



Universidade de Brasília
Instituto de Ciências Biológicas
Departamento de Botânica
Programa de Pós-Graduação em Botânica

**PROPAGAÇÃO VEGETATIVA E RESPOSTAS AO ESTRESSE
HÍDRICO DE *ARUNDO DONAX* L.**

Elson Rangel Calazans Júnior

Brasília, DF
Janeiro de 2020



Universidade de Brasília
Instituto de Ciências Biológicas
Departamento de Botânica
Programa de Pós-Graduação em Botânica

**PROPAGAÇÃO VEGETATIVA E RESPOSTAS AO ESTRESSE
HÍDRICO DE *ARUNDO DONAX* L**

Elson Rangel Calazans Júnior

Orientadora: Dr^a. Cristiane da Silva Ferreira

Dissertação apresentada ao Departamento de Botânica, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Botânica.

Brasília, DF
Janeiro de 2020

Membros da banca examinadora:

Dr^a. Cristiane da Silva Ferreira
Departamento de Botânica/UnB
Presidente

Dr^a Cássia Munhoz
Departamento de Botânica/UnB Membro titular
interno

Dr^a.Sarah Caldas de Oliveira
Departamento de Botânica/UnB Membro titular
externo

Dr^a. Christina Cleo Vinson Williams
Departamento de
Botânica/UnB Suplente

FICHA CATALOGRÁFICA

Calazans, Elson Rangel Júnior

Propagação Vegetativa e Respostas ao Estresse Hídrico de
Arundo donax L./ por Elson Rangel Calazans Júnior, 2020.

117 f.; il.

Orientadora: Cristiane da Silva Ferreira

Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Instituto
de Ciências Biológicas, Departamento de Botânica, 2020.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CALAZANS, E. **Propagação Vegetativa e Respostas ao Estresse Hídrico de *Arundo donax* L.** 117 f., il. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília, 2020.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Elson Rangel Calazans Júnior

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: PROPAGAÇÃO VEGETATIVA E RESPOSTAS
AO ESTRESSE HÍDRICO DE *ARUNDO DONAX L*

GRAU: Mestre

ANO: 2020

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado para única e exclusivamente propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais de publicação. Nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada a fonte.

E-mail: elson.cz33@gmail.com

*Dedico essa obra a todos aqueles
que acreditam no progresso
científico como a verdadeira
estrada para o futuro.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a minha família por todo o apoio nos degraus anteriores, da alfabetização até a graduação, porque sem eles esse trabalho não seria possível. Dedico em especial aos meus pais Elson e Vânia por, desde de quando eu era pequeno, apreciarem e incentivarem minha curiosidade em relação às plantas. Agradeço aos meus irmãos Diogo, Eduardo, Larissa e Monara por me motivarem a ser uma pessoa melhor. Sou grato também aos meus avós por todo os conselhos.

Agradeço à Amanda Figueiredo por ter sido minha companheira durante toda essa jornada e por me despertar a curiosidade com tantas perguntas criativas e divertidas, e também por me apoiar em alguns experimentos. Agradeço também a Sofia Martins pela a motivação a mais na etapa final e pelos conselhos. Faço outro agradecimento a Bruna Lisbôa pelo apoio na fase de admissão do Mestrado.

Agradeço à Dr^a. Sarah Oliveira e ao Marcelo Campos por terem me apresentado ao incrível mundo da Botânica, o apoio deles na graduação me inspirou a realizar esse mestrado. Agradeço em especial à Dra. Sarah Oliveira pelo espaço cedido na Alelopatia para realização de vários experimentos.

Quero agradecer à Dr^a. Cássia Munhoz por todo carinho e atenção durante o Mestrado, aprendi muito com ela e toda sua ajuda foi essencial tanto na coordenação quanto como professora, destaco que toda a ajuda desempenhada por ela foi essencial para minha permanência no Mestrado. Juntamente da Dr^a. Carolyn Proença, a Dr^a. Cássia me ensinou tanto sobre as plantas que, às vezes, posso responder aos meus amigos a pergunta “que planta é essa?”.

Quero agradecer ao Dr. Augusto Franco pela ajuda e ensinamentos de como usar o IRGA, ao Dr. Eduardo e à Dr^a. Aline Lopes pela ajuda na análise estatística, aos professores Dr. Paulo Câmara, Dr^a. Dalva Graciano e Dr. Fabian Borghetti pelas fantásticas disciplinas de pós-graduação, e agradeço também ao Dr. Thomas Williams e a Dr^a. Christina Vinson pela ajuda no laboratório de bioquímica. Agradeço a Dr^a Conceição Eneida pela ajuda na formatação e pelas dicas. Agradeço também à Dr^a. Sueli Gomes por toda atenção e carinho na coordenação da Botânica e aos técnicos Fábio Nakamura e Patrícia Monah pelas conversas leves e as dicas de laboratório.

Faço também um agradecimento aos colegas de mestrado Lucas Giroto, Isadora Matos Ribeiro, Thiago Moreira, Marcela Neves, Bruna Ribeiro, Caio Souza e Babeky N'debi por todo apoio e aos alunos de graduação Adson Willard Ferreira Albuquerque, Joyce De Carvalho Trindade, Mariana Silva Lyra pela ajuda nos experimentos. Agradeço também a todos os funcionários da secretaria, da limpeza, da segurança e dos mais diversos setores da Universidade.

Agradeço também à FAP-DF, por financiar o projeto de pesquisa que deu origem à temática do meu mestrado e a à CAPES, por financiar as bolsas que recebi durante o tempo integral de pós-graduação.

Faço, por fim, o principal agradecimento a minha orientadora Dr^a. Cristiane Ferreira por toda a orientação carinhosa e atenciosa e ofereço essa dissertação ao meu avô Manoel Calazans *in memoriam*.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
INTRODUÇÃO GERAL E MATERIAL E MÉTODOS GERAIS	v
CAPÍTULO I.....	vi
CAPÍTULO II.....	vii
ÍNDICE DE TABELAS	viii
INTRODUÇÃO GERAL E MATERIAL E MÉTODOS GERAIS	viii
CAPÍTULO I.....	ix
CAPÍTULO II.....	ix
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. JUSTIFICATIVA	8
3. OBJETIVO GERAL	9
4. MATERIAL E MÉTODOS GERAIS.....	10
4.1 Áreas de Coletas	10
4.2 Obtenção de propágulos para os experimentos de Propagação Vegetativa.....	12
4.3 Produção de mudas para uso nos experimentos de Estresse Hídrico	13
4.4 Experimentos com mudas submetidas ao Estresse Hídrico.....	16
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18
CAPÍTULO I	27
1. INTRODUÇÃO	32
2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	33
3. MATERIAL E MÉTODOS	35

3.1	Triagem de inflorescências	35
3.2	Comprimento e massa mínimos de propágulos viáveis.....	35
3.3	Viabilidade de propágulos	36
3.4	Propagação vegetativa em condições de alagamento	36
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1	Triagem de inflorescências	39
4.2	Comprimento e massa mínimos de propágulos viáveis.....	39
4.3	Viabilidade de propágulos	41
4.4	Propagação vegetativa em condições de alagamento	41
5.	CONCLUSÕES.....	45
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

CAPÍTULO II.....	55	
1. INTRODUÇÃO	55	
2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	62	
3. MATERIAL E MÉTODOS	63	
3.1	Regeneração após a poda.....	63
3.2	Comprimento aéreo médio, média do número de folhas média e diâmetro médio	63
3.3	Área foliar	63
3.4	Mortalidade de folhas e perfilhamento	64
3.5	Biomassa.....	64
3.6	Curva de luz	65
3.7	Análise de taxas fotossintéticas: fotossíntese, condutância e transpiração.....	65
3.8	Preparo de extrato	67

3.9	Análises de pigmentos fotossintéticos	66
3.10	Eficiência de uso de água (eua).....	67
3.11	Análise açúcares solúveis.....	67
3.12	Análise de amido.....	68
3.13	Análise estatística.....	69
4.	RESULTADOS E DICUSSÃO.....	70
4.1	Regeneração após a poda.....	70
4.2	Comprimento aéreo médio, média do número de folhas média e diâmetro médio	72
4.3	Mortalidade de folhas e perfilamento	75
4.4	Área foliar.....	76
4.8	Biomassa.....	77
4.5	Curva de luz.....	78
4.6	Análises fotossintéticas.....	79
4.7	Eficiência de uso de água (eua)	82
4.9	Análises de pigmentos fotossintéticos	84
4.10	Análise de açúcares solúveis.....	85
4.11	Análise de amido.....	86
5.	CONCLUSÕES.....	89
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>A</i>	Fotossíntese
<i>g_s</i>	Condutância estomática
<i>E</i>	Transpiração
B _{PA}	Biomassa da parte aérea
B _{ps}	Biomassa da parte subterrânea
IBRAM	Instituto Brasília Ambiental
IRGA	Analisador de gás infravermelho
IUCN	União Internacional de Conservação
PV%	Porcentagem de Propagação Vegetativa Efetiva.
TMPV	Tempo Médio de Propagação Vegetativa.

ÍNDICE DE FIGURAS

INTRODUÇÃO GERAL E MATERIAL E MÉTODOS GERAIS

- Figura 1.** Detalhes da morfologia da planta de *Arundo donax*: (A) folhas simples lanceoladas, (B) filotaxia alternada, (C) colmos divididos em entrenós indicado pela seta vermelha e nós indicado pela seta azul, (D) fragmento de caule ramificado em ramo principal e ramo secundário; (E) fragmento de rizoma e (F) sinflorescência plumosa. 2
- Figura 2.** Ocorrências de *Arundo donax* ao redor do mundo em que pontos alaranjados indicam uma maior quantidade de registros e os amarelos uma menor quantidade de registros. No mapa, observamos que *Arundo donax* está presente em todos os continentes com exceção da Antártica, sendo de fato uma planta cosmopolita. Fonte: GBIF (2019) 4
- Figura 3.** Ilustração das fitofisionomias do Cerrado. Fonte: EMBRAPA inspirada em RIBEIRO & WALTER (2008) 5
- Figura 4.** Mapa dos locais de coletas de indivíduos e colmos de *Arundo donax* no Distrito Federal, cada número representa um local de coleta. Mapa produzido com a ferramenta Google Maps ®. 11
- Figura 5.** Passo a passo da obtenção dos propágulos de *Arundo donax*. A) → B) Corte de folhas; B) → C) Secção caulinar preservando-se apenas o 2º nó basal e C) → D) Exposição da gema lateral. 12
- Figura 6.** Plantas adultas de *Arundo donax*, obtidas diretamente do campo e transplantadas para baldes (30 L), na estação experimental de Biologia da UnB. 14
- Figura 7.** Desenvolvimento radicular e de rizoma de plantas de *Arundo donax* levadas a estação experimental. 14
- Figura 8.** Plantas adulta de *Arundo donax* e clones advindos de ramos secundários. A) Planta-mãe; B) Disposição dos ramos secundários; C) Clones advindos de ramos secundário. 15
- Figura 9.** Mudas de *Arundo donax* com 3 semanas de idades na estação experimental da UnB. 15
- Figura 10.** Unidades amostrais do experimento de estresse hídrico com mudas de *Arundo donax* na Estação Experimental da Universidade de Brasília (UnB).16
- Figura 11.** Ilustração dos grupos do experimento de estresse hídrico de *Arundo donax*. (A) Seca, (B) Controle e (C) Alagamento. 17

CAPÍTULO I

- Figura 1.** Propágulos de *Arundo donax* das 10 diferentes classes embebidos e mantidos em bandejas Briopáticas® com papéis filtros mantidos úmidos para manter a constante hidratação das gemas laterais. Experimento realizado no Laboratório de Alelopatia em condições controladas fotoperíodo, irradiância temperatura e umidade relativa controladas. **36**
- Figura 2.** Ilustração do experimento de propagação vegetativa no alagamento com propágulos de *Arundo donax*, tratamento Controle (A) e tratamentos de Alagamentos (B). Alagamentos distinguíveis pelas lâminas de água de 5 cm (em azul claro), de 10 cm (em amarelo) e de 15 cm (em vermelho). Experimento realizado no Laboratório de Alelopatia em condições controladas de fotoperíodo, irradiância temperatura e umidade relativa. **37**
- Figura 3.** Propágulos de *Arundo donax* armazenados em bandeja plástica para o experimento de viabilidade de propágulos. Experimento realizado no Laboratório de Alelopatia em condições controladas fotoperíodo, irradiância temperatura e umidade relativa. **38**
- Figura 4.** Propágulos de *Arundo donax* embebidos uma semana após a coleta durante o experimento de viabilidade. Experimento realizado no Laboratório de Alelopatia em condições controladas de fotoperíodo, irradiância temperatura e umidade relativa. **38**
- Figura 5.** Espigueta estéril de *Arundo donax* aberta sem sementes. **39**
- Figura 6.** Propágulo de *Arundo donax*, com comprimento entre 2,1 cm e 3,0 cm e massa entre 2,1 g e 2,5 g, representando a 5ª classe, a menor capaz de originar novas mudas. **40**
- Figura 7.** Propágulos de *Arundo donax* submersos com propagação vegetativa efetiva, A) visão frontal e B) visão lateral. **41**
- Figura 8.** Planta de *Arundo donax* originária do tratamento de alagamento com lâmina de água de 15 cm de altura. **41**
- Figura 9.** Tempo Médio de Propagação Vegetativa Efetiva (TMPV) em função dos tratamentos de estresse hídrico para os propágulos de *Arundo donax*. Médias com o desvio padrão, médias com letras iguais não são significativamente diferentes ($p < 0,05$), $n = 20$ **42**
- Figura 10.** Porcentagem de Propagação Vegetativa Efetiva (PV%) em função dos tratamentos de estresse hídrico para os propágulos de *Arundo donax*. Tratamentos sem diferenças estatísticas significativas

($p < 0,05$), $n = 20$ 43

Figura 11. (A) Valores médios da massa dos propágulos e (B) porcentagem de propagação vegetativa (PV%) dos propágulos de *Arundo donax* em função do tempo em semanas, $n = 10$ 44

CAPÍTULO II

Figura 1. Perfilhamento de *Arundo donax* observado no tratamento de alagamento. 64

Figura 2. Média do comprimento aéreo e do diâmetro das rebrotas de *Arundo donax* em função do tempo, demonstrando o crescimento acumulado, $n = 10$ 70

Figura 3. Reservatório de água, apontado pela seta verde, formado no colmo podado de *Arundo donax* após a chuva, sem rebentos. 71

Figura 4. População de *Arundo donax* regenerada um mês após a poda localizada próxima ao Instituto de Química da UnB (Área 2). 71

Figura 5. Comprimento médio da parte aérea, em função do tempo, para as plantas de *Arundo donax* em resposta ao estresse hídrico. Médias com o desvio padrão, sem diferenças estatísticas significativas ($p < 0,05$), $n = 5$ 72

Figura 6. Número médio de folhas, em função do tempo, das plantas de *Arundo donax* submetidas a diferentes tratamentos de estresse hídrico (alagamento ou seca). Média com o desvio padrão, médias com letras iguais não são significativamente diferentes ($p < 0,05$), $n = 5$ 73

Figura 7. Diâmetro médio em função do tempo para as plantas de *Arundo donax* em função do estresse hídrico. Média com o desvio padrão, médias com letras iguais não são significativamente diferentes, $n = 5$ 74

Figura 8. Número de folhas mortas e rebentos de plantas de *Arundo donax* ao final dos tratamentos controle ou de estresse hídrico (alagamento ou seca), $n = 7$ 75

Figura 9. Média da área foliar de *Arundo donax* em função dos tratamentos de estresse hídrico. Médias com o desvio padrão, sem diferenças estatísticas significativas ($p < 0,05$), $n = 9$ 76

Figura 10. Biomassa seca da parte aérea (B_{pa}) de *Arundo donax* em função dos tratamentos de estresse hídrico após 1 mês do experimento. Médias com o desvio padrão, médias com letras iguais não são significativamente diferentes ($p < 0,05$), $n = 3$ 77

