

PRODUÇÃO TÉCNICA ITV DS

CRESCIMENTO DE *ISOETES CANGAE* EM SUBSTRATOS ORIUNDOS DE LAGOS DE CARAJÁS

Biologia e Propagação de *Isoetes*

Keyvilla da Costa Aguiar
Cinthia Bandeira Abranches
Silvio Junio Ramos
Markus Gastauer
Cecilio Frois Caldeira

Belém / PA
Agosto / 2020

Título: Crescimento de <i>Isoetes Cangae</i> em substratos oriundos de lagos de Carajás: Biologia e Propagação de <i>Isoetes</i>	
PROD. TEC. ITV DS – N032/2020	Revisão
Classificação: () Confidencial () Restrita () Uso Interno (X) Pública	00

Informações Confidenciais - Informações estratégicas para o Instituto e sua Mantenedora. Seu manuseio é restrito a usuários previamente autorizados pelo Gestor da Informação.

Informações Restritas - Informação cujo conhecimento, manuseio e controle de acesso devem estar limitados a um grupo restrito de empregados que necessitam utilizá-la para exercer suas atividades profissionais.

Informações de Uso Interno - São informações destinadas à utilização interna por empregados e prestadores de serviço

Informações Públicas - Informações que podem ser distribuídas ao público externo, o que, usualmente, é feito através dos canais corporativos apropriados.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A282 Aguiar, Keyvilla da Costa.
Crescimento de *Isoetes Cangae* em substratos oriundos de lagos de Carajás: biologia e propagação de isoetes. / Keyvilla da Costa Aguiar, Cinthia Bandeira Abranches, Silvio Junio Ramos, Markus Gastauer, Cecilio Frois Caldeira - Belém: ITV, 2020.
25 p. : il.

Relatório Técnico (Instituto Tecnológico Vale) – 2020
PROD.TEC.ITV.DS.N032/2020
DOI 10.29223/PROD.TEC.ITV.DS.2020.32.Aguiar

1. Recuperação - Estratégias - Amazônia. 2. Plantas aquáticas - Amazônia. 3. Botânica – Serra dos Carajás (PA). I. Abranches, Cinthia Bandeira. II. Ramos, Silvio Junio. III. Gastauer, Markus. IV. Caldeira, Cecilio Frois. V. Título

CDD 23. ed. 622.752098115

Bibliotecária responsável: Nisa Gonçalves / CRB 2 – 525

RESUMO EXECUTIVO

O gênero *Isoetes* L. possui espécies que ocorrem nos mais diversos ambientes do mundo, mas muitas destas espécies estão ameaçadas de extinção devido alterações em seu *habitat* natural. *Isoetes cangae* foi descrita com uma única população totalmente submersa em um lago permanente e ultra (oligotrófico) na Serra de Carajas. Juntamente ao potencial de alteração de seu habitat, estas características levaram a espécie ser classificadas como criticamente ameaçada (CR). Portanto, este estudo objetivou avaliar o potencial de desenvolvimento de *I. cangae* em substratos de diferentes lagos de Carajás, o que poderá servir para guiar estratégias de conservação que visam ampliar a área de ocorrência desta espécie. Para tanto, plantas jovens de *I. cangae* foram cultivadas em substratos oriundos de lagos de Carajás, sendo um temporário (corpo de canga N6 – Serra Norte) e um permanente (TI3, parte do complexo de lagos Três Irmãs da Serra Sul). O substrato orgânico comercial Jiffy-7® que foi utilizado como controle. As plantas foram mantidas submersas, em potes de 2 litros em condições controladas em câmara de crescimento. Após nove meses de cultivo observamos que todas as plantas cresceram e completaram o ciclo reprodutivo, marcado pelo desenvolvimento de esporângios na base das folhas mais externas. Segundo análises de fluorescência da clorofila 'a', todas as plantas apresentaram valores que apontam para boa eficiência quântica, sem sinais de estresses. Valores mais altos foram observados para plantas cultivadas nos substratos oriundos dos lagos de Carajás. No entanto, os melhores resultados de crescimento (citar aqui) e produção de estruturas reprodutivas foram obtidos em plantas cultivadas no substrato do lago temporário de N6. Estes resultados reforçam o potencial de *I. cangae* poder se adaptar a outros ambientes além do lago Amendoim. No entanto, como este estudo foi realizado com plantas submersas, ensaios de tolerância a redução do nível de água são ainda necessários.

Palavras-chave: Plantas aquáticas. Crescimento vegetal. Canga. Carajás.

ABSTRACT

The genus *Isoetes* L. has species that occur in the most diverse environments around the world, but many of these species are threatened with extinction changes in their natural habitat. *Isoetes cangae* was described with a single population totally submerged in a permanent and ultra (oligotrophic) lake in the Serra de Carajas. Together with the potential for altering its habitat, these characteristics led the species to be classified as critically endangered (CR). Therefore, this study aimed to evaluate the development potential of *I. cangae* in substrates of different lakes of Carajás, which may serve to guide conservation strategies that aim to expand the area of occurrence of this species. For this purpose, young plants of *I. cangae* were grown on substrates from the lakes of Carajás, being a temporary plant (canga body N6 - Serra Norte) and a permanent plant (TI3, part of the Três Irmãs da Serra Sul lake complex). The commercial organic substrate Jiffy-7® that was used as a control. The plants were kept submerged, in 2 liter pots under controlled conditions in a growth chamber. After nine months of cultivation, we observed that all plants grew and completed the reproductive cycle, marked by the development of sporangia at the base of the outermost leaves. According to chlorophyll 'a' fluorescence analyzes, all plants showed values that point to good quantum efficiency, with no signs of stress. Higher values were observed for plants grown on substrates from the lakes of Carajás. However, the best results of growth (quote here) and production of reproductive structures were obtained in plants grown on the substrate of the temporary N6 pond. These results reinforce the potential of *I. cangae* to be able to adapt to environments other than Lake Peanut. However, as this study was carried out with submerged plants, tolerance tests to reduce the water level are still necessary.

