdução de 32 t ha<sup>-1</sup> de resíduo orgânico (macrófitas aquáticas) combinada com 30 t ha<sup>-1</sup> de resíduo agroindustrial (cinza) forneceu nutrientes necessários ao crescimento inicial da *X. aromatica*, não necessitando utilizar maior quantidade de cinza, o que ficou claro quando se aplicou 45 t ha<sup>-1</sup> da cinza.

Venturoli *et al.*, (2013), consideraram satisfatórios os incrementos, para espécie típica de Cerrado sentido restrito, quando acima de 40% para altura de planta e de 25% para diâmetro de caule, neste estudo, o diâmetro apresentou incrementos satisfatórios em todos os tratamentos, de 3,2 mm (35%) a 22,1 mm (82%), enquanto os incrementos em altura foram variáveis e nem sempre atingiram os 40% indicados.

## 5. Conclusão

As mudas de *Xylopia aromatica* na área degradada em recuperação apresentaram um bom status nutricional comparativamente às mudas em Cerrado conservado, necessitando apenas de fornecimento de N e P.

A *Xylopia aromatica* apresentou tolerância à altas concentrações de Fe foliar, sendo indicada para projetos de recuperação de solos degradados, podendo ser útil na recuperação de áreas contaminadas com ferro ou exibindo elevados teores do elemento.

A introdução dos resíduos, macrófitas aquáticas e cinza do bagaço da cana-de-açúcar, promoveram efeitos benéficos ao processo de recuperação e ao crescimento inicial das mudas de *X. aromatica*, sendo indicada a dose de 32 t ha<sup>-1</sup> de resíduo orgânico (macrófitas) e 30 t ha<sup>-1</sup> de resíduo agroindustrial (cinza) para obtenção de melhores resultados.

## Agradecimentos

À Faculdade de Engenharia, UNESP/Campus de Ilha Solteira e a equipe do Laboratório de Pedologia, pelo apoio no desenvolvimento desse trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo auxílio financeiro e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Capes, pela bolsa concedida ao primeiro autor.