Figura 11. Biomassa seca da parte subterrânea (B_{ps}) de <i>Arundo donax</i> em função dos tratamentos de estresse hídrico após um mês do experimento. Médias com o desvio padrão, médias com letras iguais não são significativamente diferentes ($p < 0,05$), $n=3$	78
Figura 12. Curva de luz mostrando a fotossíntese em diferentes densidades de fótons de fluxo fotossintético (PPDF) em <i>Arundo donax</i> . As médias são provenientes de 3 repetições \pm o desvio padrão, $n=3$	79
Figura 13. Fotossíntese (A) em função dos tratamentos de estresse hídrico ao longo do tempo para plantas de <i>Arundo donax</i> . Médias com o desvio padrão, médias com letras iguais não são significativamente diferentes ($p < 0,05$), $n=7$	80
Figura 15. Transpiração (E) em função dos tratamentos de estresse hídrico ao longo do tempo para plantas de <i>Arundo donax</i> , $n=7$	81
Figura 16. Eficiência de Uso de Água (EUA) de mudas de <i>Arundo donax</i> no início dos tratamentos. Sem diferenças estatísticas significativas ($p < 0,05$), $n=7$	82
Figura 17. Eficiência de Uso de Água (EUA) de mudas de <i>Arundo donax</i> ao fim dos tratamentos. Médias com o desvio padrão, médias com letras iguais não são significativamente diferentes ($p < 0,05$), $n=7$	83

ÍNDICE DE TABELAS

INTRODUÇÃO GERAL E MATERIAL E MÉTODOS GERAIS

Tabela 1. Áreas de coleta do material vegetal usados na pesquisa e as respectivas coordenadas geográficas.	11
Tabela 2. Equações utilizadas no experimento adaptadas de (LABOURIAU, 1983) em que: pV = número de propagações vegetativas efetivas; pT = propágulos totais utilizados; tA = tempo acumulado em horas.	13

Tabela 3. Condições ambientais do experimento de estresse hídrico com mudas de <i>Arundo donax</i> na estação experimental da UnB durante o fotoperíodo de 12 H.	17
--	-----------

CAPÍTULO I

Tabela 1. Classes de propágulos de <i>Arundo donax</i> em função do comprimento e da massa.	35
---	-----------

CAPÍTULO II

Tabela 1. Ajustes realizados no IRGA (6400XT, LI-COR) para determinação das taxas fotossintéticas de <i>Arundo donax</i> no experimento de estresse hídrico.	66
--	-----------

Tabela 2. Equações de determinação da concentração ($\text{mg} \cdot (\text{g FM})^{-1}$) dos pigmentos foliares clorofila –a, clorofila-b e carotenoides.	67
--	-----------

Tabela 3. Pigmentos fotossintéticos de <i>Arundo donax</i> em função dos tratamentos de estresse hídrico. Médias com o desvio padrão, sem diferenças estatísticas significativas ($p < 0,05$), $n=3$	84
--	-----------

Tabela 4. Concentrações de Amido ($\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$) em função do tratamento para cada órgão de <i>Arundo donax</i> . Médias com o desvio padrão, médias com letras iguais não são significativamente diferentes ($p < 0,05$), $n=3$	85
---	-----------

Tabela 5. Concentrações de Amido em função do tratamento para cada órgão de <i>Arundo donax</i> . Médias com o desvio padrão, médias com letras iguais não são significativamente diferentes ($p < 0,05$), $n=3$	87
--	-----------

1. INTRODUÇÃO GERAL

Arundo donax é uma planta herbácea perene que pode alcançar até 8 metros de altura (MIRZA et al., 2010; PERDUE, 1958). Pertence à superfamília Poaceae, à subfamília Arundinoideae e à tribo Arundineae (HSIAO et al., 1998). A planta é conhecida popularmente como “cana-do-reino”, ou ainda cana-bambu, cana-comum, grama-de-cana-gigante, cana-do-rio, grama-de-junco-gigante, grama-arundo e capim-gigante. Outros nomes populares, em outros países, são: *Riesenschilf* (alemão), *Canne de Provence* (francês), *Carrizo* (espanhol), *Giant Reed* (inglês) e *Caneviera* (italiano) (PERDUE, 1958).

A morfologia de *A. donax* é típica do grupo das gramíneas (Figura 1). As folhas são simples lanceoladas ricas em silicatos dispostas em filotaxia alternada (AL-SNAFI, 2017; PERDUE, 1958) e o caule é composto por colmos divididos em entrenós ocos e nós ricos em meristemas (SPATZ et al., 1997). Os colmos podem ser ramificados após um ano de idade (CEOTTO et al., 2010; GONÇALVES et al., 2012) ou após passarem pelo processo de poda da planta. Parte desses colmos são subterrâneos e recebem o nome de rizomas. Os rizomas são bulbosos, anelados e ricos em reservas nutritivas (AL-SNAFI, 2017; MANN et al., 2013). Ligadas aos rizomas, as raízes são fibrosas, profundas e ramificadas (MIRZA et al., 2010; PERDUE, 1958; ZHANG et al., 2008). Frequentemente as raízes de *A. donax* formam emaranhados com outros indivíduos da mesma espécie devido ao hábito de vida de touceiras. Por fim, as flores são dispostas em sinflorescências plumosas marrom-avermelhadas do tipo panículas com dezenas de espiguetas (BALOGH et al., 2012; PERDUE, 1958). Frutos e sementes não são frequentemente reportados.

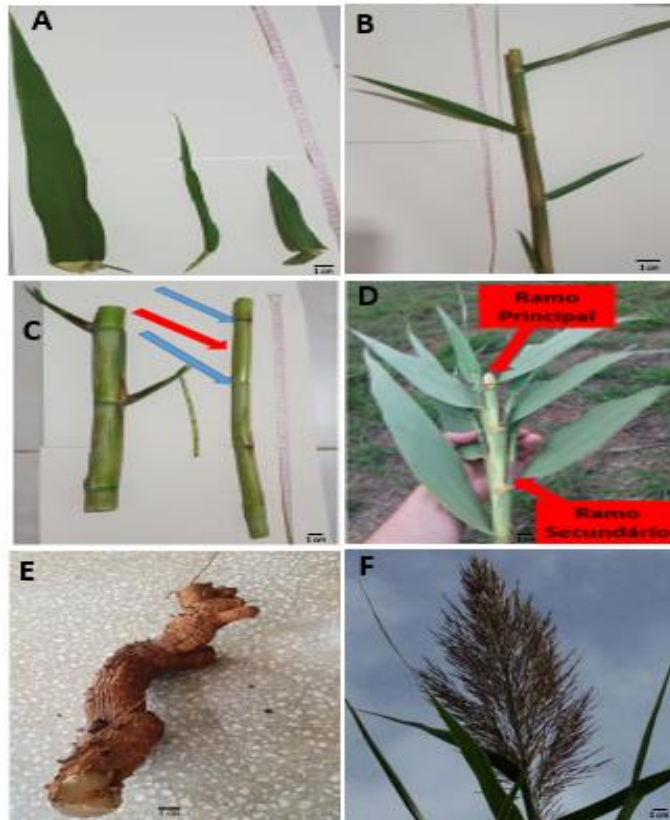


Figura 1. Detalhes da morfologia da planta de *Arundo donax*: (A) folhas simples lanceoladas, (B) filotaxia alternada, (C) colmos divididos em entrenós indicado pela seta vermelha e nós indicado pela seta azul, (D) fragmento de caule ramificado em ramo principal e ramo secundário; (E) fragmento de rizoma e (F) sinflorescências plumosa.

As diferentes estruturas morfológicas de *A. donax* são exploradas pelo homem desde de tempos remotos, havendo relatos na bíblia sobre o uso da espécie (PERDUE, 1958). Atualmente, a utilidade da planta varia tanto em função do estágio de desenvolvimento, devido às diferenças estruturais e químicas em função da idade do organismo (NETO et al., 1997), quanto em função do local de exploração. Isto é, diferentes povos, utilizam *A. donax* de diferentes formas.

Primeiramente, o uso primordial de *A. donax* é como matéria prima para a fabricação de instrumentos musicais de sopro e itens de marcenaria como cestas, cercas e bancos (PERDUE, 1958). Esses itens são de boa qualidade devido a estabilidade mecânica intrínseca da planta (SPATZ et al., 1997). Outros usos, mais modernos, são a exploração da planta como matéria prima para a produção de papel (SHATALOV & PEREIRA, 2002), devido a abundância de fontes de pentoses em folhas e colmos (NETO et al., 1997), e como fonte de biocombustíveis e biogás (CORNO et al., 2015), destacando-se dentre as

demais fontes de biocombustíveis por não ser utilizada na alimentação humana e ter elevada produção de biomassa (PILU et al., 2012; RODRIGUES, 2004).

Não obstante, *A. donax* pode ser explorado no campo da medicina, pois os rizomas e raízes do vegetal são utilizados na fabricação de remédios caseiros para tratamento de doenças como o condiloma, a gota e quadros de hipertensão (LUNA, 1952). Atividades fitoquímicas foram evidenciadas nos extratos obtidos a partir destes órgãos da planta (AL-SNAFI, 2017).

Por fim, *A. donax* também tem sido utilizado em aplicações ambientais tais como calante e condicionador de solos devido a abundância de micronutrientes no vegetal e a rápida absorção de íons (SAIKIA et al., 2015); como controladora de erosões (BELL, 1997); como fonte de créditos de carbono devido ao elevado grau de fixação da planta de compostos carbônicos (WILLIAMS et al., 2009). Porém, a aplicação ambiental de maior destaque é como fitorremediadora, ou seja, como agente purificadora de locais contaminados com arsênio, cádmio, cromo, níquel e zinco, em função da elevada tolerância e resistência do vegetal à presença desses elementos no solo (CORNO et al., 2015; LI et al., 2014; PAPAZOGLU, 2007).

Devido justamente aos vários usos, a planta foi dispersa pelo homem em diversas correntes migratórias e em diferentes períodos históricos. Essas dispersões ocorreram tanto antes quanto após o descobrimento das Américas, logo *A. donax* é uma planta arqueófita e neófita (HARDION et al., 2014; PYŠEK et al., 2012) e, justamente por isso é difícil precisar o sítio de origem da planta. Contudo, é estimado, a partir de sequenciamento de Ácido desoxirribonucleico (ADN) plastidial e análises morfométricas, que a origem da planta mais provável é o Oriente Médio (HARDION et al., 2014).

Embora tenha sido iniciada pelo homem, a dispersão de *A. donax*, atualmente, ocorre independente da ação humana (GIESSOW et al., 2011). Por vezes as populações dispersadas são clones ou possuem baixa diversidade (AHMAD et al., 2008; BALOGH et al., 2012; HARDION et al., 2014; VASCONCELOS & GOMES, 2007), apesar da alta diversidade fenotípica observada (KHUDAMRONGSAWAT et al., 2004). A explicação das populações clone está no fato que as sinflorescências são estéreis (CEOTTO & DI CANDILO, 2010; SIMÕES et al., 2013) devido a erros de divisão na gametogênese (BALOGH et al., 2012). Logo, a reprodução de *A. donax* é majoritariamente assexuada, ocorrendo por meio de propagação vegetativa a partir da fragmentação de colmos e rizomas (CEOTTO et al., 2010; SIMÕES et al., 2013; GONÇALVES et al., 2012).

Nas diferentes ondas migratórias de clones, podemos observar o grande potencial adaptativo da espécie. Ela é capaz de sobreviver em ambientes salinos como às margens do Rio Murray na Austrália, o

que a classifica como uma espécie halófito (WILLIAMS et al., 2009); em solos mal drenados com excesso de água como na Vila Aliartos no centro da Grécia, o que a classifica como uma espécie Hidrófito (MAVROGIANOPOULOS et al., 2002); em ambientes de savanas com queimadas como às margens do Rio Santa Clara nos Estados Unidos da América, o que classifica como uma espécie pirófito (COFFMAN et al., 2010). Além disso, adaptação da planta em ambientes secos também foi positivamente testada em laboratório por LEWANDOWSKI et al. (2003). Em acréscimo, os predadores de *A. donax* são escassos, o que contribui para o sucesso de colonização da planta em um novo ecossistema (GOOLSBY, 2009; WILLIAMS et al., 2009). O grande potencial adaptativo aos diversos ecossistemas resultou na dispersão global da planta.

Arundo donax é uma espécie cosmopolita (Figura 2). Atualmente, podemos encontrar a planta em Ilhas do Pacífico, na Austrália, na Ásia Meridional, no Oriente Médio, no Norte da África, no Mediterrâneo, na América do Norte, na América Central e na América do Sul (PERDUE, 1958; SPENCER, 2005; WILLIAMS et al., 2008).

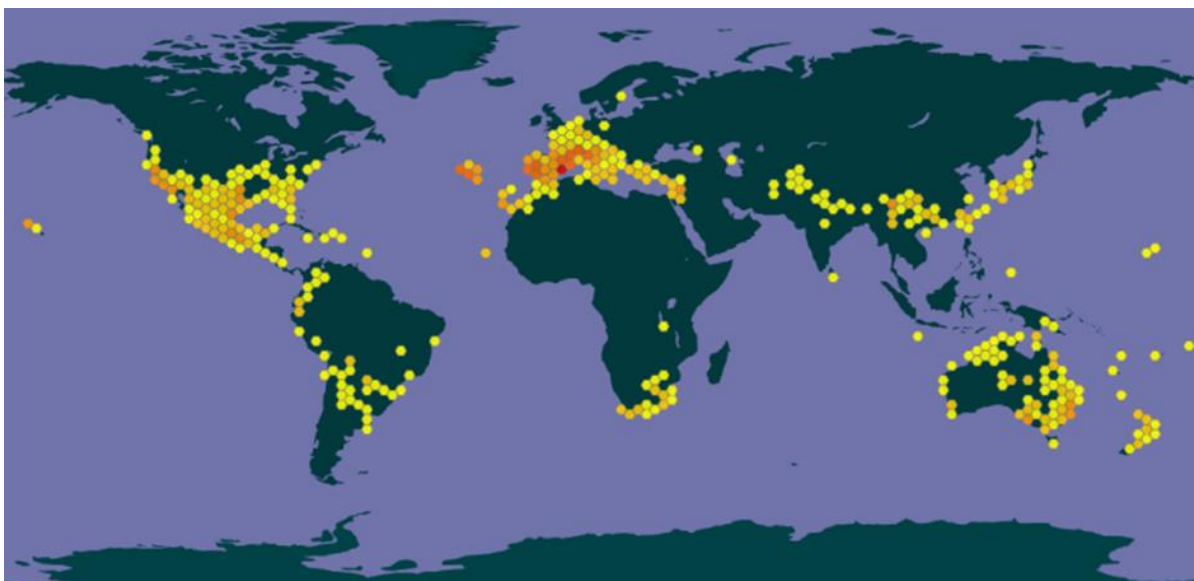


Figura 2. Ocorrências de *Arundo donax* ao redor do mundo em que pontos alaranjados indicam uma maior quantidade de registros e os amarelos uma menor quantidade de registros. No mapa, observamos que *Arundo donax* está presente em todos os continentes com exceção da Antártica, sendo de fato uma planta cosmopolita. Fonte: GBIF (2019).

Na América do Sul, dentre outros registros, *A. donax* é encontrado colonizando com sucesso

fitofisionomias do Cerrado no Distrito Federal, e pode ser frequentemente observado em áreas urbanas ou de cerrado antropizado (SIMÕES et al. 2013) até em áreas de proteção ambiental (MARTINS et al. 2007). O Cerrado é segundo o maior bioma sul-americano, atrás somente da Amazônia, e tem cerca de 2 milhões de km². É considerada a savana com a flora mais rica do planeta (KLINK & MACHADO, 2005). A maior parte da fitofisionomia do Cerrado é, como nas savanas em geral, composta por áreas de gramíneas com árvores espaçadas adaptadas a um clima bem definido, mas no bioma também ocorrem importantes fitofisionomias de áreas úmidas (SCHOLES & ARCHER, 1997, RIBEIRO & WALTER, 2008). O Clima do Cerrado é classificado como Aw na classificação atualizada de Köppen-Geiger (KOTTEK et al., 2006), sendo marcado por duas estações: a estação seca (abril a setembro) e a estação chuvosa (outubro a março), com temperatura média anual de 20,1°C e pluviosidade entre 1300 -1600 milímetros (RIBEIRO & WALTER, 2008). Devido a heterogeneidade de fitofisionomias, muitas plantas do Cerrado devem lidar com o estresse hídrico por escassez de água (déficit hídrico) ou excesso de água (alagamento) tanto ao longo do ano, quanto em algumas de suas distintas formações vegetais.

As várias formações vegetais que compõe o Bioma Cerrado (Figura 3) são diferenciadas pela proporção de árvores e extrato herbáceo e subarbusivo, e em função de características ambientais como água, profundidade do solo e nutrientes.