Keywords: Aquatic plants. Plant growth. Canga. Carajás.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Tabela 1 – Caracterização química e física dos substratos utilizados no estudo, sendo Jiffy-7® um substrato orgânico comercial (controle), TI3 proveniente do lago permanente TI3 pertencente ao complexo de lagoas Três Irmãs (Serra Sul), e N6 proveniente de um lago temporário (Serra Norte)11

Figura 1 – (A) Plantas de *Isoetes cangae* cultivadas por nove meses nos substratos Jiffy-7® e sedimentos do lago TI3 (complexo dos lagos Três Irmãs) e do lago do corpo de canga N6, (B) Número de folhas e de (C) esporângios produzidos por planta. As barras representam a média±desvio padrão, enquanto letras diferentes sobre as barras representam diferenças significativas entre as medias após o teste post-hoc de Tukey HSD a $P<0.05$ 14

Figura 2 – (A) Área foliar, (B) área radicular e (C) razão raiz: parte aérea por planta de *Isoetes cangae* cultivadas por nove meses nos substratos Jiffy-7® e sedimentos do lago TI3 (complexo dos lagos Três Irmãs) e do lago do corpo de canga N6. As barras representam a média±desvio padrão, enquanto letras diferentes sobre as barras representam diferenças significativas entre as medias após o teste post-hoc de Tukey HSD a $P<0.05$15

Figura 3 – (A) Rendimento quântico da fluorescência de *Isoetes cangae*, cultivadas no (B) substrato Jiffy-7®, (C) sedimento do lago TI3, (D) sedimento do lago N6. As barras representam a média±desvio padrão, enquanto letras diferentes sobre as barras16

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	08
1.1	OBJETIVOS.....	10
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	10
2.1	SUBSTRATOS.....	10
2.2	MATERIAL VEGETAL.....	11
2.3	VARIÁVEIS ANALISADAS.....	12
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	12
4	CONCLUSÃO.....	17
	REFERÊNCIAS.....	18

1 INTRODUÇÃO

O gênero *Isoetes* L. compreende aproximadamente 250 espécies descritas (TROIA *et al.*, 2016), mas a estimativa é de que existam até 350 espécies (HICKEY; MACLUF; TAYLOR, 2003). Este gênero agrupa plantas que têm ocorrência em lagos, lagoas, córregos, estuários, pântanos, solos terrestres ou parcialmente inundados (TAYLOR; HICKEY, 1992), perpassando por *habitats* totalmente submersos, semi-aquáticos e terrestres distribuídos amplamente por quase todos os continentes (TROIA *et al.*, 2016). *Isoetes* L. possui também um elevado número de espécies ameaçadas devido a alterações em seu *habitat*. Reduções em populações naturais têm sido observadas como consequência de: i) a acidificação dos lagos pela poluição industrial do ar que afetou as populações de *Isoetes lacustres* e *Isoetes eschinospora* Durieu na República Tcheca (VRBA *et al.*, 2003) e na Holanda (ARTS *et al.*, 1990); ii) intensificação do uso da terra (agricultura) e invasão de espécies exóticas que afetaram as populações de *Isoetes coreana* Chung e Choi (LEE *et al.*, 2005; KIM; NA; CHOI, 2008) na região da Coreia do Sul; iii) poluição e eutrofização da água nas regiões de ocorrência das populações de *Isoetes hypsophilia* Hand.-Mazz, *Isoetes sinensis* Palmer, *Isoetes yunguiensis* e *Isoetes taiwanensis* (LIU *et al.*, 2005); iv) ampliação do cultivo de arroz e consequente utilização de fertilizantes em áreas de ocupação das populações de *Isoetes malinverniana* Ces. *et* De Not, bem como a remodelagem mecânica dos canais fluviais na região (BARNI *et al.*, 2010); v) além de outras espécies, como *Isoetes cangae* J.B.S. Pereira, Salino & Stutzel, a qual possui distribuição muito restrita em área que recebe significativa alteração ambiental (PEREIRA *et al.*, 2016, SOUZA-FILHO *et al.*, 2016).

Uma única população de *Isoetes cangae* foi encontrada submersa no lago Amendoim da Serra Sul de Carajás (PEREIRA *et al.*, 2016). Este lago é perene, (ultra) oligotrófico, com sistema fechado de captação de água sobre a crosta laterítica coberta por uma vegetação típica dos campos rupestres ferruginosos. A região é palco de intensas transformações como a conversão da floresta em pastagens para pecuária, levando a alterações no ciclo hidroclimático da bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas (na qual está inserida as Serras de Carajás) (SOUZA-FILHO *et al.*, 2016). Juntamente com a expansão das atividades de mineração na região, estas mudanças podem levar a deterioração da qualidade do *habitat* desta espécie (PEREIRA *et al.*, 2016), a qual já figura na lista da *International Union for Conservation of Nature* - IUCN como uma espécie criticamente ameaçada de extinção (LANSDOWN, 2019).