## Referências

- Almeida, D. S. (2016). *Modelos de recuperação ambiental*. In: Recuperação ambiental da Mata Atlântica. (3rd ed.) (pp. 100-137). Editus,
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M. & Sparovek, G. (2014). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift, Stuttgart*, 22 (6), 711-728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Bendito, B. P. C., de Souza, P. A., Souza Ferreira, R. Q. de, Bonfim, J., & Souza, C. P. B. de (2018). Espécies do cerrado com potencial para recuperação de áreas degradadas, Gurupi (TO). *Revista Agrogeoambiental*, 10 (2), 99-110. <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v10n220181117>
- Boni, T. S., Maltoni, K. L., Mizobata, K. K. G. S. (2020). *Dipteryx alata* seedlings nutritional status in a recovery area in the Brazilian savannah. *Floresta Ambiente*, 27 (2), e20180125. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.012518>
- Boni, T. S., Mizobata, K. K. G. da S., Silva, M. S. C., Monteiro, L. N. H., Barbieri, R. S., Maltoni, K. L. & Teixeira Filho, M. C. M. (2017). Chemical soil attributes of Cerrado areas under different recovery managements or conservation levels. *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 9 (5), 115-121. <https://doi.org/10.5897/IJBC2016.1065>
- Brancalion, P. H. S., Viani, R. A. G., Rodrigues, R. R., & Gandolfi, S. (2012). *Avaliação e monitoramento de áreas em processo de restauração*. Restauração ecológica de ecossistemas degradados.
- Briat, J. F., Cellier, F. & Gaymard, F. (2006). Ferritins and iron accumulation in plant tissues. In *Iron nutrition in plants and rhizospheric microorganisms*. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/1-4020-4743-6\\_17](https://doi.org/10.1007/1-4020-4743-6_17)
- Bustamante, M. M. C. et al. (2019). Capítulo 3: Tendências e impactos dos vetores de degradação e restauração da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos. In: Joly C. A., Scarano F. R., Seixas C. S., Metzger J. P., Ometto J. P., Bustamante M. M. C., Padgurschi M. C. G., Pires A. P. F., Castro P. F. D., Gadda T., Toledo P. (Eds.). 1º Diagnóstico Brasileiro de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos. (pp. 93-213). Editora Cubo.
- Calgaro, H. F., Valério Filho, W. V., Aquino, S. D. S., Maltoni, K. L. & Cassiolato, A. M. R. (2008). Adubação química e orgânica na recuperação da fertilidade de subsolo degradado e na micorrização do *Stryphnodendron polyphyllum*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32 (3), 1337-1347. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000300041>
- Carneiro, J. G. A. (1995). *Produção E Controle De Qualidade De Mudas Florais*. UFPR/FUPEF.
- Dai, Z., Zhang, X., Tang, C., Muhammad, N., Wu, J., Brookes, P. C. & Xu, J. (2017). Potential role of biochars in decreasing soil acidification-a critical review. *Science of the Total Environment*, 581, 601-611. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.169>
- Dotaniya, M. L. & Meena, V. D. (2015) Rhizosphere effect on nutrient availability in soil and its uptake by plants: a review. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 85(1), 1-12. <https://doi.org/10.1007/s40011-013-0297-0>
- Duboc, E. D. & Guerrini, I. A. (2008). Concentração foliar de espécies arbóreas nativas do Cerrado sob adubação com nitrogênio e fósforo. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados.
- Durigan, G. (2004). Plantas do cerrado paulista: imagens de uma paisagem ameaçada. Páginas & Letras Editora e Gráfica.
- Eggleston, G. & Lima I. (2015) Sustainability issues and opportunities in the sugars and sugar-bioproduct industries. *Sustainability*, 7, 12209–12235. <https://doi.org/10.3390/su70912209>
- Encinas, J. I., Silva, G. F. & Pinto, J. R. R. (2005). *Idade e crescimento das árvores*. UnB.
- Faria Gomes, I. N., Gabriela Silva, A., de Frazao Lima, G. F., Ribeiro Longatti, T., Fernandes Do Carmo, L., Ferreira Perez Villar, J. A., Araujo, A. A. da C., Tome, R. G., Santos, H. B. dos, & De Azambuja Ribeiro, R. I. M. (2021) Alkaloid and phenolic compounds of *Xylopiaromatica* inhibits tumor growth by down-regulating matrix metalloproteinase-2 (MMP-2) expression. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*, 34 (2), 509 – 606. [doi.org/10.36721/PJPS.2021.34.2.REG.599-606.1](https://doi.org/10.36721/PJPS.2021.34.2.REG.599-606.1)
- Fernandes, P. A. & Pessôa, V. L. S. (2011). O Cerrado e suas atividades impactantes: uma leitura sobre o garimpo, a mineração e a agricultura mecanizada. *OBSERVATORIUM: Revista Eletrônica de Geografia*, 3(7), 19-37.
- Garavito, G., Rincón, J., Arteaga, L., Hata, Y., Bourdy, G., Gimenez, A., Pinzón, R. & Deharo, E. (2006). Antimalarial activity of some Colombian medicinal plants. *Journal of Ethnopharmacology*, 107(3), 460-462. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2006.03.033>
- Gunnarsson, C. C. & Petersen, C. M. (2007). Water hyacinths as a resource in agriculture and energy production: A literature review. *Waste Management*, 27, 117-29.
- Haase, D. L. (2008). Understanding forest seedling quality: measurements and interpretation. *Tree Planters' Notes*, 52(2), 24-30.
- Haridasan, M. (2005). *Competição por nutrientes em espécies arbóreas do cerrado*. Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação. Ministério do Meio Ambiente, 167-178.
- Haridasan, M. (2008) Nutritional adaptations of native plants of the cerrado biome in acid soils. *Brazilian Journal Plant Physiology*, 20, 183-195. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202008000300003>
- Hueso-González, P., Muñoz-Rojas, M. & Martínez-Murillo, J. F. (2018). The role of organic amendments in drylands restoration. *Current Opinion Environmental Science Health*, 5, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2017.12.002>
- Krämer, U. (2010). *Metal hyperaccumulation in plants*. *Annual review of plant biology*, 61, 517-534. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112156>