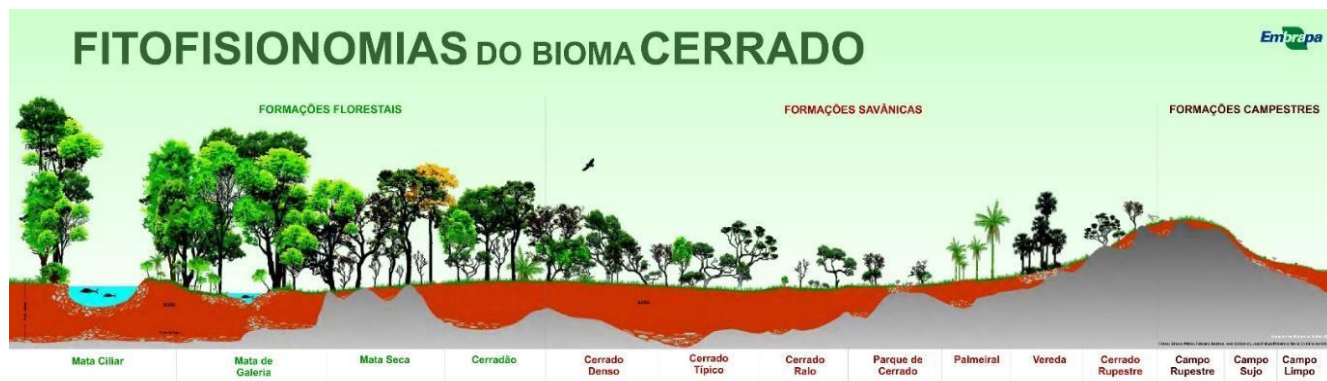


Figura 3. Ilustração das fitofisionomias do Cerrado. Fonte: EMBRAPA inspirada em RIBEIRO & WALTER (2008).

Entre as diferentes formações vegetais há uma tendência que *A. donax* ocupe cada vez mais, sobretudo, as formações vegetais úmidas, uma vez que se trata de uma espécie hidrófita (MAVROGIANOPOULOS et al., 2002) e a ocupação da espécie é observada em áreas úmidas em outras

partes do globo como, por exemplo, na bacia hidrográfica de Naomi e no complexo hidrográfico de Hunter no sudeste da Austrália (HADDADCHI et al., 2013).

No Cerrado as principais áreas úmidas correspondem aos murundus e as veredas. Os murundus são fitofisionomias de caráter estritamente herbáceo-subarbusivo, estabelecidas em solos temporariamente ou permanentemente encharcados, devido ao afloramento do lençol freático associado à deficiência de drenagem (COUTO et al., 1985). Já as veredas são compostas por terras úmidas rasas com afloramento de *Mauritia flexuosa* os quais são popularmente conhecidos como buritis (AUGUSTIN et al., 2009). Os murundus e as veredas são importantes porque possuem fauna e flora endêmicas, logo são importantes zonas de biodiversidade. Ademais, são áreas de recarga de lençóis freáticos, afinal nessas regiões é observado o “efeito esponja”. Para o homem, esses ambientes são importantes porque são fontes de energia por possuíres depósitos de carbono, são locais filtradores de resíduos nocivos advindos da agricultura assim são importantes para prevenir doenças e, por fim, fornecem frutos e fibras para comunidades locais (JUNK et al. (2014).

A presença de *A. donax* no Cerrado, em especial nas áreas úmidas, é preocupante, pois a planta frequentemente altera negativamente o ambiente em que habita tanto em níveis abióticos quanto em níveis bióticos (BELL, 1997; BOOSE & HOLT, 1999). Uma vez que, solos com populações de *A. donax* frequentemente são pobres em nitrogênio, fósforo e potássio devido à alta absorção da planta desses macronutrientes (DRAGONI et al., 2016; WILLIAMS et al., 2009). Concomitantemente, as populações de *A. donax* desequilibram o ciclo de queimadas por servirem como combustível em excesso nas savanas (COFFMAN et al., 2010) e também desequilibram o regime hídrico por influenciarem na percolação do solo e pelas elevadas taxas de evapotranspiração (BELL, 1997; BOOSE & HOLT, 1999; MAVROGIANOPOULOS et al., 2002). Ademais, *A. donax* provoca a substituição da flora nativa (BAIS et al., 2003; MARTINS et al., 2007) e diminui a riqueza local de artrópodes por não servir como alimentos para esses (GOOLSBY, 2009; HERRERA & DUDLEY, 2003) e de aves por não servir como substrato para construção de ninhos (BELL, 1997).

As plantas exóticas podem ser classificadas em diferentes grupos em função das características biológicas da espécie e em função dos arcabouços propostos. Segundo HOROWITZ et al. (2007), as espécies podem ser definidas em: Nativas quando ocorrem em sua distribuição natural; Exóticas ou Introduzidas quando ocorrem fora da sua distribuição natural devido à ação antrópica de forma acidental ou intencional, mas não sobrevivem; Exóticas Casuais quando são dispersas pelo homem e sobrevivem no ambiente sem deixar descendentes sendo extinguidas do local após completar o seu ciclo de vida;

Estabilizadas ou Persistentes quando as espécies introduzidas sobrevivem, se adaptam e se reproduzem no ambiente deixando descendência; e por fim, Exóticas Invasoras quando as são espécies estabilizadas se tornam dominantes nos ambientes em que ocorrem. Adicionalmente, HOROWITZ et al. (2007) definem que invasões ecológicas são fenômenos ecológicos que consistem na instalação, seguida de grande proliferação de uma espécie não nativa do ambiente, levando ao desequilíbrio da comunidade, podendo afetar os processos ecológicos, o meio físico e trazer danos econômicos. Já RICHARDSON et al. (2000), classifica as plantas exóticas em: Introduzidas quando atravessaram grandes barreiras geográficas com auxílio antrópico; Naturalizada quando as plantas introduzidas são capazes sobreviver e de se reproduzir após superar as barreiras limitantes dessas condições; e Invasoras quando são capazes de dispersar mais de 6 metros a cada 3 anos da planta mãe, seja por propágulos ou por sementes. Outrossim, RICHARDSON et al. (2000). Indicam que plantas invasoras por si só não são prejudiciais para o meio ambiente, é necessário considera-se o contexto e quando o efeito provocado é negativo, sugere-se o uso do termo “praga”.

Tendo em vista o contexto exposto, *A. donax* é, portanto, classificado como uma espécie invasora no Cerrado e uma praga de acordo com as proposições de (HOROWITZ et al., 2007) e de (RICHARDSON et al., 2000) respectivamente.

É recomendável que as plantas exóticas sejam manejadas (WALKER & SMITH, 1997). Para *A. donax*, a literatura científica relata quatro alternativas principais de manejo e controle populacional são elas: a remoção mecânica, a solarização, o controle biológico e, a técnica mais eficiente, a aplicação de herbicidas.

A primeira alternativa é pouco eficaz, pois a parte subterrânea da planta é profunda e não se retirando do solo o indivíduo por completo, novas plantas podem se formar por propagação vegetativa (CEOTTO & DI CANDILO, 2010). Ademais, a remoção física pode formar novos propágulos e aumentar o impacto ambiental da planta. Por outro lado, a solarização é outra alternativa de controle populacional. Ela consiste em cobrir o solo, e, conseqüentemente, esquentar a área coberta via radiação solar, causando a morte de organismos debaixo da área coberta (KATAN et al., 1987). Assim como na remoção física, a solarização não elimina completamente rizomas que, por serem profundos, escapam desse estresse. Na sequência, dita como a técnica mais eficiente, está o uso de herbicidas sistêmicos como o Glifosato e o Imazapyr (SPENCER, 2014). O glifosato foi usado no projeto de Controle da Cana-do-Reino no Rio Santa Margarita (EUA) e, na ocasião, extinguiu 90% da população da praga em, aproximadamente, 10 semanas (LAWSON et al., 2005). É válido ressaltar que apesar do Glifosato agir em rotas metabólicas exclusivas das plantas

também são observados efeitos adversos em animais como, por exemplo, a interferência negativa em enzimas digestivas (DE AMARANTE JUNIOR et al., 2002).

Por fim, existe a opção de controle biológico que consiste no uso de predadores específicos de *A. donax*. Segundo Goolsby (2009) nessa estratégia são usados os o “Insetos-Escala” (*Rhizaspidiotus donacis*) que se alimentam das raízes, o “Insetos-Mineiro-De-Bainhas-Foliares” (*Lasioptera donacis*) que se alimentam das folhas, o inseto *Cryptonevra* (*Cryptonevra spp.*), que se alimenta de brotos e rebrotas e, o biocontrolador mais efetivo, a “Vespa de Arundo” (*Tetramesa romana*), que se alimenta de vários órgãos da planta. Infelizmente, nenhuma dessas espécies é nativa do Cerrado do Distrito Federal, logo o uso dessa estratégia deve ser bem controlado, afinal, do contrário, o processo pode acarretar novas invasões biológicas, ou seja, novos impactos ambientais prejudiciais.

Assim como em outras invasões biológicas, informações relativas a reprodução, ao desenvolvimento e a fisiologia de *A. donax* no Cerrado podem ser úteis no controle populacional da espécie (FERREIRA, 2013). Tais informações, no entanto, são escassas ou inexistentes. Os conhecimentos disponíveis até o momento na literatura sobre o estabelecimento bem sucedido de *A. donax* no Cerrado não são suficientes para a elaboração de um plano de manejo eficiente da planta (SIMÕES et al., 2013), sendo necessário conhecer mais sobre a biologia da espécie que inclui a propagação, os condicionantes para crescimento e produtividade das plantas de *A. donax*, especialmente quando sujeitas às pressões ambientais existentes no bioma.

2. JUSTIFICATIVA

Tendo em vista a importância do Cerrado que é um *hotspot* de biodiversidade onde se integram diversas fitofisionomias e, em especial dos ecossistemas de áreas úmidas, que são zonas de Cerrado muito ameaçadas e importantes zonas de recarga de lençóis freáticos, chama a atenção os efeitos danosos provocados por uma planta hidrófila como *Arundo donax*. Efeitos tais como empobrecimento do solo, desbalanceamento de regimes hídricos e do ciclo de queimadas e a diminuição da biodiversidade devem ser evitados ou mitigados, sobretudo no cenário de mudanças climáticas em que as invasões biológicas serão mais frequentes.

Entende-se que as medidas que visam a prevenção e o controle só podem ser elaboradas com o conhecimento seguro da biologia da espécie, suas estratégias de reprodução e seu desenvolvimento e respostas fisiológicas às condições singulares e preponderantes do ecossistema em que se estabelece. No caso do Cerrado, as plantas são expostas ao estresse hídrico devido ao o regime de chuvas na região. Afinal, há no Cerrado um período de seca (sem chuvas) e um período de chuvas. Adicionalmente, no Cerrado existem gradientes hídricos entre as fitofisionomias, que podem ser de áreas abertas e secas (p. ex. cerrado stricto sensu), de áreas úmidas próximas a corpos d'água, ou ainda alagadas devido ao lençol freático superficial (p. ex. veredas e murundus). Condicionantes ambientais diferentes (falta ou excesso de água) exigem mecanismos adaptativos diferentes das plantas. *A. donax*, no entanto, aparenta responder positivamente às sazonalidades e tem se estabelecido com sucesso em ambas as fitofisionomias.

Neste caso, elaboramos as seguintes questões: populações de *A. donax* que invadiram áreas de Cerrado do Brasil Central possuem uma ampla plasticidade fenotípica que resulta no sucesso de seu estabelecimento, ou este estaria sendo favorecido ou limitado por alguma das condições como alagamento ou seca do solo? Como a planta responde a essas diferentes condições hídricas?

Atualmente, há uma escassez de dados relativos à invasão de plantas, e são justamente essas informações que possibilitam o manejo populacional eficiente, especialmente em áreas de elevada diversidade da flora, onde os danos podem ser acentuados. A importância do presente trabalho foi justamente, fornecer informações relativas à reprodução, desenvolvimento e sobrevivência de *A. donax* as pressões seletivas do Cerrado, sobretudo às condições hídricas. Tais informações são cruciais para estimar o potencial invasor da espécie, o local em que deve ocorrer com maior intensidade e o período de maior vigor ambiental da espécie. Com base nessas informações, será possível traçar manejos populacionais mais eficientes. Por fim, uma vez que o Brasil é signatário da Convenção Mundial de Biodiversidade e do Tratado de Ramsar, é necessário combater as invasões biológicas já que esses tratados estabelecem isso dentre outras coisas.

3. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desse trabalho foi avaliar a propagação e as respostas fisiológicas de plantas de *Arundo donax* (Poaceae) nas condições de estresse hídrico, isto é, alagamento ou déficit hídrico, consideradas condições ambientais intrínsecas ao Cerrado.

4. MATERIAL E MÉTODOS GERAIS

Nesta seção estão descritos os locais de coleta de *Arundo donax* e a obtenção do material vegetal utilizados nos experimentos de propagação vegetativa e crescimento de plantas, desenvolvidos no presente estudo.

4.1 ÁREAS DE COLETAS

Foi coletado o material vegetal (sinflorescências, colmos, rizomas ou plantas inteiras de *Arundo donax*), utilizado no presente estudo, em cinco diferentes áreas de Cerrado antropizado no Distrito Federal, DF (Figura 4, Tabela 1). Depois de coletados, os materiais foram armazenados em sacos plásticos identificados e transportados para o Laboratório de Fisiologia Vegetal da Universidade de Brasília (UnB) onde foram triados para o uso de acordo com os experimentos: com sinflorescências ou propagação vegetativa (Capítulo 1) ou experimentos com mudas (Capítulo 2). Os experimentos estão descritos nos capítulos correspondentes.



Figura 4. Mapa dos locais de coletas de indivíduos e colmos de *Arundo donax* no Distrito Federal, cada número representa um local de coleta. Mapa produzido com a ferramenta Google Maps ®.

Tabela 1. Áreas de coleta do material vegetal usados na pesquisa e as respectivas coordenadas geográficas.

Número da Área	Coordenada Geográfica	Descrição da Área
1	15°47'08.9"S 47°52'38.3"W	Terreno abandonado em área urbanizada.
2	15°46'11.3"S 47°51'54.2"W	Terreno úmido e com abundância de plantas invasoras.
3	15°50'12.5"S 47°54'34.0"W	Terreno antropizado com descarte de entulhos.
4	15°48'56.9"S 47°51'53.3"W	Cerrado antropizado próximo a corpo d'água.
5	15°45'48.8"S 47°54'59.6"W	Terreno antropizado em solo bem drenado.

4.2 OBTENÇÃO DE PROPÁGULOS PARA OS EXPERIMENTOS DE PROPAGAÇÃO VEGETATIVA

A fim de produzir propágulos (Figura 5), isto é, unidades reprodutivas, foi coletado a parte aérea de plantas adultas não senescentes e com aparência saudável nas áreas de coleta (4.1). Ainda em campo, foi descartado as partes aéreas com abundância de artrópodes ou fungos. Na sequência, o material coletado teve as folhas seccionadas a fim de que restassem apenas os colmos. Cada colmo foi cortado acima do primeiro nó basal e abaixo do terceiro nó basal, restando assim somente a região do segundo entrenó com a região meristemática do segundo nó basal, contendo cada colmo apenas uma gema lateral a qual foi exposta após a retirada da folha que a protegia. Dessa forma, foram produzidos os propágulos necessários para os experimentos de reprodução assexuada (Capítulo I), sendo o comprimento total e massa variáveis para cada propágulo produzido. Nos experimentos, foi considerado como propagação vegetativa a extrusão de qualquer estrutura advinda das gemas laterais tais como folhas, rebentos e raízes adventícias.

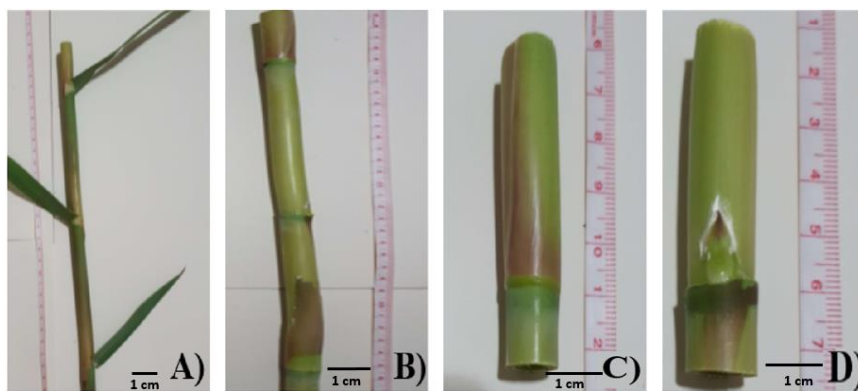


Figura 5. Passo a passo da obtenção dos propágulos de *Arundo donax*. A) → B) Corte de folhas; B) → C) Secção caulinar preservando-se apenas o 2º nó basal e C) → D) Exposição da gema lateral.