Uma série de estudos têm sido realizados visando a conservação de *I. cangae*, os quais incluem: i) revisão detalhada com a caracterização morfológica e genética de *I. cangae* e *Isoetes serracarajensis* J.B.S. Pereira, Salino & Stutzel, também endêmica das cangas de Carajás, porém com populações em diferentes corpos de canga (Serra Norte, Serra da Bocaina, Serra do Tarzan e Serra Sul) (PEREIRA *et al.* 2016; NUNES *et al.*, 2018); ii) o desenvolvimento de protocolos de propagação e cultivo *in vitro* de *I. cangae* com alto rendimento, ou seja, elevada percentagem de germinação de esporos (67% de esporos maduros) com mortalidade muito baixa durante o período de crescimento (3%) (CALDEIRA *et al.*, 2019); iii) a determinação das formas de reprodução, com dominância de autofecundação e fecundação cruzada, mas com evidências de possível apogamia em taxas muito baixas (AGUIAR *et al.*, 2020); iv) crescimento inicial em diferentes condições ambientais, com variações de substratos e regime de temperatura (CALDEIRA *et al.*, 2019); v) o cultivo em condições de alta e baixa trofia, onde as plantas completaram o desenvolvimento em todas as condições, sugerindo capacidade de adaptação a outros ambientes (CALDEIRA *et al.*, no prelo).

A adaptação a novos ambientes constitui uma alternativa para ampliar a ocorrência da espécie e reduzir os riscos de perda líquida. Em *I. malinverniana*, por exemplo, espécie criticamente ameaçada da flora italiana, a transferência de plantas propagadas em condições controladas para condições semelhantes ao seu ambiente natural resultou no sucesso de sobrevivência e possível modelo de reintrodução da espécie (ABELI *et al.*, 2017). De forma similar, uma possível transferência de *I. cangae* para outros locais, além do lago Amendoim, constitui uma alternativa para ampliar a ocorrência da espécie e reduzir os riscos de perda líquida. Estudos preliminares com *I. cangae* cultivadas em diferentes condições ambientais, como substratos, temperatura, controle de água, sugerem a capacidade de adaptação da espécie a outros ambientes (CALDEIRA *et al.*, 2019; CALDEIRA *et al.*, no prelo), fatores que podem ampliar as estratégias para sua distribuição em diferentes locais dos corpos de canga das Serras de Carajás e, conseqüentemente, conservação da espécie.

Nas serras de Carajás são encontrados outros lagos, perenes e temporários. O complexo de lagos Três Irmãs, situado no corpo de canga S11A (Serra Sul de Carajás), é composto por três lagos permanentes (TI1, TI2 e TI3) que se conectam hidrologicamente durante a estação chuvosa (SAHOO *et al.*, 2017). Estes lagos também possuem baixa trofia ao longo das estações seca e chuvosa, pH

predominantemente ácido, sedimentos enriquecidos com Fe_2O_3 , P_2O_5 , e matéria orgânica (SAHOO *et al.*, 2016; SAHOO *et al.*, 2017), características similares às encontradas no lago Amendoim. Por outro lado, lagos temporários são habitats de *I. serracarajensis*, também endêmica da região e distribuídas em outras localidades de Carajás (Serra Sul, Serra Norte, Serra do Tarzan e Serra da Bocaina) (PEREIRA; ARRUDA; SALINO, 2017). Apesar de serem escassas as informações sobre qualidade de água e composição dos sedimentos destes lagos, plantas de *I. serracarajensis* encontradas no lago temporário do corpo de canga N6 são maiores e apresentam maior quantidade de estruturas reprodutivas quando comparadas às plantas coletadas em outras localidades (informação pessoal), o que pode estar associado às características do lago que beneficiam o crescimento destas plantas.

1.1 OBJETIVO

Avaliar o potencial de crescimento de *Isoetes cangae* em substratos provenientes de lagos das cangas das Serras de Carajás.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 SUBSTRATOS

Plantas de *I. cangae* foram cultivadas em três substratos: i) TI3 - oriundo do maior lago permanente pertencente ao complexo Três Irmãs (Serra Sul de Carajás); ii) N6 – oriundo do lago temporário do corpo de canga N6 (Serra Norte de Carajás); iii) Jiffy-7® - substrato orgânico comercial que foi utilizado como tratamento controle. Este último foi escolhido como controle devido ao bom crescimento que *I. cangae* apresentou em diferentes ensaios e também a facilidade de aquisição. Os substratos foram caracterizados física e quimicamente. Para análise física, a textura do solo foi determinada conforme descrito por Kettler (2001). Quanto à composição química, a determinação do pH foi realizada na proporção de solo: líquido que foi de 1:2,5, e o carbono orgânico foi determinado pelo método de dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) em meio sulfúrico. Os teores de P, K, B, Zn, Fe, Mn e Cu disponíveis foram determinados pelo método de Mehlich-1 ($0.05 \text{ mol L}^{-1} \text{ HCl} + 0.0125 \text{ mol L}^{-1} \text{ H}_2\text{SO}_4$), o teor total de N pelo método de Kjeldahl após digestão utilizando ácido sulfúrico e S-SO_4^{2-} por fosfato de cálcio monobásico a 0,01 M. Por meio de espectrofotometria de absorção atômica em extratos de KCl a 1 M com a adição de óxido de lantânio, foram determinados os

teores de Ca, Mg e Al permutáveis (EMBRAPA, 2017). A composição química e física dos substratos encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização química e física dos substratos utilizados no estudo, sendo o Jiffy-7® um substrato orgânico comercial (controle), TI3 proveniente do lago permanente TI3 pertencente ao complexo de lagoas Três Irmãs (Serra Sul), e N6 proveniente de um lago temporário (Serra Norte).