- Krouk, G. & Kiba, T. (2020). Nitrogen and phosphorus interactions in plants: from agronomic to physiological and molecular insights. *Current Opinion in Plant Biology*, 57, 104-109. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2020.07.002>
- Leite, M. C. M., Araujo, M. A. de, Paiva, W. da S. de, Camargos, L. S., & Martins, A. R. (2021). Morphological responses and tolerance of a tree native to the Brazilian Cerrado *Astronium fraxinifolium* Schott to boron toxicity. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 6900–6910. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15710-8>
- López-Millán, A. F., Duy, D., & Philippar, K. (2016). Chloroplast iron transport proteins—function and impact on plant physiology. *Frontiers in Plant Science*, 7, 178. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00178>
- Lorenzi, H. (2002). *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil*. Plantarum.
- Lorenzi, H. (2008). *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. (5a ed.), Instituto Plantarum.
- Malavolta, E., Vitti, G. C. & Oliveira, S. A. de (1997). *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. (2a ed.), Potafós.
- Marschner, P. & Rengel, Z. (2012). Nutrient availability in soils. In Marschner's mineral nutrition of higher plants, 315-330. *Academic Press*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00012-1>
- Melotto, A., Nicodemo, M. L., Bocchese, R. A., Laura, V. A., Gontijo Neto, M. M., Schleder, D. D., Pott, A. & Silva, V. P. D. (2009). Sobrevivência e crescimento inicial em campo de espécies florestais nativas do Brasil Central indicadas para sistemas silvipastoris. *Revista Árvore*, 33, 425-432. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622009000300004>
- Mendes, A. D. R., Oliveira, L. E. M. D., Nascimento, M. N. D., Reis, K. L. & Bonome, L. T. D. S. (2012). Concentração e redistribuição de nutrientes minerais nos diferentes estádios foliares de seringueira. *Acta amazônica*, 42(4), 525-532.
- Mizobata, K. K., Santos, C. M., Maltoni, K. L., Faria, G. A. & Cassiolato, A. M. (2016). Crescimento de *Hymenaea stigonocarpa* em função da adição de resíduos em solo degradado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20, 223-229. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n3p223-229>
- Murphy, B. W. (2015). Impact of soil organic matter on soil properties—a review with emphasis on Australian soils. *Soil Research*, 53(6), 605-635. <https://doi.org/10.1071/SR14246>
- Nascimento, M. N. G., Junqueira, J. G. M., Terezan, A. P., Severino, R. P., Souza Silva, T., Martins, C. H. G., & Severino, V. G. (2018) Chemical composition and antimicrobial activity of essential oils from *Xylopia aromatica* (Annonaceae) flowers and leaves. *Rev. Virtual Quim*, 10, 1578-1590.
- Niedack, L. O. C., da Silva de Souza, L. G., de Oliveira Alves, L. E., & Damiani, C. R. (2021). Baru (*Dipteryx alata* Vogel), a woody species characteristic of Cerrado and its phytoremediation potential. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(41), 57798-57806. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14708-6>
- Page, V. & Feller, U. (2015). Heavy metals in crop plants: transport and redistribution processes on the whole plant level. *Agronomy*, 5(3), 447-463. <https://doi.org/10.3390/agronomy5030447>
- Pedrol, N., Puig, C. G., Souza, P., Forján, R., Vega, F. A., Asensio, V., González, L., Cerqueira, B., Covelo, E. F. & Andrade, L. (2010). Soil fertility and spontaneous revegetation in lignite spoil banks under different amendments. *Soil and Tillage Research*, 110(1), 134-142. <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.07.005>
- Pinho, E. K. C., Costa, A. C., Vilar, C. C., Souza, M. E. D., Silva, A. B. V. & Oliveira, C. H. G. D. (2019). Phosphate and nitrogen fertilization in the production of Barueiro (*Dipteryx alata* Vog.) seedlings. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 41. <https://doi.org/10.1590/0100-29452019008>
- Raij, B., Andrade, J. C. de, Cantarella, H. & Quaggio, J. A. (2001). *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agronômico.
- Rentsch, D., Schmidt, S. & Tegeder, M. (2007). Transporters for uptake and allocation of organic nitrogen compounds in plants. *FEBS letters*, 581(12), 2281-2289. <https://doi.org/10.1016/j.febslet.2007.04.013>
- Resende, F. M.; Cimon-Morin, J.; Poulin, M.; Meyer, L.; Joner, D. C. & Loyola, R. (2021) The importance of protected areas and Indigenous lands in securing ecosystem services and biodiversity in the Cerrado, *Ecosystem Services*, 49, 101282. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101282>.
- Rhodes, R., Miles, N., & Hughes, J. C. (2018). Interactions between potassium, calcium and magnesium in sugarcane grown on two contrasting soils in South Africa. *Field Crops Research*, 223, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.01.001>
- Rodrigues, G. B., Maltoni, K. L. & Cassiolato, A. M. R. (2007). Dinâmica da regeneração do subsolo de áreas degradadas dentro do bioma Cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 11(1), 73-80. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000100010>
- Rozane, D. E. & Natale, W. (2014). Calagem, adubação e nutrição mineral de Anonáceas. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36, 166-175. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452014000500020>
- Sano, E. E. (2019). Bioma Cerrado: agricultura no Cerrado brasileiro, histórico e desafios da agricultura ambientalmente sustentável. In: Vilela, E. F., Callegaro, G. M., Fernandes, G. W. (Eds.) *Biomas e agricultura: oportunidades e desafios* (pp. 55-63). Rio de Janeiro: Vertentes Edições.
- Schettini, A. T., Leite, M. G., Messias, M. C. T., Gauthier, A., Li, H. & Kozovits, A. R. (2018). Exploring Al, Mn and Fe phytoextraction in 27 ferruginous rocky outcrops plant species. *Flora*, 238, 175-182. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2017.05.004>
- Scholz, F. G., Bucci, S. J., Goldstein, G., Meinzer, F. C., Franco, A. C. & Miralles-Wilhelm, F. (2007). Removal of nutrient limitations by long-term fertilization decreases nocturnal water loss in savanna trees. *Tree Physiology*, 27(4), 551-559. <https://doi.org/10.1093/treephys/27.4.551>