Foi quantificado a velocidade e o sucesso da reprodução dos experimentos pelas equações presentes em LABOURIAU (1983) adaptadas para colmos e para a reprodução assexuada (Tabela 2).

Tabela 2. Equações utilizadas no experimento adaptadas de (LABOURIAU, 1983) em que: pvE = número de propagações vegetativas efetivas; pT = propágulos totais utilizados; tA = tempo acumulado em horas.

Nome	Fórmula
Propagação Vegetativa - PV%	$PV/pT \times 100$
Tempo Médio de Propagação Efetiva – TMPV $\frac{\sum(PV \times tA)}{\sum PV}$	

Todos os experimentos de reprodução usando propágulos foram realizados no Laboratório de Alelopatia da UnB em condições controladas: fotoperíodo de 12h controlado por temporizador bivolt (EXATRON), irradiância de $100 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ averiguada por radiômetro (APOGUE), temperatura de 25 °C averiguada por meio de termo higrômetro (ISY), concentração de O₂ inicial de $7,52 \text{ g.mL}^{-1}$ e final de $4,82 \text{ g.mL}^{-1}$ oxímetro (OHAUS, ST300D) (medida apenas no experimento de alagamento), e umidade relativa entre 20% - 50% conferida por termo higrômetro (ISY).

4.3 PRODUÇÃO DE MUDAS PARA USO NOS EXPERIMENTOS DE ESTRESSE HÍDRICO

Na segunda fase de experimentos, foram produzidas plantas jovens (mudas) de *Arundo donax*. Primeiramente, foram coletadas plantas adultas nos locais de coleta (4.1) as quais foram levadas à Estação Experimental da UnB e consecutivamente transplantadas em vasos plásticos grandes de 30 L com solo Bioplant® com 3 porções de NPK 10:10:10 (VITAPLAN) – (Figura 6).



Figura 6. Plantas adultas de *Arundo donax*, obtidas diretamente do campo e transplantadas para baldes (30 L), na estação experimental de Biologia da UnB.

As plantas foram regadas na capacidade de campo a cada três dias durante um mês. Como resultado do processo, as plantas tiveram crescimento considerado de raízes e rizomas (Figura 7) e formaram clones de ramos secundários (Figura 8).

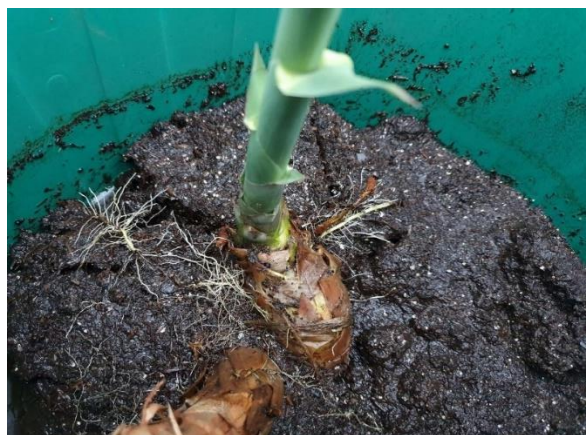


Figura 7. Desenvolvimento radicular e de rizoma de plantas de *Arundo donax* levadas a estação experimental.

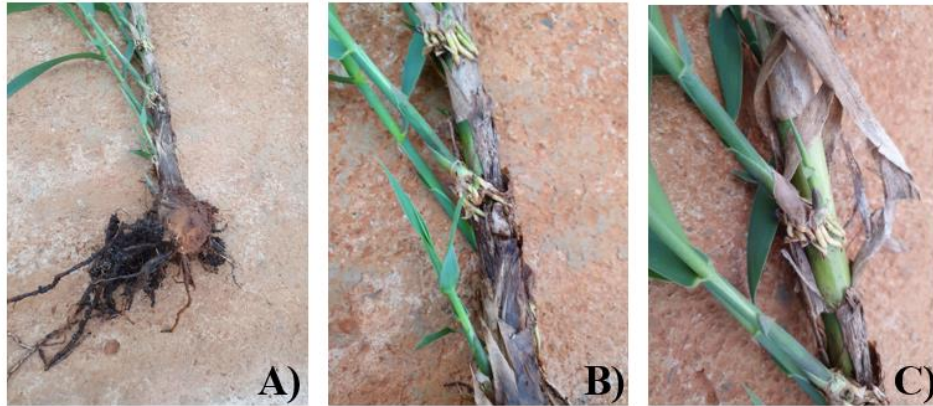


Figura 8. Plantas adulta de *Arundo donax* e clones advindos de ramos secundários. A) Planta-mãe; B) Disposição dos ramos secundários; C) Clones advindos de ramos secundário.

Na sequência, os rizomas e ramos secundários foram submetidos ao protocolo proposto por CEOTTO & DI CANDILO (2010) para produção de mudas de *A. donax*, as quais foram utilizadas na segunda fase de experimentos (Capítulo II). Quando as mudas desenvolveram raízes e folhas vantajosas, foram transferidas para vasos de plantas de 2,5L com solos Bioplant® e Areia Vermiculita expandida na proporção 1:1 com acréscimo de 1 uma porção (100 mg) de NPK 10:10:10 (VITAPLAN) para suprir a demanda dessas por macro nutrientes (DRAGONI et al., 2016; WILLIAMS et al., 2009). Por fim, as mudas formadas foram expostas a iluminação natural e regadas a cada 3 dias até atingirem a idade de 1 mês (Figura 9). As mudas foram produzidas entres os meses de abril e maio de 2019.



Figura 9. Mudanças de *Arundo donax* com 3 semanas de idades na estação experimental da UnB.

4.4 EXPERIMENTOS COM MUDAS SUBMETIDAS AO ESTRESSE HÍDRICO

As mudas anteriormente produzidas (4.3), com cerca de 1 mês de idade, foram transferidas para vasos de terra maiores de capacidade 5L (1vaso/1 planta), para que o crescimento radicular não fosse prejudicado. Cada vaso foi colocado em caixas plásticas de dimensões 32,5 cm por 15,3 cm por 23,5 cm com capacidade 7,5 L. (Figura 10).



Figura 10. Unidades amostrais do experimento de estresse hídrico com mudas de *Arundo donax* na Estação Experimental da Universidade de Brasília (UnB).

Em continuidade, foram separadas as mudas nos grupos de Alagamento, Controle e Seca por meio de sorteio. Os grupos divergiram apenas em função da rega. O Alagamento teve regas frequentes afim de preservar-se lâmina de água de 5 cm, o Controle teve regas a cada dois dias na capacidade de campo e a Seca teve regas semanais com 25% do volume da capacidade de campo (Figura 11). Cada tratamento contou com 7 réplicas.

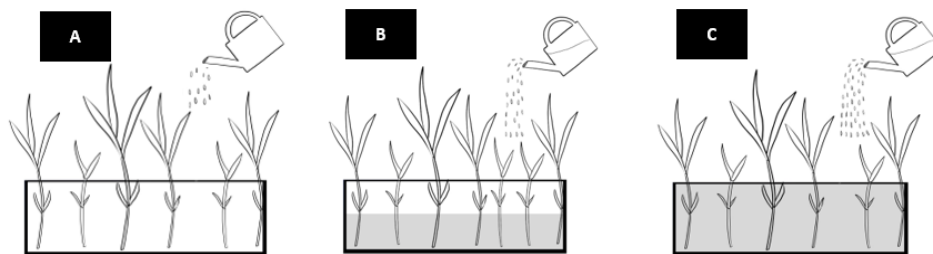


Figura 11. Ilustração dos grupos do experimento de estresse hídrico de *Arundo donax*. (A) Seca, (B) Controle e (C) Alagamento.

O experimento foi conduzido ao longo de 1 mês na Estação Experimental da UnB cuja as condições ambientais foram anotadas na Tabela 3.

Tabela 3. Condições ambientais do experimento de estresse hídrico com mudas de *Arundo donax* na estação experimental da UnB durante o fotoperíodo de 12 H.

Condição ambiental	Valor observado	Equipamento utilizado
Concentração de CO ₂	7,2 g.mL ⁻¹ (início) e 6,4 g.mL ⁻¹ (fim)	Oxímetro (OHAUS, ST300D)
Intensidade luminosa máxima	2200 μmol.m ⁻² . s ⁻¹	Radiômetro (APOGUE)
Temperatura máxima	41 °C	Termômetro de campo
Temperatura mínima	10 °C	Termômetro de campo
Umidade relativa média	42%	IRGA LI-6400XT

A submissão do estresse hídrico e as análises subsequentes foram realizadas entre os meses de maio a junho de 2019.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMAD, R. et al. Molecular evidence for a single genetic clone of invasive *Arundo donax* in the United States. **Aquatic Botany**, v. 88, n. 2, p. 113–120, fev. 2008. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304377007001362>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- AL-SNAFI, A. The constituents and biological effects of *Arundo donax* - A review. **International Journal of Phytopharmacy Research**, v. 6, n. 1, p. 34–40, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/313664196_The_constituents_and_biological_effects_of_Arundo_donax_-_A_review>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- AUGUSTIN, C. et al. Aspectos geomorfológicos de veredas: um ecossistema do bioma do cerrado, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 10, n. 1, p. 103–114, 2009. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/277863955_Aspectos_geomorfologicos_de_veredas_um_ecossistema_do_bioma_do_cerrado_Brasil>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- BALOGH, E. et al. Defective development of male and female gametophytes in *Arundo donax* L. (POACEAE). **Biomass and Bioenergy**, v. 45, p. 265–269, out. 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/257421167_Defective_development_of_male_and_female_gametophytes_in_Arundo_donax_L_POACEAE>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- BAIS, H. P. et al. Allelopathy and Exotic Plant Invasion: From molecules and genes to species interactions. **Science**, v. 301, n. 5638, p. 1377–1380, 2003. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12958360>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- BASU, S. et al. Plant adaptation to drought stress. **F1000Research**, v. 5, p. 1–10, 2016. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4937719/>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- BELL, G. P. Ecology and management of *Arundo donax* and approaches to riparian habitat restoration in southern California. In: J.H. BROCK, M. WADE, P. PYŠEK, D. G. (Ed.). **Plant Invasions: Studies from North America and Europe**. [s.l.] Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, 1997. p. 103–113. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/262014287_Ecology_and_management_of_Arundo_donax_and_approaches_to_riparian_habitat_restoration_in_southern_California>. Acesso em: 20 dez. 2019.

- BOOSE, A. ; HOLT, J. S. Environmental effects on asexual reproduction in *Arundo donax*. **Weed Research**, v. 39, n. 2, p. 117–127, 1999. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/230285500_Environmental_effects_on_asexual_reproduction_in_Arundo_donax>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- BRADLEY, B. et al. Predicting plant invasions in an era of global change. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 25, n. 5, p. 310–318, 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169534709003693>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- CEOTTO, E.; DI CANDILO, M. Shoot cuttings propagation of giant reed (*Arundo donax* L.) in water and moist soil: The path forward? **Biomass and Bioenergy**, v. 34, n. 11, p. 1614–1623, 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953410001844>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- COFFMAN, et al. Wildfire promotes dominance of invasive giant reed (*Arundo donax*) in riparian ecosystems. **Biological Invasions**, v. 12, n. 8, p. 2723–2734, 2010. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10530-009-9677-z>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- COLLINS, A. R., et al. Small-scale genotypic richness stabilizes plot biomass and increases phenotypic variance in the invasive grass *Phalaris arundinacea*. **Journal of Plant Ecology**, v. 11, n. 1, p. 47–55, 2018. Disponível em: <<https://academic.oup.com/jpe/article/11/1/47/4396360>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- CORNO, L. et al. New energy crop giant cane (*Arundo donax* L.) can substitute traditional energy crops increasing biogas yield and reducing costs. **Bioresource Technology**, v. 191, p. 197–204, 2015. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25997008>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- COUTO, E. et al. Terra ardendo. **Ciência Hoje**, v. 3, n. 16, p. 48–57, 1985. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/236273913_Terra_ardendo>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- DE AMARANTE JUNIOR, O. et al. Glifosato: Propriedades, toxicidade, usos e legislação. **Química Nova**, v. 25, n. 4, p. 589–593, 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422002000400014&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- FERREIRA, C. Bases para o manejo e o controle da espécie exótica invasora *Arundo donax* L. (cana-do-reino) em áreas de vegetação nativa do Distrito Federal. **Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal**, 2013. Disponível em: <<https://www.jusbrasil.com.br/diarios/106766075/dodf-secas-03-22-12-2015-pg-37>>. Acesso em: 20 dez. 2019.

- GIESSOW, J. et al. *Arundo donax* Distribution and Impact Report. **California Invasive Plant Council**. Disponível em: <http://www.cal-ipc.org/wp-content/uploads/2017/11/Arundo_Distribution_Impact_Report_Cal-IPC_March-2011_small.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- GOOLSBY, J. Biocontrol Battle Begins Against Giant Reed (Arundo) I. **Agricultural Research**, 2009. Disponível em: <<https://agresearchmag.ars.usda.gov/2009/jul/arundo/>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- GONÇALVES, A. T. C.; MINA, I. Estudos de crescimento de *Arundo donax* para utilização no tratamento de efluentes salinos. Orientadora: Maria Teresa Borges. **Dissertação (Mestrado em Ecologia, Ambiente e Território) - Faculdade de Ciências da Universidade do Porto**, p. 71, 2012. Disponível em: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:hCH7LlpoYCoJ:https://sigarra.up.pt/fcup/pt/pub_geral.show_file%3Fpi_doc_id%3D80226+&cd=2&hl=ptBR&ct=clnk&gl=br&client=opera>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- HADDADCHI, A et al. M. The expansion of sterile *Arundo donax* (Poaceae) in southeastern Australia is accompanied by genotypic variation. **Aquatic Botany**, v. 104, p. 153–161, 2013. Disponível em: <<https://www.cabi.org/ISC/abstract/20133001308>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- HARDION, L. et al. Origin of the invasive *Arundo donax* (Poaceae): a trans-Asian expedition in herbaria. **Annals of Botany**, v. 114, n. 3, p. 455–462, 1 set. 2014. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25081517>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- HERRERA, A et al. Reduction of riparian arthropod abundance and diversity as a consequence of giant reed (*Arundo donax*) invasion. **Biological Invasions**, v. 5, n. 3, p. 167–177, 2003. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1023/A:1026190115521>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- HOROWITZ, C. et al. Espécies Exóticas Arbóreas, Arbustivas e Herbáceas que ocorrem nas zonas de uso especial e de uso intensivo do Parque Nacional de Brasília: Diagnóstico e Manejo. **Ministério do Meio Ambiente**, 2007. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/320466888_ESPECIES_EXOTICAS_ARBOREAS_ARBUSTIVAS_E_HERBACEAS_QUE_OCORREM_NAS_ZONAS_DE_USO_ESPECIAL_E_DE_USO_INTENSIVO_DO_PARQUE_NACIONAL_DE_BRASILIA_DIAGNOSTICOS_E_MANEJO>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- HSIAO, C. et al. A molecular phylogeny of the subfamily Arundinoideae (Poaceae) based on sequences of rDNA. **Australian Systematic Botany**, v. 11, n. 1, p. 41, 1998. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/248900580_A_molecular_phylogeny_of_the_subfamily_

- Arundinoideae_Poaceae_based_on_sequences_of_rDNA >. Acesso em: 20 dez. 2019.
- IBRAM. Relatório do I Workshop de Espécies Exóticas Invasoras do Distrito Dederal. **SEI/GDF - Relatório de Atividades**, p. 1–12, 2018a. Disponível em: <<http://www.ibram.df.gov.br/especies-exoticas-invasoras-do-df/>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- IBRAM. Instrução Normativa N°409/2018. **Diário Oficial do Distrito Federal. Anais...**2018b. Disponível em: <<http://www.ibram.df.gov.br/especies-exoticas-invasoras-do-df/>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- JUNK, J. et al. Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 24, n. 1, p. 5–22, 2014. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/aqc.2386>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- KATAN, J. et al. The first decade (1976–1986) of soil solarization (solar heating): A chronological bibliography. **Phytoparasitica**, v. 15, n. 3, p. 229–255, 1987. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/BF02979585>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- KHUDAMRONGSAWAT, J. et al. Genetic diversity of giant reed (*Arundo donax*) in the Santa Ana River, California. **Weed Science**, v. 52, n. 3, p. 395–405, 2004. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/232682949_Genetic_diversity_of_giant_reed_Arundo_donax_in_the_Santa_Anna_River_California>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- KLINK, C.; MACHADO, R. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v. 1, p. 281–282, 2005. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/228342037_A_conservacao_do_Cerrado_brasileiro>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- KØRUP, K. et al. Biomass production and water use efficiency in perennial grasses during and after drought stress. **GCB Bioenergy**, v. 10, n. 1, p. 12–27, 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/318152945_Biomass_production_and_water_use_efficiency_in_perennial_grasses_during_and_after_drought_stress>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- KOTTEK, M. et al. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259–263, 2006. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/51997463_World_Map_of_the_KoppenGeiger_Climate_Classification_Updated>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- LABOURIAU, L.G. 1983a. A germinação das sementes. **Organização dos Estados Americanos:**

Programa Regional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Série de Biologia. Monografia, v.24, 1983.