Propriedades		Jiffy-7®	TI3	N6
pH	-	5.50	4.25	4.50
OC	%	64.80	18.30	9.46
N		1.00	3.30	1.69
P		25.90	5.90	6.70
K	mg dm ⁻³	54.00	18.85	74.77
S		28.00	4.00	19.65
B		0.24	0.13	0.23
Zn		1.10	0.60	0.50
Fe		10.00	317.00	334.00
Mn		2.50	4.70	5.17
Cu		1.80	0.20	0.83
Ca		5.00	0.24	0.12
Mg		5.20	0.14	0.08
Al		0.01	1.52	0.41
Areia	%	-	78.00	66.83
Argila		-	17.00	24.00
Silte		-	5.00	9.17

Fonte: Autores, 2020.

2.2 MATERIAL VEGETAL

O estudo foi conduzido a partir de esporófitos propagados em condições controladas. Os materiais de propagação (megásporos e micrósporos) foram obtidos de plantas adultas coletadas no lago Amendoim. A regeneração de esporófitos foi realizada por meio de fertilização *in vitro*, conforme descrito por Caldeira *et al.* (2019). Resumidamente, esporângios foram destacados manualmente das plantas doadoras

e seguiram para esterilização. Os esporângios foram tratados com etanol a 70% durante 1 min, em seguida lavados com água destilada, esterilizados novamente durante 3 min com solução de NaClO (1%) contendo Tween-20 (0,01%), finalizando com três lavagens com água destilada estéril. Em seguida, os esporângios foram rompidos com pinça e os esporos incubados em água destilada. Os megásporos e micrósporos foram misturados, incubados em tubos tipo Falcon de 50 mL contendo água destilada e transferidos para câmara de cultivo de plantas (Fitotron SGC 120, Weiss Technik, UK) com fotoperíodo de 12:12h, radiação de $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e temperatura de 28:22 °C para dia e noite, respectivamente. Esporófitos com aproximadamente 1 cm foram transferidos para potes com volume de 2 dm³, contendo 200 mL de cada um dos substratos a serem avaliados. Após os esporófitos serem fixados ao substrato, os potes foram preenchidos com água destilada até completar o volume de 2 dm³. As plantas foram transferidas para câmara de cultivo de plantas e mantidas por nove meses nas mesmas condições ambientais usadas durante o processo de fertilização *in vitro*.

2.3 VARIÁVEIS ANALISADAS

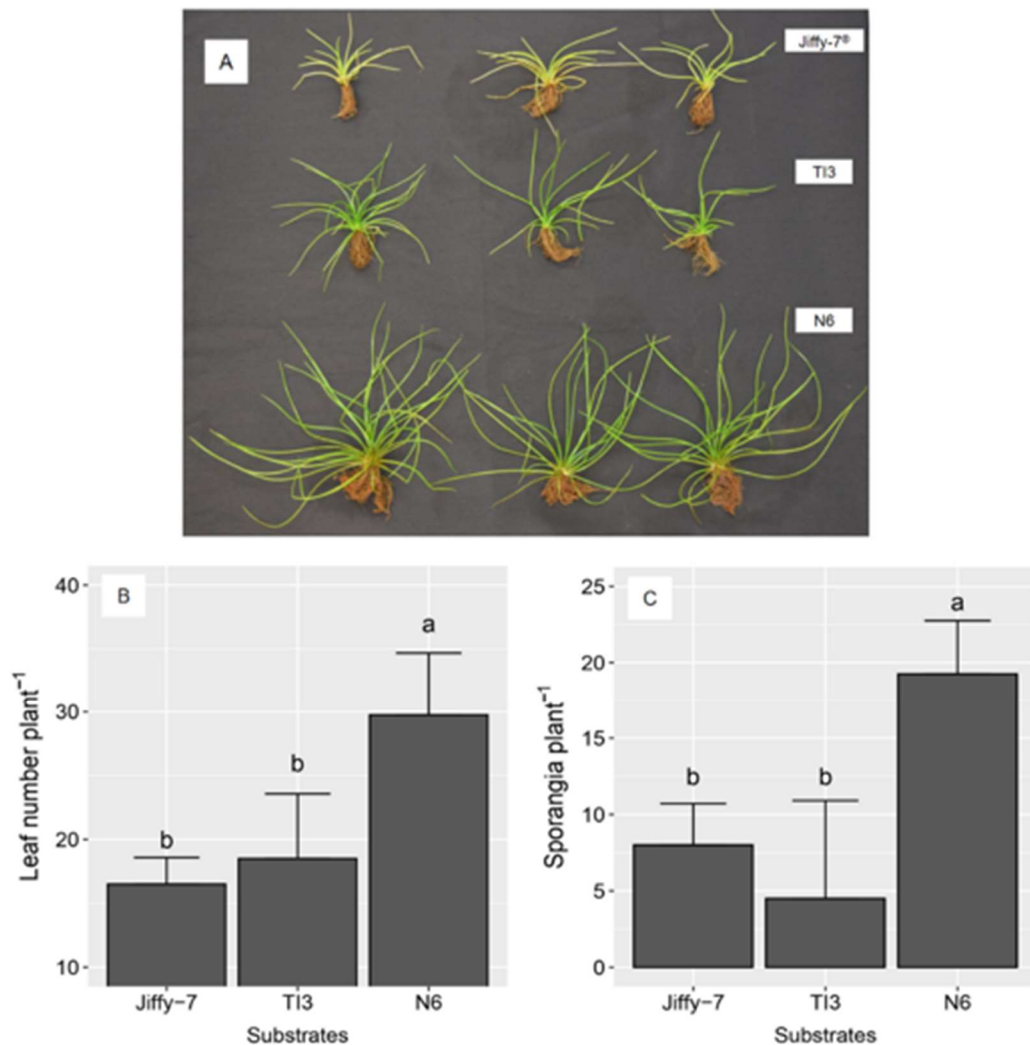
Após o período de cultivo foram analisadas: i) número de folhas produzidas por planta; ii) número de esporângios produzidos por planta, destacados manualmente da base das folhas do cormo; iii) área foliar e radicular, realizadas a partir de imagens de folhas e raízes geradas com o escâner *Epson Perfection V740 PRO* e analisados com software *ImageJ* (SCHNEIDER; RASBAND; ELICEIRI, 2012); e iv) razão entre a área de raízes: folhas; v) avaliação da fluorescência da clorofila com o auxílio do *PlantScreen™ Compact System* (Photon Systems Instruments – PSI). Para essa avaliação, as plantas foram submetidas mantidas no escuro durante 30 minutos e a eficiência fotoquímica do PSII foi mensurada entre 9h e 12h, ou seja, 3h após início do período de iluminação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As plantas de *I. cangae* foram capazes de se desenvolver em todos os substratos e atingir a fase reprodutiva, etapa importante para assegurar a perpetuação da espécie no ambiente. Além disso, os melhores resultados foram observados em plantas cultivadas nos sedimentos do lago N6 (Figura 1A), sugerindo maior potencial de adaptação de *I. cangae* a novos ambientes. Para estas plantas, o número de folhas