- Silva, L. E., Reis, R. A., Moura, E. A., Amaral, W., & Sousa Jr, P. T. (2015). Plantas do Gênero *Xylopia*: Composição Química e Potencial Farmacológico. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, 17 (4), 814-826. [https://doi.org/10.1590/1983-084X/14\\_076](https://doi.org/10.1590/1983-084X/14_076)
- Socolowski, F., Cicero, S. M. & Vieira, D. C. M. (2012). Viability of recently harvested and stored *Xylopia aromatica* (Lam.) Mart.(Annonaceae) seeds. *Revista Brasileira de Sementes*, 34(3), 408-415. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222012000300007>
- Sousa-Souto, L., Schoederer, J. H. & Schaefer, C. E. (2007). Leaf-cutting ants, seasonal burning and nutrient distribution in Cerrado vegetation. *Austral Ecology*, 32(7), 758-765. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2007.01756.x>
- SAS Institute Inc. (2014). SAS® OnDemand for Academics: User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Tarrasón, D., Ravera, F., Reed, M. S., Dougill, A. J. & Gonzalez, L. (2016). Land degradation assessment through an ecosystem services lens: Integrating knowledge and methods in pastoral semi-arid systems. *Journal of Arid Environments*, 124, 205-213. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.08.002>
- Thomaz, S. M., Esteves, F. A., Murphy, K. J., Santos, A. M., Caliman, A. & Guariento, R. D. (2009). Aquatic macrophytes in the tropics: ecology of populations and communities, impacts of invasions and human use. *Tropical Biology and Conservation Management*, 4, 27-60.
- Timotheo, G.; Molina, D.; Campos, M.; Benini, R.; Padovezi, A. *Descrição das possíveis situações que deverão ser alvo de restauração da vegetação nativa na região do Alto Teles Pires, MT*. In: Timotheo, G.; Molina, D.; Campos, M.; Benini, R.; Padovezi, A. (Eds.) Manual de Restauração da vegetação nativa, Alto Teles Pires – MT. 2016 (pp. 32-65).
- Venturoli, F., Venturoli, S., Borges, J. D., Castro, D. S., Souza, D. D. M., Monteiro, M. M. & Calil, F. N. (2013). Incremento de espécies arbóreas em plantio de recuperação de área degradada em solo de cerrado no Distrito Federal. *Biosci. J.* (Online), 29(1), 143-151.
- Vieira, M. C., Perez, V. B., Heredia, Z. N., Santos, M. C., Pelloso, I. A. D. O. & Pessoa, S. M. (2011). Nitrogênio e fósforo no desenvolvimento inicial da guavira [*Campomanesia adamantium* (Cambess.) O. Berg] cultivada em vasos. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, 13, 542-549. <https://doi.org/10.1590/S1516-05722011000500007>
- Xie, K., Cakmak, I., Wang, S., Zhang, F., & Guo, S. (2021). Synergistic and antagonistic interactions between potassium and magnesium in higher plants. *The Crop Journal*, 9 (2), 249-256. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2020.10.005>
- Yan, B., & Hou, Y. (2018). Effect of soil magnesium on plants: a review. *Earth and Environmental Science*, 170 (2), 022168.