- LEWANDOWSKI, I. et al. The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. **Biomass and Bioenergy**, v. 25, n. 4, p. 335–361, 2003. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953403000308> >. Acesso em: 20 dez. 2019
- LI, C. et al. Phytoremediation of Zn- and Cr-Contaminated Soil Using Two Promising Energy Grasses. **Water Air and Soil Pollution**, v. 225, n. 7, p. 1-12, 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/278074460_Phytoremediation_of_Zn-_and_Cr-Contaminated_Soil_Using_Two_Promising_Energy_Grasses>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- LOWE, S. et al. 100 of the World's Worst Invasive Alien Species a Selection from the Global Invasive Species Database. **The Invasive Species Specialist Group (ISSG) a specialist group of the Species Survival Commission (SSC) of the World Conservation Union (IUCN)**, 2004. Disponível em:< <https://www.iucn.org/content/100-worlds-worst-invasive-alien-species-a-selection-global-invasive-species-database> >. Acesso em: 20 dez. 2019.
- Luna Ercilla, C. A. La cana commune. **Chacra** 22(257): 44-45, 1952.
- MANN, J. et al. Miscanthus × giganteus and *Arundo donax* shoot and rhizome tolerance of extreme moisture stress. **GCB Bioenergy**, v. 5, n. 6, p. 693–700, 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/258726905_Miscanthus_giganteus_and_Arundo_donax_shoot_and_rhizome_tolerance_of_extreme_moisture_stress >. Acesso em: 20 dez. 2019.
- MARTINS, C. et al. Levantamento das gramíneas exóticas do Parque Nacional de Brasília, Distrito Federal, Brasil. **Natureza & Conservação**, v. 5, n. 2, p. 23–30, 2007. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/264195058_Levantamento_das_gramineas_exoticas_do_Parque_Nacional_de_Brasilia_Distrito_Federal_Brasil>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- MAVROGIANOPOULOS, G. et al. Use of wastewater as a nutrient solution in a closed gravel hydroponic culture of giant reed (*Arundo donax*). **Bioresource Technology**, v. 82, n. 2, p. 103–107, 2002. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852401001808> >. Acesso em: 20 dez. 2019.
- MIRZA, N. et al. Phytoremediation potential of *Arundo donax* in arsenic-contaminated synthetic wastewater. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 15, p. 5815–5819, 2010. Disponível em:< <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20363125> >. Acesso em: 20 dez. 2019.

- NETO, P. et al. Variations in chemical composition and structure of macromolecular components in different morphological regions and maturity stages of *Arundo donax*. **Industrial Crops and Products**, v. 6, n. 1, p. 51–58, 1997. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669096002051>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- ORTIZ-MOREA, A. et al. Global analysis of the sugarcane microtranscriptome reveals a unique composition of small RNAs associated with axillary bud outgrowth. **Journal of Experimental Botany**, v. 64, n. 8, p. 2307–2320, 2013. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23564956>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- OSBORNE, B.; GIORIA, M. Plant invasions. **Journal of Plant Ecology**, v. 11, n. 1, p. 1–3, 2018. Disponível em: <<https://academic.oup.com/jpe/article/11/1/1/4817364>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- PAPAZOGLU, G. *Arundo donax* L. stress tolerance under irrigation with heavy metal aqueous solutions. **Desalination**, v. 211, n. 1–3, p. 304–313, 2007. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916407002342>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- PEARCY, R.; EHLERINGER, J. Comparative ecophysiology of C3 and C4 plants. **Plant, Cell and Environment**, v. 7, n. 1, p. 1–13, 2006. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/229492315_Comparative_ecophysiology_of_C3_and_C4_plants>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- PERDUE, R. E. *Arundo donax*-Source of musical reeds and industrial cellulose. **Economic Botany**, v. 12, n. 4, p. 368–404, 1958. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/BF02860024>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- PINTÓ-MARIJUAN, M.; MUNNÉ-BOSCH, S. Ecophysiology of invasive plants: osmotic adjustment and antioxidants. **Trends in Plant Science**, v. 18, n. 12, p. 660–666, 2013. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24001766>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- PYŠEK, P. et al. A global assessment of invasive plant impacts on resident species, communities and ecosystems: the interaction of impact measures, invading species' traits and environment. **Global Change Biology**, v. 18, n. 5, p. 1725–1737, 2012. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3597245/>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- RATTER, J. The Brazilian Cerrado Vegetation and Threats to its Biodiversity. **Annals of Botany**, v. 80, n. 3, p. 223–230, 1997. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0305736497904698> >. Acesso em: 20 dez. 2019.

REICH, P. et al. Leaf structure (specific leaf area) modulates photosynthesis-nitrogen relations: Evidence from within and across species and functional groups. **Functional Ecology**, v. 12, n. 6, p. 948–958, 1998. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/2390490?seq=1>>. Acesso em: 20 dez. 2019.

RICHARDSON, D. M. et al. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. **Biodiversity Research**, v. 6, p. 93–107, 2000. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/228606366_Naturalization_and_invasion_of_alien_plants_Concepts_and_definitions >. Acesso em: 20 dez. 2019

PILU et al. Giant reed (*Arundo donax* L.): A weed plant or a promising energy crop? **African Journal of Biotechnology**, v. 11, n. 38, p. 9163–9174, 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/268407828_Giant_reed_Arundo_donax_L_A_weed_plant_or_a_promising_energy_crop>. Acesso em: 20 dez. 2019.

RODRIGUES, R et al. Rendimento de Biomassa da Cana-do-Reino. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, p. 1-23, 2007. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/745881?locale=en>>. Acesso em: 20 dez. 2019.

ROSSA, B. et al. *Arundo donax* L. (Poaceae) - a C₃ Species with Unusually High Photosynthetic Capacity. **Botanica Acta**, v. 111, n. 3, p. 216–221, 1998. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/269345285_Arundo_donax_L_Poaceae_a_C3_Species_with_Unusually_High_Photosynthetic_Capacity>. Acesso em: 20 dez. 2019.

SAIKIA, R. et al. Perennial grass (*Arundo donax* L.) as a feedstock for thermo-chemical conversion to energy and materials. **Bioresource Technology**, v. 188, p. 265–272, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852415001091>>. Acesso em: 20 dez. 2019.

SCHOLES, R.; ARCHER, S. Tree-grass interactions in savannas. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 28, n. 1, p. 517–544, 1997. Disponível em: <>. Acesso em: 20 dez. 2019.

SHATALOV, A.; PEREIRA, H. Influence of stem morphology on pulp and paper properties of *Arundo donax* L. reed. **Industrial Crops and Products**, v. 15, n. 1, p. 77–83, 2002. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/30509618_Tree-grass_interactions_in_Savannas>. Acesso em: 20 dez. 2019.

SIMÕES, C. et al. Distribuição de Cana-do-Reino (*Arundo donax* L.) no Distrito Federal, Brasil.

- Biodiversidade Brasileira**, v. 3, n. 2, p. 97–105, 2013. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/revistaelectronica/index.php/BioBR/article/view/329>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- SIMÕES, K. . Ocorrência e caracterização da espécie invasora *Arundo donax* L. (CANA-DO-REINO) no Distrito Federal, Brasil. Orientador: John Du Vall Hay. **Dissertação de Mestrado; Pós-Graduação em Ecologia; Universidade de Brasília; Brasil**, p. 125, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.unb.br/handle/10482/13791>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- SPATZ, H. et al. Biomechanics of the giant reed *Arundo donax*. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences**, v. 352, n. 1349, p. 1–10, 29 jan. 1997. Disponível em: <<https://royalsocietypublishing.org/doi/abs/10.1098/rstb.1997.0001>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- SPENCER, D. Evaluation of stem injection for managing giant reed (*Arundo donax*). **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 49, n. 9, p. 633–638, 2014. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03601234.2014.922397>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- SPENCER, D. et al.. Spatial and temporal variation in RGR and leaf quality of a clonal riparian plant: *Arundo donax*. **Aquatic Botany**, v. 81, n. 1, p. 27–36, 2005. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304377004001585> >. Acesso em: 20 dez. 2019.
- STRIKER GABRIEL. Flooding Stress on Plants: Anatomical, Morphological and Physiological Responses. In: **Botany**. [s.l: s.n.]. p. 3–28. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/221929146_Flooding_Stress_On_Plants_Anatomical_Morphological_And_Physiological_Responses>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- VASCONCELOS, G. ; GOMES, C. Propagação assexuada da Cana-do-Reino (*Arundo donax* L.). **Nota Técnica EMBRAPA**, v. 1. n. 158, p. 1-4, 2007. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/292615197_Use_of_Poor_Quality_Water_to_Produce_High_Biomass_Yields_of_Giant_Reed_Amndo_donax_L_on_Marginal_Lands_for_Biofuel_or_PulpPaper>. Acesso em: 20 de. 2019.
- WILLIAMS, J. et al. Use of saline land and wastewater for growing a potencial biofuel crop (*Arundo donax*). **Irrigation Australia 2008 Conference**, v. CD, n. May, p. 1–8, 2008. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/292615197_Use_of_Poor_Quality_Water_to_Produce_High_Biomass_Yields_of_Giant_Reed_Amndo_donax_L_on_Marginal_Lands_for_Biofuel_or_PulpPaper>. Acesso em: 20 dez. 2019.

- WILLIAMS, J. et al. Use Of Poor Quality Water To Produce High Biomass Yields Of Giant Reed (*Arundo donax* L.) On Marginal Lands For Biofuel Or Pulp/Paper. **Acta Horticulturae**, n. 806, p. 595–602, jan. 2009. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/292615197_Use_of_Poor_Quality_Water_to_Produce_High_Biomass_Yields_of_Giant_Reed_Amndo_donax_L_on_Marginal_Lands_for_Biofuel_or_Pulp_Paper>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- ZHANG, J. et al. Adsorption of malachite green from aqueous solution onto carbon prepared from *Arundo donax* root. **Journal of Hazardous Materials**, v. 150, n. 3, p. 774–782, 2008. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389407007509>>. Acesso em: 20 dez. 2019.

CAPÍTULO I

Estudo da viabilidade da reprodução sexuada e aspectos da propagação vegetativa de *Arundo donax*

RESUMO

Arundo donax L. (Poaceae) é uma planta invasora presente no Cerrado do Distrito Federal (DF) com um alto potencial de dano ao ambiente físico e à biodiversidade local, em especial a locais de áreas úmidas, próximos a corpos d'água, conseqüentemente o manejo populacional da espécie é prioritário segundo o Instituto Brasília Ambiental (IBRAM). O objetivo desse estudo foi obter conhecimento sobre as estratégias reprodutivas das populações de *A. donax* estabelecidas em áreas de cerrado no DF. Para tanto foi investigado se (a) *A. donax* se reproduz por meio de sementes; (b) quais são os menores propágulos viáveis; (c) se a planta se reproduz assexuadamente no alagamento, em que taxa e em quanto tempo ela se reproduz, a fim de simular a invasão inicial da planta em corpos d'água e (d) por quanto tempo os propágulos (pedaços de colmo) permanecem viáveis após o corte da planta. Após triagem de 1000 inflorescências de distintas áreas com auxílio de lupa, não foram encontradas sementes viáveis. Portanto, corroborou-se que, de fato, *A. donax* somente se reproduz de forma assexuada por meio da fragmentação de colmos e rizomas na região do DF. Nos testes de determinação dos menores propágulos, foram cortados diferentes propágulos para que se encaixassem em uma das 10 classes distintas pelo comprimento (0,5 – 10 cm) e pela massa (0,1 – 5,0 g). Na seqüência, foram embebidos três propágulos de cada classe para estimular a propagação vegetativa. Como resultado, foi observado que os menores propágulos capazes de originar novas plantas tiveram entre 2,1 – 3,0 cm de comprimento e entre 2,1 – 2,5 g de massa. O resultado demonstra que a poda é ineficiente no controle populacional, afinal essa técnica origina propágulos diminutos e intensifica a invasão de *A. donax*. No experimento de alagamento, foram usados três tratamentos: o controle no qual os propágulos eram mantidos úmidos, e três tratamentos de alagamento distinguíveis pelas lâminas d'água (5 cm, 10 cm e 15 cm) nas condições controladas de 25° C, fotoperíodo de 12h, cada tratamento com 10 unidades amostrais. Todos os tratamentos resultaram em novas plantas, o que demonstrou a capacidade de *A. donax* em se reproduzir assexuadamente até mesmo no alagamento. As taxas de Propagação Vegetativa (PV%) foram de 65% no Controle; 75 % no Alagamento (5 cm); 60% no Alagamento (10 cm) e 70% no Alagamento (15 cm), não estaticamente diferentes $F(3, 80) = 0,15$; $p < 0,92$) segundo teste ANOVA. Por outro lado, o Tempo Médio de Propagação Efetiva (TMPV) elevou-se ao longo do tempo, sendo de 48h (Controle e Alagamento 5 cm), 72 h (Alagamento 10 cm), e 144 h (Alagamento 15 cm), resultado estatisticamente diferentes para o Alagamento (15 cm) em relação aos demais de acordo com o teste ANOVA, $F(3, 80) = 4,42$; $P < 0,007$). Por fim, no experimento de viabilidade, foram embebidos 10 diferentes propágulos a cada semana, durante 6 semanas. Concomitantemente, foi estimada a perda de água a partir da variação da massa dos propágulos ao longo das semanas. Como

resultado notou-se que a viabilidade é decrescente ao longo do tempo, sendo as taxas de PV% de 100%, na 1ª semana, de 70% na 2ª semana, de 20% na 3ª semana e inexistente nas semanas seguintes, e da mesma forma é a perda de água, sendo de 26,64% na 1ª semana, 77,80% na 2ª semana, de 97,22% na 3ª semana, de 97,74% na 3ª semana e absoluta nas semanas seguintes. Logo, a reprodução de *A. donax* é fortemente dependente da disponibilidade água. O conjunto de informações indicam que o potencial invasivo da espécie é maior em áreas úmidas do Cerrado como veredas e murundus em comparação com áreas secas do Cerrado. Além disso, foi reportado que o período ideal de concentração dos esforços de manejo populacional será entre os meses de abril a setembro, isto é, os meses de seca no Cerrado porque justamente nesse período a reprodução assexuada da planta é menos eficiente.