(Figura 1B), de estruturas reprodutivas (Figura 1C) e área foliar (Figura 2A) e radicular (Figura 2B) foram superiores aos de plantas cultivadas nos sedimentos do lago TI3 e no substrato orgânico comercial Jiffy-7®. Plantas cultivadas em sedimentos do lago N6 apresentaram aproximadamente 2x mais folhas e, conseqüentemente, maior área foliar que plantas nos demais tratamentos, o que pode ter auxiliado na maior capacidade de captação do carbono. Além disso, esse aumento na produção de folhas contribuiu para o desenvolvimento de estruturas reprodutivas as quais encontram-se na base das folhas mais internas em plantas ainda jovens (VÖGE, 2006). Uma vez que as estruturas reprodutivas tendem a aparecer após a emissão da primeira dezena de folhas (observação de cultivo em várias plantas de *I. cangae*), esta pode ser a causa de uma maior proporção de esporângios em plantas de N6, as quais produziram cerca de 4x mais esporângios que plantas cultivadas nos sedimentos do lago TI3. Dessa maneira, apesar da forte diferença entre plantas em N6 e TI3, estas últimas não apresentaram diferenças significativas para as plantas cultivadas no substrato controle (Jiffy-7®), sugerindo capacidade de adaptação e desenvolvimento nos diferentes ambientes, aqui representados por substratos de diferentes origens e características físicas e químicas (Tabela 1). Adaptações similares também foram observadas em *I. lacustris* crescendo em diferentes condições ambientais, onde plantas em condições mais favoráveis desenvolveram um número maior de folhas, alcançando valores bastante altos para a média das populações normalmente estudadas (VÖGE, 2004).

Figura 1 – (A) Plantas de *Isoetes cangae* cultivadas por nove meses nos substratos Jiffy-7® e sedimentos do lago TI3 (complexo dos lagos Três Irmãs) e do lago do corpo de canga N6, (B) Número de folhas e de (C) esporângios produzidos por planta. As barras representam a média±desvio padrão, enquanto letras diferentes sobre as barras representam diferenças significativas entre as medias após o teste post-hoc de Tukey HSD a $P<0.05$.

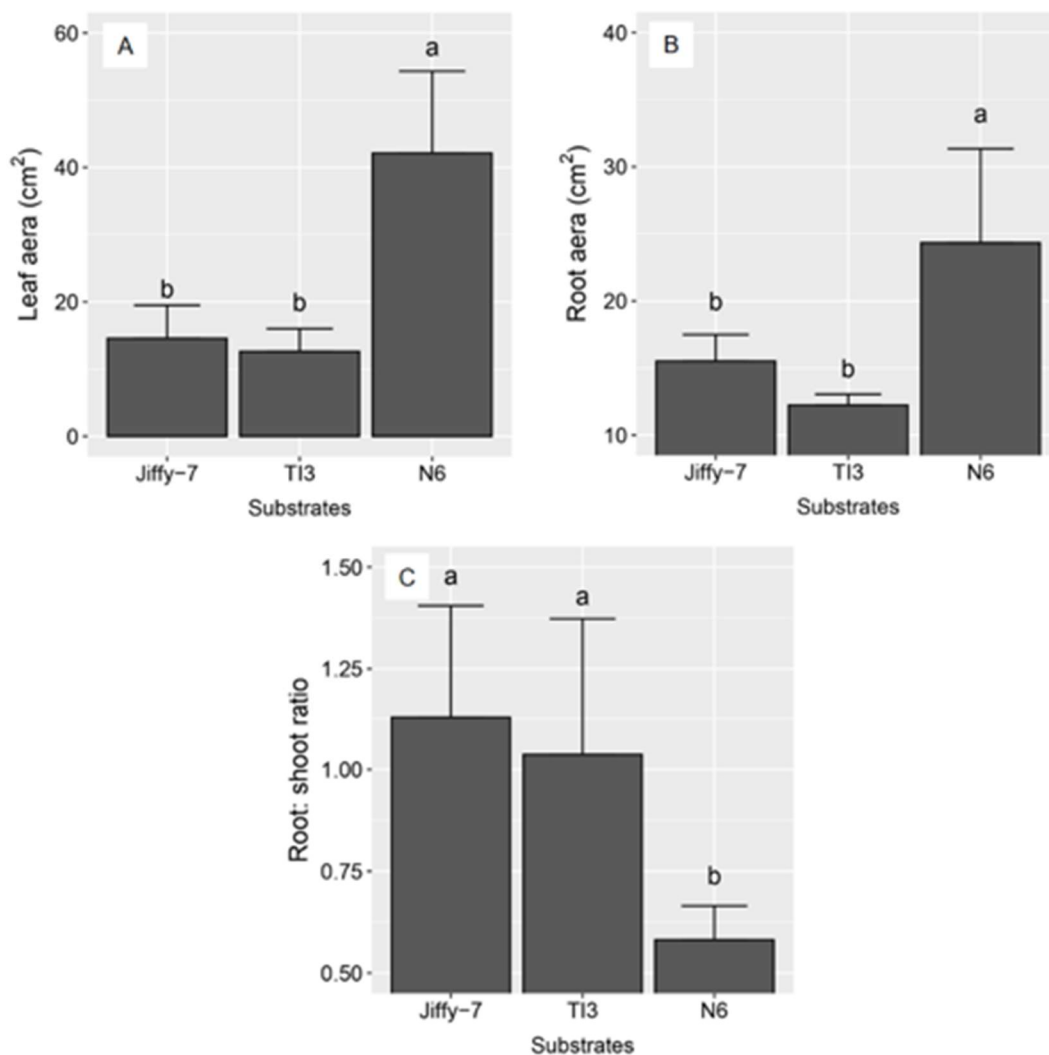


Fonte: Autores, 2020.

Apesar de plantas cultivadas no tratamento N6 terem desenvolvido maior estrutura radicular (aqui evidenciado pela área radicular, Figura 2B), estas plantas apresentaram razão área de raízes:folhas muito inferior, sendo praticamente a metade da encontrada para as plantas em TI3 e Jiffy-7® (Figura 2C). Esta maior alocação de carbono normalmente ocorre quando as plantas se encontram em ambiente favorável, ou seja, quando as condições ambientais são favoráveis ao crescimento e produção, neste caso, favorecendo ao desenvolvimento de maior número de estruturas reprodutivas, além de auxiliar no crescimento em diferentes locais (SMITH; STITT, 2007), assegurando o sucesso da reprodução e perpetuidade da espécie. No entanto, a confirmação da fertilidade destas estruturas é necessária devido a relatos de

declínio populacional em *I. lacustris* quando submetidas a condições eutróficas que acentuaram o desenvolvimento vegetativo (CHAPPUIS *et al.*, 2015).

Figura 2 – (A) Área foliar, (B) área radicular e (C) razão área raiz: folhas por planta de *Isoetes cangae* cultivadas por nove meses nos substratos Jiffy-7® e sedimentos do lago TI3 (complexo dos lagos Três Irmãs) e do lago do corpo de canga N6. As barras representam a média±desvio padrão, enquanto letras diferentes sobre as barras representam diferenças significativas entre as medias após o teste post-hoc de Tukey HSD a $P<0.05$.