ABSTRACT

Arundo donax L. (Poaceae) is an invasive plant present in the Cerrado of the Federal District (DF) with a high potential of damage to the physical environment and local biodiversity, especially to humid fields, consequently the population management of the species is a priority according to the Brasilia Environmental Institute (IBRAM). The objective of this study was to obtain knowledge about the reproductive strategies of the populations of *A. donax* established in areas of Cerrado in the DF. Therefore, it was investigated whether (a) *A. donax* reproduces by means of seeds; (b) which are the smallest viable propagules; (c) if the plant reproduces asexually in flooding, at what rate and in how long, thus simulating the invasion of the plant in water bodies and (d) for how long the propagules remain viable after cutting the plant and exposed to continuous water loss. After the opening of 1000 inflorescences from different areas, the screening, with the aid of a magnifying glass, did not find viable seeds. Therefore, we corroborate that, in fact, *A. donax* only reproduces asexually through the fragmentation of stalks and rhizomes in the region of DF. In the tests to determine the smallest propagules, we cut different propagules so that they fit into one of 10 distinct classes by length (0.5 - 10 cm) and mass (0.1 - 5.0 g). In the sequence, we soaked three propagules in controlled conditions analogous to the Cerrado, thus stimulating vegetative propagation. We observed that the smallest seedlings capable of producing new plants were between 2,1 - 3,0 cm long and between 2,1 - 2,5 g in mass. The result shows that pruning is inefficient in population control, after all this technique originates small propagules and intensifies the invasion of *A. donax*. In the flooding experiment, we used three treatments: the control in which the propagules were kept moist, and three flooding treatments distinguished by the water slides (5 cm, 10 cm and 15 cm) under controlled conditions of 25° C, 12h photoperiod and each treatment with 10 sample units. In all treatments we observed q extrusion of shoots from the buds, demonstrating the ability of *A. donax* to reproduce asexually even in flooding. The Vegetative Propagation rates (PV%) were 65% in Control; 75% in Flooding (5 cm); 60% in Flooding (10 cm) and 70% in Flooding (15 cm), not statically different $F(3, 80) = 0.15$; $p < 0.92$) according to ANOVA test. On the other hand, the Mean Time of Effective Propagation (TMPV) increases over time, being 48h (Control and Flooding 5 cm), 72 h (Flooding 10 cm), and 144 h (Flooding 15 cm), statistically different result for Flooding (15 cm) in relation to the others according to ANOVA test, $F(3, 80) = 4.42$; $P < 0.007$). Finally, in the viability experiment, we soak 10 different controlled propagules each week for 6 weeks. At the same time, we estimated the loss of water from the variation in the mass of the propagules over the weeks. As result, we noticed that the viability is decreasing over time, being the PV% rates of 100% in the 1st week, 70% in the 2nd week, 20% in the 3rd week and nonexistent in the following

weeks, and the same is the water loss, being 26.64% in the 1st week, 77.80% in the 2nd week, 97.22% in the 3rd week, 97.74% in the 3rd week and absolute in the following weeks. Therefore, we observe that the reproduction of *A. donax* is strongly dependent on the availability of water. The set of information indicates that the invasive potential of the species is greater in wet areas of the Cerrado such as veredas and murundus compared to dry areas of the Cerrado. Besides, we report that the ideal period of concentration of the population management efforts will be between the months of April and September, that is, the months of drought in the Cerrado because exactly in this period the asexual reproduction of the plant is less efficient.

1. INTRODUÇÃO

Arundo donax é uma planta da família Poaceae e da tribo Arundineae (HSIAO et al., 1998). Trata-se de uma planta herbácea com: rizomas bulbosos dos quais emergem raízes fibrosas que penetram profundamente no solo; colmos ocos os quais podem alcançar 8 metros de altura, divididos em entrenós e nós os quais são ramificados após 1 ano de crescimento; folhas lanceoladas dispostas em filotaxia alternada e ricas em silicato; e sinflorescências plumosas (AL-SNAFI, 2015; MIRZA et al., 2010; PERDUE, 1958; SPATZ et al., 1997; ZHANG et al., 2008). A planta é originária do Oriente Médio (HARDION et al., 2014), contudo tem distribuição cosmopolita ocupando todos os continentes, inclusive a América do Sul

A gramínea é conhecida mundialmente pelo potencial invasivo, afinal em outras partes do mundo a espécie é considerada uma praga de acordo com a classificação proposta por (RICHARDSON et al., 2000) porque provoca alterações ambientais negativas tais como o desbalanceamento do ciclo de queimadas (COFFMAN et al., 2010), a diminuição da biodiversidade de artrópodes (HERRERA & DUDLEY, 2003) e o desequilíbrio de regimes hídricos (BELL, 1997a; BOOSE & HOLT, 1999). Por essas razões, *A. donax* figura na lista da *International Union for Conservation of Nature* (IUCN) como uma 100 piores espécies alienígenas invasoras do mundo (LOWE et al., 2004).

A invasão de *A. donax* concentra-se, sobretudo, em áreas úmidas conforme visto em CAL-IPC, (2011) e em BELL (1997), provavelmente devido ao fato da espécie ser hidrófita (MAVROGIANOPOULOS et al., 2002) somado ao fato de que tais áreas são especialmente suscetíveis as invasões biológicas (ZEDLER & KERCHER, 2004). No futuro cenário de mudanças climáticas, é esperado a intensificação das invasões biológicas em todas as vegetações do Cerrado (BRADLEY et al., 2010).

Uma vez que o Cerrado é um *hotspot* global de biodiversidade (RATTER, 1997), com espécies endêmicas e a savana com a flora mais diversa do planeta (KLINK & MACHADO, 2005), medidas são necessárias para mitigar os efeitos negativos da invasão de *A. donax* nesse bioma que já perdeu mais de 50% da cobertura original (FERREIRA et al., 2011). As áreas úmidas de cerrado como as veredas e os murundus, que são os locais mais susceptíveis, são importantes áreas de recarga de lençóis freáticos e importantes centros de biodiversidade (JUNK et al., 2014) e também encontram-se em acelerado processo de degradação (ROSOLEN et al., 2015), realçando assim a importância do manejo populacional para a

preservação dessas importantes áreas.

O combate de invasões biológicas requer o conhecimento específico da biologia da espécie cujo o manejo se deseja fazer (KETTENRING & ADAMS, 2011; OSBORNE & GIORIA, 2018). Mais que é isso, deve-se estudar a biologia da população em questão da invasão, afinal as diferentes populações de *A. donax* podem apresentar diferentes singularidades conforme visto em (KHUDAMRONGSAWAT et al., 2004).

Dentre os aspectos biológicos relevantes, a reprodução é de mister estudo. Afinal, para se fixar em novos ambientes, as plantas necessitam se reproduzir de forma eficiente, do contrário as espécies são extintas com o tempo (RICHARDSON et al., 2000). Para *A. donax*, os estudos relatam que a propagação é majoritariamente assexuada e ocorre a partir da fragmentação de colmos e rizomas (CEOTTO & DI CANDILO, 2010). Porém, é necessário averiguar se o mesmo ocorre na vegetação do DF. Além disso, é necessário investigar aspectos relativos a viabilidade dos propágulos, se a propagação vegetativa ocorre no alagamento, a que taxa e em quanto tempo esses processos ocorrem nas condições ambientais típicas do Cerrado que tem clima Aw na classificação atualizada de Köppen-Geiger (KOTTEK et al., 2006) e é marcado pela Estação seca (abril a setembro) e Estação chuvosa (outubro a março), com temperatura média anual de 20,1°C e pluviosidade entre 1300 -1600 milímetros (RIBEIRO & WALTER, 2008).

O conjunto dessas informações auxiliará a estimar a invasão de *A. donax* no Cerrado, em especial em áreas úmidas, e fornecerá subsídios futuros para manejo populacional informando, dentre outras coisas, a melhor época para o manejo.

2. OBJETIVO

Avaliar os aspectos da propagação de *Arundo donax*, de populações estabelecidas em áreas do Cerrado no Distrito Federal. Verificar se é possível ocorrer a reprodução sexuada de *A. donax*, por meio da existência de sementes viáveis em suas sinflorescências, e avaliar a propagação assexuada a partir de propágulos oriundos de colmos, em diferentes condições experimentais, que simulam situações encontradas no campo.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar se *Arundo donax* produz sementes;
- Avaliar qual o menor tamanho de propágulos capaz de originar uma nova planta por propagação vegetativa;
- Quantificar por quanto tempo os propágulos da planta permanecem viáveis após cortados da planta-mãe;
- Verificar se os propágulos são capazes de originar novas plantas quando submersos, em que taxa e em quanto tempo ocorre a extrusão ou não de novas plantas quando alagados;

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 TRIAGEM DE INFLORESCÊNCIAS

Para averiguar a reprodução sexuada em *A. donax* foram coletadas 100 sinflorescências das 5 diferentes áreas de coleta (4.1 – Material e Métodos gerais). Das sinflorescências coletadas foram abertas 1000 espiguetas as quais foram visualizadas em lupa estereoscópica (BIOFOCUS) no aumento de 50 vezes. Procurou-se por frutos cariópseos e sementes em cada espiguetas.

3.2 COMPRIMENTO E MASSA MÍNIMOS DE PROPÁGULOS VIÁVEIS

O experimento teve a finalidade de determinar se propágulos pequenos são capazes de originar novas plantas tendo em vista são produzidos, na poda ou naturalmente, propágulos tanto grandes quanto pequenos.

Primeiramente, os propágulos de *A. donax* foram escolhidos por sorteios advindos da etapa de produção de propágulos (4.2 – Material e Métodos gerais). Na sequência, cada propágulo foi cortado de forma que se encaixassem em uma das 10 distintas classes do experimento as quais divergem pelo comprimento e pela massa, e cada classe contou com três repetições (Tabela 1).

Tabela 1. Classes de propágulos de *Arundo donax* separados em função do comprimento e da massa.

Classe	Comprimento (cm)	Massa (g)
1°	0,1 - 0,5	0,1 - 0,5
2°	0,6 – 1,0	0,6 – 1,0
3°	1,1 – 1,5	1,1 – 1,5
4°	1,6 – 2,0	1,6 – 2,0
5°	2,1 – 3,0	2,1 – 3,0
6°	3,1 – 4,0	3,1 – 4,0
7°	4,1 – 5,0	4,1 – 5,5
8°	5,1 – 6,0	5,6 – 6,6
9°	6,1 – 8,0	6,7 – 8,8
10°	8,0 – 10,0	8,8 – 10,0

Os propágulos de cada classe, totalizando 30 ao todo, foram dispostos em bandejas plásticas Biopráticas® nas dimensões de 43,5 cm por 29,6 cm por 7,5 cm, forradas com dupla camada de papel filtro embebidos em água (WHATMANN 42), os quais foram mantidos sempre úmidos para preservar manter a constante hidratação das gemas laterais (Figura 1). Não foram usados quaisquer solos ou substratos uma vez que são desnecessários na propagação vegetativa. O experimento ocorreu no mês de setembro de 2018.



Figura 1. Propágulos de *Arundo donax* das 10 diferentes classes embebidos e mantidos em bandejas Briopáticas® com papéis filtros mantidos úmidos para manter a constante hidratação das gemas laterais. Experimento realizado no Laboratório de Alelopatia em condições controladas fotoperíodo, irradiância temperatura e umidade relativa controladas.

3.4 PROPAGAÇÃO VEGETATIVA EM CONDIÇÕES DE ALAGAMENTO

Nesse experimento (Figura 2), foram sorteados os propágulos de *A. donax* oriundos da fase de produção de propágulos (4.2 – Material e Métodos gerais) a fim de que fosse enquadrado em um dos quatros grupos experimentais. Os grupos experimentais constituíram-se três tratamentos de alagamento distinguíveis pela altura da lâmina de água acima do ápice dos propágulos (lâminas de 5 cm, 10 cm, e 15 cm) e um controle em que os propágulos foram embebidos constantemente por papéis filtro (WHATMANN 42) mantidos úmidos a fim de estimular a propagação vegetativa das gemas laterais.

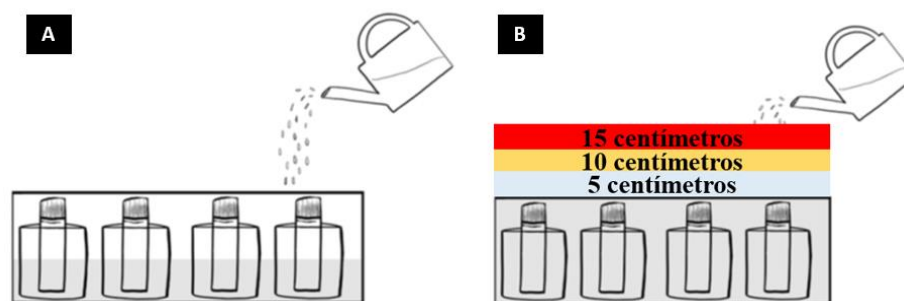


Figura 2. Ilustração do experimento de propagação vegetativa no alagamento com propágulos de *Arundo donax*, tratamento Controle (A) e tratamentos de Alagamentos (B). Alagamentos distinguíveis pelas lâminas 'de água de 5 cm (em azul claro), de 10 cm (em amarelo) e de 15 cm (em vermelho). Experimento realizado no Laboratório de Alelopatia em condições controladas de fotoperíodo, irradiância temperatura e umidade relativa.

Em cada tratamento, foram usados 20 propágulos distribuídos em 4 caixas plásticas de dimensões 32,5 cm por 15,3 cm por 23,5 cm com capacidade 7,5 L. O limite para averiguação de propagação vegetativa foi de 1 mês. A definição de propagação vegetativa foi mesma descrita em 4.2 (Material e Métodos Gerais), foi usada a quantificação de Porcentagem de Propagação Vegetativa Efetiva (PV%) e de Tempo Médio de Propagação Vegetativa Efetiva (TMPV) descritas na mesma unidade. O experimento ocorreu nos meses de março e abril de 2018.

3.3 VIABILIDADE DE PROPÁGULOS

Foram sorteados propágulos de *A. donax* oriundos da etapa de produção de propágulos (4.2 – Material e Métodos Gerais), que foram armazenados em bandejas plásticas Biopráticas® nas dimensões de 43,5 cm por 29,6 cm por 7,5 cm envoltas com papel filme com furos para preservação da umidade até os testes (Figura 3). As bandejas foram mantidas em sala de crescimento a 25° C e fotoperíodo de 12h.



Figura 3. Propágulos de *Arundo donax* armazenados em bandeja plástica para o experimento de viabilidade de propágulos. Experimento realizado no Laboratório de Alelopatia em condições controladas fotoperíodo, irradiância temperatura e umidade relativa.

A cada semana 10 propágulos eram sorteados e colocados para germinar, a fim de avaliar a germinabilidade. Os 10 propágulos eram embebidos com água filtrada em copos plásticos de 0,5 L (Figura 4). O processo foi repetido a cada semana por 6 semanas. A definição de propagação vegetativa usada e a fórmula de Propagação Vegetativa (PV%) estão presentes na unidade 4.2 (Material e Métodos Gerais).

Concomitantemente, foi aferida perda de água dos propágulos. Para isso, os propágulos de *A. donax* foram pesados para obtenção da massa em balança de precisão 0,001 g (MARTE - AY220) no dia da coleta e, semanalmente, até a massa não variar mais o que representou a perda total de água. O experimento ocorreu em abril de 2018.



Figura 4. Propágulos de *Arundo donax* embebidos uma semana após a coleta durante o experimento de viabilidade. Experimento realizado no Laboratório de Alelopatia em condições controladas de fotoperíodo, irradiância temperatura e umidade relativa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 TRIAGEM DE INFLORESCÊNCIAS

Em todas as espiguetas abertas não foram encontradas sementes (Figura 5), o que foi independente da época do ano e do local de coleta. O resultado demonstra que, de fato, a população de *A. donax* que se estabeleceu no DF produz frutos estéreis, que não contribuem para a propagação vegetativa da espécie no Cerrado, conforme visto em outras partes do globo como nos trabalhos de CEOTTO & DI CANDILO (2010), GONÇALVES (2012) e WILLIAMS et al. (2009). Provavelmente devem ocorrer os mesmos erros de gametogêneses descritos por BALOGH et al. (2012) e, conseqüentemente, as populações dessa região são clones ou então possuem baixa diversidade conforme visto por AHMAD et al. (2008) em outra região. Ressaltamos que a clonalidade foi corroborada anteriormente por SIMÕES et al. (2013) por meio de testes de sequências polimórficas de DNA.

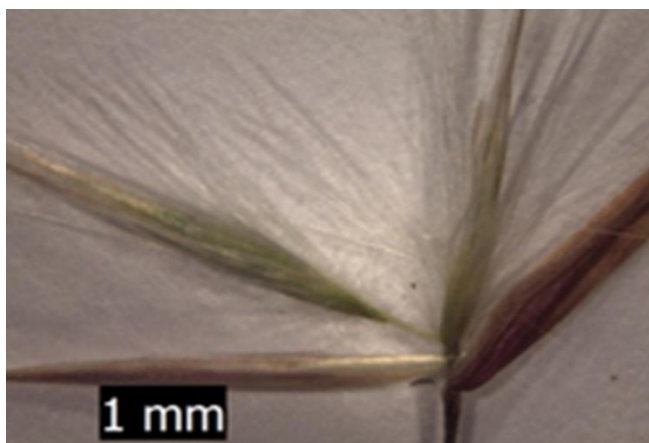


Figura 5. Espiguetas estéreis de *Arundo donax* abertas sem sementes.