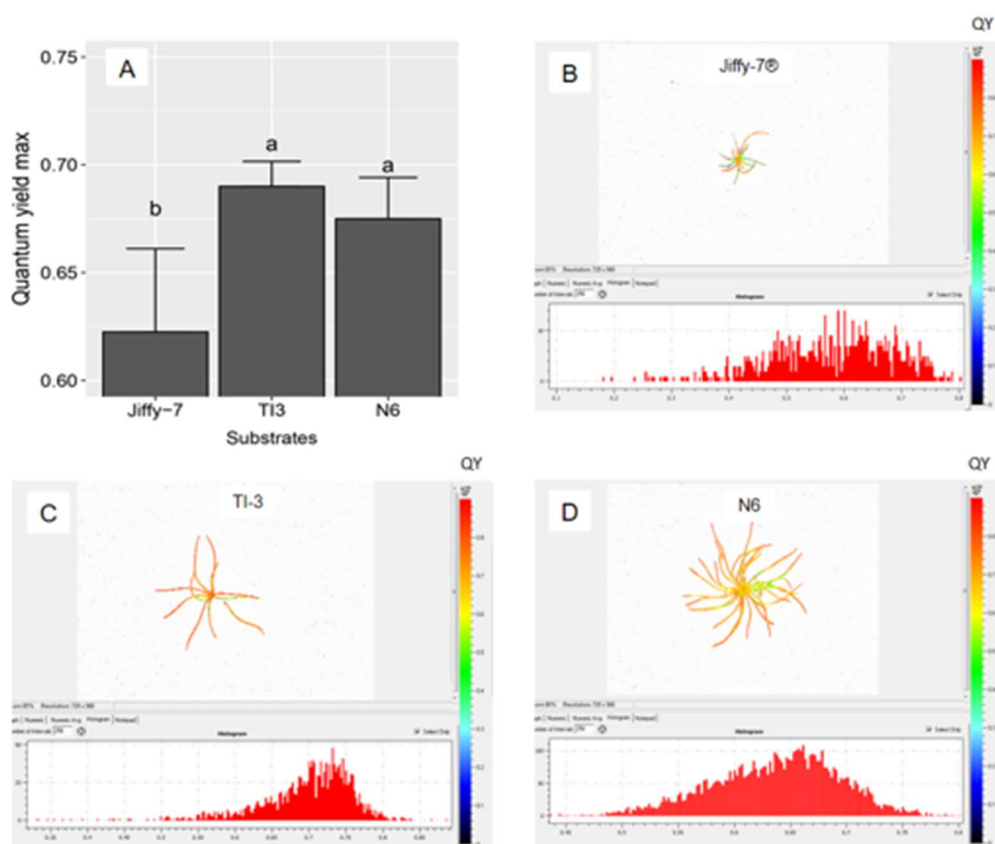


Fonte: Autores, 2020.

A avaliação da fluorescência da clorofila *a* revelou que as plantas nos sedimentos dos lagos de Carajás (Figura 3) apresentaram menor inibição ou dano no processo de transferência de elétrons do fotossistema II (PSII), que segundo Tester e Bacic (2005) é indicativo da eficiência no uso da reação fotoquímica para assimilação do carbono pelas plantas. Com valores próximos de 0.7, o rendimento quântico (QYmax, do inglês *Quantum Yield*) das plantas cultivadas em N6 (Figura 3D) e TI3 (Figura 3C) sugere o baixo nível de estresse a que estão submetidas, confirmando o

bom estado de “saúde” nestas condições, sinal de boa adaptação. Normalmente avaliado em somente uma pequena fração da folha, o rendimento quântico foi analisado de forma mais integrativa neste estudo, ou seja, toda a parte fotossintetizante das plantas, incluindo folhas mais velhas e que podem ter iniciado a senescência, conforme mais evidente nas folhas mais externas de determinadas plantas em Jiffy-7® (Figura 3B). Uma maior proporção de folhas neste estado pode ter reduzido a eficiência quântica destas plantas, no entanto, os valores observados para a grande parte das folhas (sobretudo mais novas) sugerem elevados valores de QY_{max} . Em geral, os valores de QY_{max} observados refletem uma boa capacidade fotossintética em todas condições avaliadas e fornecem suporte para o potencial de adaptação de *I. cangae* aos substratos de ambos os lagos de Carajás avaliados e também para a longevidade do cultivo *ex situ* em condições controladas.

Figura 3 – (A) Rendimento quântico da fluorescência de *Isoetes cangae*, cultivadas no (B) substrato Jiffy-7®, (C) sedimento do lago TI3, (D) sedimento do lago N6. As barras representam a média $\pm$ desvio padrão, enquanto letras diferentes sobre as barras representam diferenças significativas entre as medias após o teste post-hoc de Tukey HSD a $P < 0.05$.



Fonte: Autores, 2020.

4 CONCLUSÃO

Plantas de *I. cangae* conseguiram crescer e completar o ciclo reprodutivo durante os nove meses de crescimento em todos os três substratos avaliados. Os melhores resultados foram obtidos com plantas crescidas no substrato coletado no lago temporário N6, com plantas mais vigorosas e que produziram mais estruturas reprodutivas. Estes resultados reforçam o potencial de *I. cangae* poder se adaptar a outros ambientes além do lago Amendoim. Este estudo foi realizado com plantas submersas, e ensaios de tolerância a redução do nível de água podem complementar esses resultados iniciais, sendo ainda necessários.