4.2 COMPRIMENTO E MASSA MÍNIMOS DE PROPÁGULOS VIÁVEIS

Os menores propágulos capazes de originar novas plantas saudáveis advieram da 5ª classe de

tamanho e massa, que apresentavam entre 2,1 cm e 3,0 cm de comprimento e entre 2,1 g e 2,5 g (Figura 6). Embora o início da propagação efetiva pudesse ser observado a partir da 4ª classe de tamanho e massa, com a extrusão de primórdios de folhas e raízes, os propágulos dessa classe não se desenvolviam e morriam.



Figura 6. Propágulo de *Arundo donax*, com comprimento entre 2,1 cm e 3,0 cm e massa entre 2,1 g e 2,5 g, representando a 5ª classe, a menor capaz de originar novas mudas.

O resultado obtido está de acordo com de outros autores (SIMÕES 2013) (CEOTTO & DI CANDILO, 2010) que reportaram que mesmo propágulos pequenos, com apenas um entrenó, podem servir como fontes de propagação da espécie. Neste caso, a rebrota ocorreu, possivelmente, devido a manutenção de tecido meristemático existente na região do entrenó (meristema intercalar). No presente estudo, no entanto, verifica-se que além da permanência de tecido meristemático, que define um propágulo, também é necessária uma massa mínima que garanta a manutenção deste durante a fase inicial de rebrota, o que tem efeito direto sobre a viabilidade do propágulo.

Em relação ao manejo populacional, o resultado obtido demonstra que a poda é ineficiente e ainda intensifica a invasão da praga *A. donax*. Os propágulos diminutos, por serem mais leves, podem ainda ser dispersados por distâncias maiores principalmente por corpos d'água conforme proposto por (BELL, 1997) o que pode explicar o grande dispersão da planta, que para outras espécies, em geral, a qual não é visto por propágulos e sim por sementes (KETTENRING & ADAMS, 2011).

4.4 PROPAGAÇÃO VEGETATIVA EM CONDIÇÕES DE ALAGAMENTO

Em todas os tratamentos ocorreram propagação vegetativa efetiva, assim demonstrando que até mesmo propágulos submersos são capazes de originar novas plantas (Figura 7 e Figura 8).

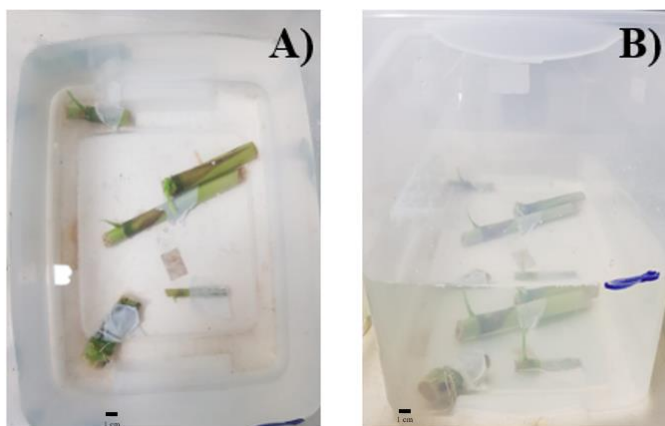


Figura 7. Propágulos de *Arundo donax* submersos com propagação vegetativa efetiva, A) visão frontal e B) visão lateral.



Figura 8. Planta de *Arundo donax* originária do tratamento de alagamento com lâmina de água de 15 cm de altura.

Quantificando-se a propagação vegetativa, os primeiros propágulos com propagação em cada grupo levaram: 48h (Controle e Alagamento 5 cm), 72 h (Alagamento 10 cm), e 144 h (Alagamento 15 cm).

Em relação ao TMPV, observou-se diferenças significativas entre o tratamento de alagamento de 15 cm e os demais ($F_{(3, 80)} = 4,42$; $P < 0,007$) - (Figura 9). A média de cada grupo com o desvio padrão

foram de: Controle 157 ± 89 ; Alagamento (5 cm) 118 ± 77 ; Alagamento (10 cm) 186 ± 55 ; Alagamento (15 cm) 231 ± 72 .

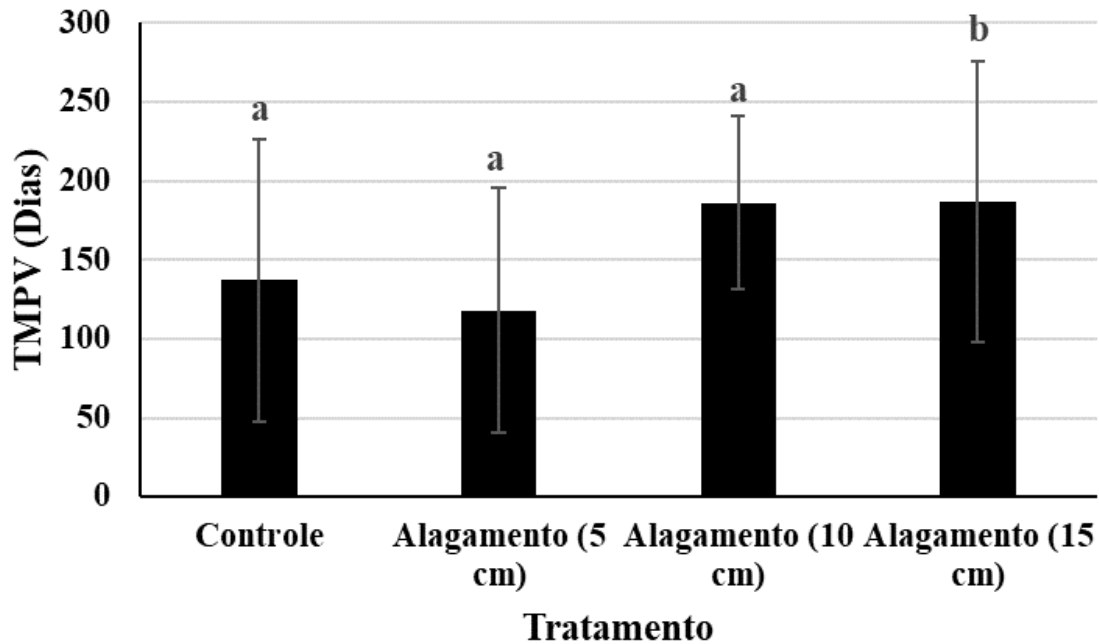


Figura 9. Tempo Médio de Propagação Vegetativa Efetiva (TMPV) em função dos tratamentos de estresse hídrico para os propágulos de *Arundo donax*. Médias com o desvio padrão, médias com letras iguais não são significativamente diferentes ($p < 0,05$), $n = 20$.

Por outro lado, a PV% entre os tratamentos não apresentou diferenças estatísticas significativas ($F_{(3, 80)} = 0,15$; $p < 0,92$) não sendo possível descartar H_0 – (Figura 10). O PVE% de cada grupo foi de: Controle = 65%; Alagamento (5 cm) = 75%; Alagamento (10 cm) = 60%; Alagamento (15 cm) = 70%.

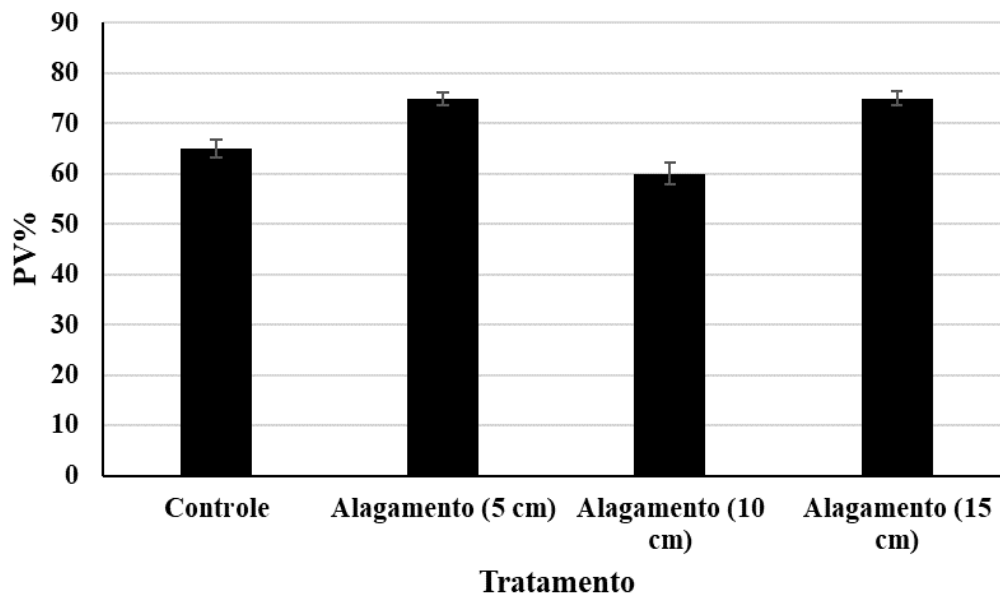


Figura 10. Porcentagem de Propagação Vegetativa Efetiva (PV%) em função dos tratamentos de estresse hídrico para os propágulos de *Arundo donax*. Tratamentos sem diferenças estatísticas significativas ($p < 0,05$), $n = 20$.

Era esperado que no alagamento, que PV% *A. donax* se elevasse uma vez que isso é visto em gramíneas como em *Arundinella hirta* (ZENG et al., 2006). Novos testes devem ser feitos em campo no futuro a fim de corroborar se de fato o alagamento não acarreta a elevação da reprodução de *A. donax* uma vez que em laboratório outras variáveis presentes na natureza são descartadas.

Apesar da primeira consideração, os dados obtidos indicam que *A. donax* reproduz de forma rápida e eficiente nas condições ambientais do Cerrado em condições de alagamento, afinal a diminuição em TMPV em função do alagamento é modesta. Dessa forma, corroboramos o potencial invasivo da praga em regiões de alagamento parcial no Cerrado como as veredas e os murundus (JUNK et al., 2014). Apesar do potencial, até o momento, a invasão da planta em áreas úmidas não é frequentemente reportada.

Os resultados obtidos devem ser observados do ponto de vista da competição ecológica de *A. donax* com outras plantas. Sabe-se que as espécies alienígenas invasivas tendem a evitar a competição local com as espécies nativas ao invés de investir em vantagens competitivas. (OSBORNE & GIORIA, 2018). Sendo assim, a reprodução rápida de *A. donax* no alagamento favorece a invasão por evitar a competição direta com espécies nativas do Cerrado tais como *Aristida gibbosa*, *Hypogynium virgatum*, *Paspalum pectinatum* e *Paspalum stellatum* as quais necessitam de mais de 20 dias para a germinação de sementes (CARMONA

et al, 1998). Ou seja, quando as plântulas dessas espécies emergem, *A. donax* já se encontra estabelecida no ambiente, favorecendo a invasão da espécie.

Outra consideração importante é de que o ápice de reprodução da espécie deve ocorrer entre os meses de chuva que são entre outubro a março no Cerrado do DF, portanto, não recomendamos esse período para o manejo populacional da praga.

4.3 VIABILIDADE DE PROPÁGULOS

A massa dos propágulos decresceu gradativamente, chegando a cerca de 20-25% da biomassa inicial no final de 3 semanas (Figura 11 A). A massa média dos propágulos que inicialmente era de 26,17 g \pm 15,20 (massa fresca), ao final do experimento foi de 7,29 g \pm 4,24 (massa seca). Por conseguinte, o conteúdo de água total correspondeu a 18,88 g em massa. Ao mesmo tempo, a propagação vegetativa (PV%) dos propágulos de *A. donax* reduziu cerca de 80% no mesmo período de 3 semanas (Figura 10B). O número de propágulos que rebrotaram na 1ª semana foi de 100%, na 2ª semana foi de 70%, na 3ª semana foi de 20% e em diante não foram observadas novas propagações vegetativas (Figura 11 B).

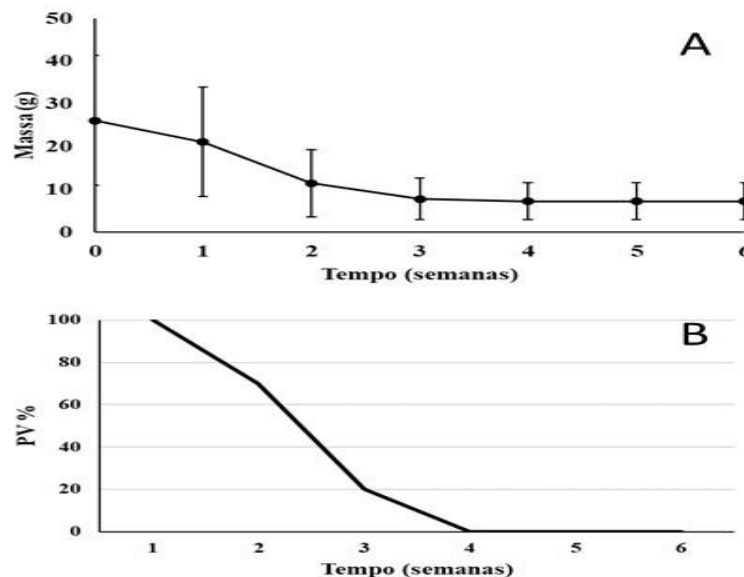


Figura 11. (A) Valores médios da massa dos propágulos e (B) porcentagem de propagação vegetativa (PV%) dos propágulos de *Arundo donax* em função do tempo em semanas, n=10.

Na primeira semana a perda de água foi de 5,02 g o que corresponde a 26,64% do total, na segunda semana foi de 9,65 g o que corresponde a 51,16% do total, na 3ª semana foi de 3,66 g o que corresponde a 19,42%, na 4ª semana foi de 0,52 o que corresponde a 2,78% do total. A partir desse ponto em diante a massa dos propágulos não variou mais, significando a perda total do conteúdo de água, isto é, 100%.

Os resultados indicam que há uma relação direta entre PV% e o conteúdo de água dos propágulos, uma vez que a diminuição do conteúdo de água indicou a queda da propagação vegetativa. Assim sendo, a dispersão de *A. donax* deve ser limitada ou prejudicada em áreas secas do Cerrado como o Cerradão. Isso se deve provavelmente a desidratação e consequente destruição das gemas laterais que são regiões ricas em meristemas nas gramíneas (ORTIZ-MOREA et al., 2013) e de onde advém a extrusão de gemas.

Os resultados obtidos estão em acordo com os obtidos com CEOTTO & DI CANDILO (2010) e GONÇALVES (2012) que apontaram a grande dependência de água para a reprodução assexuada de *A. donax*. VASCONCELOS & GOMES (2007) recomenda inclusive o pré-tratamento com água para a reprodução mais eficiente da espécie.

Diante do exposto, estratégias de manejo populacional devem se concentrar na estação seca (abril a setembro), afinal após 1 mês de déficit hídrico os propágulos são ineficazes na formação de novas plantas.

5. CONCLUSÕES

No Cerrado do DF, a reprodução de *Arundo donax* ocorre apenas de forma assexuada, pela propagação vegetativa a partir de colmos e rizomas, a reprodução sexuada por sementes não é efetiva, tendo em vista que a planta produz cariopses secas, ou seja, estéreis. Mesmo propágulos pequenos de *Arundo donax*, com comprimento entre 2,1 cm e 3,0 cm de comprimento e massas entre 2,1 g e 2,5 g, são capazes de originar novas plantas. O que reforça que o manejo populacional por meio da poda das plantas não é viável. Ao contrário do que se pretende, o corte produz novos propágulos e contribui com a invasão da espécie. Por outro lado, a viabilidade dos propágulos após a segmentação da planta-mãe é curta, e pode durar no máximo 30 dias. A reprodução de *A. donax* é severamente limitada à oferta de água e deve ser prejudicada em ambientes secos. Esse pode ser um limitante à sua propagação, pois, como o Cerrado tem uma estação seca bem definida, é possível estimar que período ideal do manejo populacional ocorra no

período de início da seca do Cerrado, após a suspensão do período de chuvas. A característica danosa de *A. donax* é confirmada, uma vez que a espécie se reproduz mesmo quando alagada, por conseguinte a invasão da planta em ambientes úmidos como veredas e murundus é provável, caso a invasão continue se alastrando. Medidas de prevenção e controle da planta devem ser tomadas o quanto antes pelos tomadores de decisão, e devem levar em consideração a biologia da planta e as particularidades das fitofisionomias do cerrado.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMAD, R. et al. Molecular evidence for a single genetic clone of invasive *Arundo donax* in the United States. **Aquatic Botany**, v. 88, n. 2, p. 113–120, fev. 2008. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304377007001362>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- BALOGH, E. et al. Defective development of male and female gametophytes in *Arundo donax* L. (POACEAE). **Biomass and Bioenergy**, v. 45, p. 265–269, out. 2012. Disponível em:<https://www.researchgate.net/publication/257421167_Defective_development_of_male_and_female_gametophytes_in_Arundo_donax_L_POACEAE>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- BASU, S. et al. Plant adaptation to drought stress. **F1000Research**, v. 5, p. 1–10, 2016. Disponível em:<<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4937719/>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- BELL, G. P. Ecology and management of *Arundo donax* and approaches to riparian habitat restoration in southern California. In: J.H. BROCK, M. WADE, P. PYŠEK, D. G. (Ed.). **Plant Invasions: Studies from North America and Europe**. [s.l.] Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, 1997. p. 103–113. Disponível em:<https://www.researchgate.net/publication/262014287_Ecology_and_management_of_Arundo_donax_and_approaches_to_riparian_habitat_restoration_in_southern_California>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- BOOSE, A. ; HOLT, J. Environmental effects on asexual reproduction in *Arundo donax*. **Weed Research**, v. 39, n. 2, p. 117–127, 1999. Disponível em:<https://www.researchgate.net/publication/230285500_Environmental_effects_on_asexual_reproduct>

ion_in_Arundo_donax>. Acesso em: 20 dez. 2019.