REFERÊNCIAS

- ABELI, T. *et al.* A gleam of hope for the critically endangered *Isoëtes malinverniana*: Use of small-scale translocations to guide conservation planning. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 28, n. 2, p. 501-505, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/aqc.2848>
- ARTS, G. H. P. *et al.* Successional changes in the soft-water macrophyte vegetation of (sub) atlantic, sandy, lowland regions during this century. **Freshwater Biology**, v. 24, n. 2, p. 287-294, 1990. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1990.tb00709.x>
- BARNI, E. *et al.* *Isoëtes malinverniana* Ces. et De Not. 2010. **Revista Informatore Botanico Italiano**.
- CALDEIRA, C. F. *et al.* Sporeling regeneration and ex situ growth of *Isoëtes cangae* (*Isoetaceae*): Initial steps towards the conservation of a rare Amazonian quillwort. **Aquatic botany**, v. 152, p. 51-58, 2019. DOI [10.1016/j.aquabot.2018.10.001](https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2018.10.001).
- CHAPPUIS, E. *et al.* Deleterious interaction of light impairment and organic matter enrichment on *Isoetes lacustris* (*Lycopodiophyta*, *Isoetales*). **Hydrobiologia**, v. 760, n. 1, p. 145-158, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10750-015-2321-2>
- HICKEY, R. J.; MACLUF, C.; TAYLOR, W. C.. A re-evaluation of *Isoetes savatieri* Franchet in Argentina and Chile. **American Fern Journal**, v. 93, n. 3, p. 126-136, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1640/0002-8444\(2003\)093\[0126:AROISF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1640/0002-8444(2003)093[0126:AROISF]2.0.CO;2)
- KETTLER, T. A.; DORAN, J. W.; GILBERT, T. L. Simplified method for soil particle-size determination to accompany soil-quality analyses. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, n. 3, p. 849-852, 2001. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2001.653849x>
- KIM, C.; NA, H. R.; CHOI, H-K. Genetic diversity and population structure of endangered *Isoetes coreana* in South Korea based on RAPD analysis. **Aquatic Botany**, v. 89, n. 1, p. 43-49, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2008.02.004>
- LANSDOWN, R. V. *Isoetes cangae*. The IUCN Red List of Threatened Species 2019:e.T136249847A136250011.DOI:10.2305/IUCN.UK.2019-2.RLTS.T136249847A136250011.en.
- LEE, H.-W., CHOUNG, H.-L., ROH, T.-H., KWON, Y.-H., KIM, C.H., HYUN, J.-O., CHANG, I.S., 2005. Categorization and Conservation of the Threatened Plant Species in Environmental Impact Assessment. Korea Environment Institute, Seoul (in Korean, with English abstract).
- LIU, X.; WANG, J.-Y.; WANG, Q.-F. Current status and conservation strategies for *Isoetes* in China: a case study for the conservation of threatened aquatic plants. **Oryx**, v. 39, n. 3, p. 335-338, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0030605305000712>

NUNES, G. L. *et al.* Quillworts from the Amazon: A multidisciplinary populational study on *Isoetes serracarajensis* and *Isoetes cangae*. **PloS one**, v. 13, n. 8, p. e0201417, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201417>

PEREIRA, J. B. De S. *et al.* Two new species of *Isoetes* (*Isoetaceae*) from northern Brazil. **Phytotaxa**, v. 272, n. 2, p. 141-148, 2016. DOI: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.272.2.5>

PEREIRA, J. B.; ARRUDA, A. J.; SALINO, A.. Flora of the cangas of Serra dos Carajás, Pará, Brazil: Isoetaceae. **Rodriguésia**, v. 68, n. 3SPE, p. 853-857, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/2175-7860201768313>

SAHOO, P. K. *et al.* Geochemistry of upland lacustrine sediments from Serra dos Carajás, Southeastern Amazon, Brazil: implications for catchment weathering, provenance, and sedimentary processes. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 72, p. 178-190, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2016.09.003>

SAHOO, P. K. *et al.* Geochemical characterization of the largest upland lake of the Brazilian Amazonia: Impact of provenance and processes. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 80, p. 541-558, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2017.10.016>

SAHOO, P. K. *et al.* Limnological characteristics and planktonic diversity of five tropical upland lakes from Brazilian Amazon. In: **Annales de Limnologie- International Journal of Limnology**. EDP Sciences, 2017. p. 467-483.

SCHNEIDER, C. A.; RASBAND, W.S.; ELICEIRI, K.W. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. **Nature Methods**, v. 9, n. 7, p. 671–675, 2012.

SMITH, A. M.; STITT, M. Coordination of carbon supply and plant growth. **Plant, cell & environment**, v. 30, n. 9, p. 1126-1149, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01708.x>

SOUZA-FILHO, P. W. M. *et al.* Four decades of land-cover, land-use and hydroclimatology changes in the Itacaiúnas River watershed, southeastern Amazon. **Journal of environmental management**, v. 167, p. 175-184, 2016. DOI [10.1016/j.jenvman.2015.11.039](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.11.039)

TAYLOR, W. C.; HICKEY, R. J.. Habitat, evolution, and speciation in *Isoetes*. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, p. 613-622, 1992. DOI: 10.2307/2399755

TEIXEIRA, P. C. *et al.* Manual de métodos de análise de solo. **Rio de Janeiro, Embrapa. 573p**, 2017

TESTER, M.; BACIC, A.. Abiotic stress tolerance in grasses. From model plants to crop plants. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.104.900138>

TROIA, A.; PEREIRA, J. B.; KIM, C.; TAYLOR, W. C. The genus *Isoetes* (*Isoetaceae*): a provisional checklist of the accepted and unresolved taxa. **Phytotaxa**, v. 277, n. 2, p. 101-145, 2016.

VINCENT, R. C.; MEGURO, M. Plant soil relationships in ferruginous rocky soil vegetation. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 31, p. 377-388, 2008.

VÖGE, M. Non-destructive assessing and monitoring of populations of *Isoetes lacustris* L. **Limnologica**, v. 34, n. 1-2, p. 147-153, 2004. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0075-9511\(04\)80034-3](https://doi.org/10.1016/S0075-9511(04)80034-3)

VÖGE, M. The reproductive phenology of *Isoetes lacustris* L.: Results of field studies in Scandinavian lakes. **Limnologica**, v. 36, n. 4, p. 228-233, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.limno.2006.06.002>

VRBA, J. *et al.* Long-term studies (1871–2000) on acidification and recovery of lakes in the Bohemian Forest (central Europe). **Science of the Total Environment**, v. 310, n. 1-3, p. 73-85, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00624-1](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00624-1)