BRADLEY, B. et al. Predicting plant invasions in an era of global change. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 25, n. 5, p. 310–318, 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169534709003693>>. Acesso em: 20 dez. 2019.

CAL-IPC. *Arundo donax* - Distribution and Impact Report. **State Water Resources Control Board**, 2011. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/267777285_Arundo_donax_Distribution_and_Impact_Report_State_Water_Resources_Control_Board_California_Invasive_Plant_Council_March_2011>. Acesso em: 20 dez. 2019.

CARMONA, R. et al. Fatores que afetam a germinação de sementes de gramíneas nativas do cerrado. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 20, n. 1, p. 16–22, 1998. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/286275990_Fatores_que_afetam_a_germinacao_de_sementes_de_gramineas_nativas_do_cerrado>. Acesso em: 20 dez. de 2019.

CEOTTO, E.; DI CANDILO, M. Shoot cuttings propagation of giant reed (*Arundo donax* L.) in water and moist soil: The path forward? **Biomass and Bioenergy**, v. 34, n. 11, p. 1614–1623, 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953410001844>>. Acesso em: 20 dez. 2019.

COFFMAN, et al. Wildfire promotes dominance of invasive giant reed (*Arundo donax*) in riparian ecosystems. **Biological Invasions**, v. 12, n. 8, p. 2723–2734, 2010. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10530-009-9677-z>>. Acesso em: 20 dez. 2019.

COLLINS, A. et al. Small-scale genotypic richness stabilizes plot biomass and increases phenotypic variance in the invasive grass *Phalaris arundinacea*. **Journal of Plant Ecology**, v. 11, n. 1, p. 47–55, 2018. Disponível em: <<https://academic.oup.com/jpe/article/11/1/47/4396360>>. Acesso em: 20 dez. 2019.

CORNO, L. et al. New energy crop giant cane (*Arundo donax* L.) can substitute traditional energy crops increasing biogas yield and reducing costs. **Bioresource Technology**, v. 191, p. 197–204, 2015. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25997008>>. Acesso em: 20 dez. 2019.

FERREIRA, C. Bases para o manejo e o controle da espécie exótica invasora *Arundo donax* L. (cana-do-reino) em áreas de vegetação nativa do Distrito Federal. **Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal**, 2013. Disponível em: <<https://www.jusbrasil.com.br/diarios/106766075/dodf-secao-03-22-47>>

12-2015-pg-37>. Acesso em: 20 dez. 2019.

FERREIRA, G. et al. Detecção de Desmatamentos no Bioma Cerrado entre 2002 E 2009: Padrões, Tendências e Impactos. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 03, n. 63, p. 341–349, 2011. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/43744>>. Acesso em: 20 dez. 2019.

GISSOW, J. et al. *Arundo donax* Distribution and Impact Report. **California Invasive Plant Council**. Disponível em: <http://www.cal-ipc.org/wp-content/uploads/2017/11/Arundo_Distribution_Impact_Report_Cal-IPC_March-2011_small.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2019.

GONÇALVES, A.; MINA, I. Estudos de crescimento de *Arundo donax* para utilização no tratamento de efluentes salinos. Orientadora: Maria Teresa Borges. **Dissertação (Mestrado em Ecologia, Ambiente e Território) - Faculdade de Ciências da Universidade do Porto**, p. 71, 2012. Disponível em:<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:hCH7LlpoYCoJ:https://sigarra.up.pt/fcup/pt/pub_geral.show_file%3Fpi_doc_id%3D80226+&cd=2&hl=ptBR&ct=clnk&gl=br&client=opera>. Acesso em: 20 dez. 2019.

HADDADCHI, A et al. M. The expansion of sterile *Arundo donax* (Poaceae) in southeastern Australia is accompanied by genotypic variation. **Aquatic Botany**, v. 104, p. 153–161, 2013. Disponível em:<<https://www.cabi.org/ISC/abstract/20133001308>>. Acesso em: 20 dez. 2019.

HARDION, L. et al. Origin of the invasive *Arundo donax* (Poaceae): a trans-Asian expedition in herbaria. **Annals of Botany**, v. 114, n. 3, p. 455–462, 1 set. 2014. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25081517>>. Acesso em: 20 dez. 2019.

HERRERA, A et al. Reduction of riparian arthropod abundance and diversity as a consequence of giant reed (*Arundo donax*) invasion. **Biological Invasions**, v. 5, n. 3, p. 167–177, 2003. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1023/A:1026190115521>>. Acesso em: 20 dez. 2019.

HOROWITZ, C. et al. Espécies Exóticas Arbóreas, Arbustivas e Herbáceas que ocorrem nas zonas de uso especial e de uso intensivo do Parque Nacional de Brasília: Diagnóstico e Manejo. **Ministério do Meio Ambiente**, 2007. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/320466888_ESPECIES_EXOTICAS_ARBOREAS_ARBUSTIVAS_E_HERBACEAS_QUE_OCORREM_NAS_ZONAS_DE_USO_ESPECIAL_E_DE_USO_INTENSIVO_DO_PARQUE_NACIONAL_DE_BRASILIA_DIAGNOSTICOS_E_MANEJO>. Acesso em: 20 dez. 2019.

- HSIAO, C. et al. A molecular phylogeny of the subfamily Arundinoideae (Poaceae) based on sequences of rDNA. **Australian Systematic Botany**, v. 11, n. 1, p. 41, 1998. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/248900580_A_molecular_phylogeny_of_the_subfamily_Arundinoideae_Poaceae_based_on_sequences_of_rDNA>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- IBRAM. Relatório do I Workshop de Espécies Exóticas Invasoras do Distrito Federal. **SEI/GDF - Relatório de Atividades**, p. 1–12, 2018a. Disponível em: <<http://www.ibram.df.gov.br/especies-exoticas-invasoras-do-df/>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- IBRAM. Instrução Normativa N°409/2018. **Diário Oficial do Distrito Federal. Anais...**2018b. Disponível em: <<http://www.ibram.df.gov.br/especies-exoticas-invasoras-do-df/>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- JUNK, W. et al. Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 24, n. 1, p. 5–22, 2014. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/aqc.2386>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- KETTENRING, K. M.; ADAMS, C. R. Lessons learned from invasive plant control experiments: A systematic review and meta-analysis. **Journal of Applied Ecology**, v. 48, n. 4, p. 970–979, 2011. Disponível em: <<https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2664.2011.01979.x>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- KHUDAMRONGSAWAT, J. et al. Genetic diversity of giant reed (*Arundo donax*) in the Santa Ana River, California. **Weed Science**, v. 52, n. 3, p. 395–405, 2004. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/232682949_Genetic_diversity_of_giant_reed_Arundo_donax_in_the_Santa_Anariver_California>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- KLINK, C.; MACHADO, R. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v. 1, p. 281–282, 2005. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/228342037_A_conservacao_do_Cerrado_brasileiro>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- KØRUP, K. et al. Biomass production and water use efficiency in perennial grasses during and after drought stress. **GCB Bioenergy**, v. 10, n. 1, p. 12–27, 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/318152945_Biomass_production_and_water_use_efficiency_in_perennial_grasses_during_and_after_drought_stress>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- LEWANDOWSKI, I. et al. The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy

- crops in the US and Europe. **Biomass and Bioenergy**, v. 25, n. 4, p. 335–361, 2003. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953403000308>>. Acesso em: 20 dez. 2019
- LI, C. et al. Phytoremediation of Zn- and Cr-Contaminated Soil Using Two Promising Energy Grasses. **Water Air and Soil Pollution**, v. 225, n. 7, p. 1-12, 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/278074460_Phytoremediation_of_Zn-_and_Cr-Contaminated_Soil_Using_Two_Promising_Energy_Grasses>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- LOWE, S. et al. 100 of the World's Worst Invasive Alien Species a Selection from the Global Invasive Species Database. **The Invasive Species Specialist Group (ISSG) a specialist group of the Species Survival Commission (SSC) of the World Conservation Union (IUCN)**, 2004. Disponível em:<<https://www.iucn.org/content/100-worlds-worst-invasive-alien-species-a-selection-global-invasive-species-database>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- MANN, J. et al. Miscanthus × giganteus and *Arundo donax* shoot and rhizome tolerance of extreme moisture stress. **GCB Bioenergy**, v. 5, n. 6, p. 693–700, 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/258726905_Miscanthus_giganteus_and_Arundo_donax_shoot_and_rhizome_tolerance_of_extreme_moisture_stress>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- MARTINS, C. et al. Levantamento das gramíneas exóticas do Parque Nacional de Brasília, Distrito Federal, Brasil. **Natureza & Conservação**, v. 5, n. 2, p. 23–30, 2007. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/264195058_Levantamento_das_gramineas_exoticas_do_Parque_Nacional_de_Brasilia_Distrito_Federal_Brasil>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- MAVROGIANOPOULOS, G. et al. Use of wastewater as a nutrient solution in a closed gravel hydroponic culture of giant reed (*Arundo donax*). **Bioresource Technology**, v. 82, n. 2, p. 103–107, 2002. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852401001808>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- MIRZA, N. et al. Phytoremediation potential of *Arundo donax* in arsenic-contaminated synthetic wastewater. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 15, p. 5815–5819, 2010. Disponível em:<<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20363125>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- NETO, P. et al. Variations in chemical composition and structure of macromolecular components in different morphological regions and maturity stages of *Arundo donax*. **Industrial Crops and Products**, v. 6, n. 1, p. 51–58, 1997. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669096002051>>. Acesso em: 20 dez. 2019.

- ORTIZ-MOREA, A. et al. Global analysis of the sugarcane microtranscriptome reveals a unique composition of small RNAs associated with axillary bud outgrowth. **Journal of Experimental Botany**, v. 64, n. 8, p. 2307–2320, 2013. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23564956>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- OSBORNE, B.; GIORIA, M. Plant invasions. **Journal of Plant Ecology**, v. 11, n. 1, p. 1–3, 2018. Disponível em: <<https://academic.oup.com/jpe/article/11/1/1/4817364>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- PAPAZOGLU, G. *Arundo donax* L. stress tolerance under irrigation with heavy metal aqueous solutions. **Desalination**, v. 211, n. 1–3, p. 304–313, 2007. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916407002342>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- PEARCY, R.; EHLERINGER, J. Comparative ecophysiology of C3 and C4 plants. **Plant, Cell and Environment**, v. 7, n. 1, p. 1–13, 2006. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/229492315_Comparative_ecophysiology_of_C3_and_C4_plants>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- PERDUE, R. E. *Arundo donax*-Source of musical reeds and industrial cellulose. **Economic Botany**, v. 12, n. 4, p. 368–404, 1958. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/BF02860024>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- PINTÓ-MARIJUAN, M.; MUNNÉ-BOSCH, S. Ecophysiology of invasive plants: osmotic adjustment and antioxidants. **Trends in Plant Science**, v. 18, n. 12, p. 660–666, 2013. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24001766>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- PYŠEK, P. et al. A global assessment of invasive plant impacts on resident species, communities and ecosystems: the interaction of impact measures, invading species' traits and environment. **Global Change Biology**, v. 18, n. 5, p. 1725–1737, 2012. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3597245/>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- RATTER, J. The Brazilian Cerrado Vegetation and Threats to its Biodiversity. **Annals of Botany**, v. 80, n. 3, p. 223–230, 1997. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0305736497904698>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- REICH, P. et al. Leaf structure (specific leaf area) modulates photosynthesis-nitrogen relations: Evidence from within and across species and functional groups. **Functional Ecology**, v. 12, n. 6, p. 948–958, 1998. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/2390490?seq=1>>. Acesso em: 20 dez. 2019.

- RICHARDSON, D. M. et al. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. **Biodiversity Research**, v. 6, p. 93–107, 2000. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/228606366_Naturalization_and_invasion_of_alien_plants_Concepts_and_definitions>. Acesso em: 20 dez. 2019
- PILU et al. Giant reed (*Arundo donax* L.): A weed plant or a promising energy crop? **African Journal of Biotechnology**, v. 11, n. 38, p. 9163–9174, 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/268407828_Giant_reed_Arundo_donax_L_A_weed_plant_or_a_promising_energy_crop>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- RODRIGUES, R et al. Rendimento de Biomassa da Cana-do-Reino. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, p. 1-23, 2007. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/745881?locale=en>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- ROSOLEN, V. et al. Vereda and Murundu wetlands and changes in Brazilian environmental laws: challenges to conservation. **Wetlands Ecology and Management**, v. 23, n. 2, p. 285–292, 3 abr. 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/271741240_Vereda_and_Murundu_wetlands_and_changes_in_Brazilian_environmental_laws_challenges_to_conservation>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- ROSSA, B. et al. *Arundo donax* L. (Poaceae) - a C3 Species with Unusually High Photosynthetic Capacity. **Botanica Acta**, v. 111, n. 3, p. 216–221, 1998. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/269345285_Arundo_donax_L_Poaceae_a_C3_Species_with_Unusually_High_Photosynthetic_Capacity>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- SIMÕES, C. et al. Distribuição de Cana-do-Reino (*Arundo donax* L.) no Distrito Federal, Brasil. **Biodiversidade Brasileira**, v. 3, n. 2, p. 97–105, 2013. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/revistaelectronica/index.php/BioBR/article/view/329>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- SIMÕES, K. . Ocorrência e caracterização da espécie invasora *Arundo donax* L. (CANA-DO-REINO) no Distrito Federal, Brasil. Orientador: John Du Vall Hay. **Dissertação de Mestrado; Pós-Graduação em Ecologia; Universidade de Brasília; Brasil**, p. 125, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.unb.br/handle/10482/13791>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- SPATZ, H. et al. Biomechanics of the giant reed *Arundo donax*. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences**, v. 352, n. 1349, p. 1–10, 29 jan. 1997. Disponível

- em:< <https://royalsocietypublishing.org/doi/abs/10.1098/rstb.1997.0001>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- STRIKER GABRIEL. Flooding Stress on Plants: Anatomical, Morphological and Physiological Responses. In: **Botany**. [s.l: s.n.]. p. 3–28. Disponível em:< https://www.researchgate.net/publication/221929146_Flooding_Stress_On_Plants_Anatomical_Morphological_And_Physiological_Responses>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- VASCONCELOS, G. ; GOMES, C. Propagação assexuada da Cana-do-Reino (*Arundo donax* L.). **Nota Técnica EMBRAPA**, v. 1. n. 158, p. 1-4, 2007. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/292615197_Use_of_Poor_Quality_Water_to_Produce_High_Biomass_Yields_of_Giant_Reed_Amndo_donax_L_on_Marginal_Lands_for_Biofuel_or_PulpPaper>. Acesso em: 20 de. 2019.
- WILLIAMS, J. et al. Use of saline land and wastewater for growing a potencial biofuel crop (*Arundo donax*). **Irrigation Australia 2008 Conference**, v. CD, n. May, p. 1–8, 2008. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/292615197_Use_of_Poor_Quality_Water_to_Produce_High_Biomass_Yields_of_Giant_Reed_Amndo_donax_L_on_Marginal_Lands_for_Biofuel_or_PulpPaper>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- WILLIAMS, J. et al. Use Of Poor Quality Water To Produce High Biomass Yields Of Giant Reed (*Arundo donax* L.) On Marginal Lands For Biofuel Or Pulp/Paper. **Acta Horticulturae**, n. 806, p. 595–602, jan. 2009. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/292615197_Use_of_Poor_Quality_Water_to_Produce_High_Biomass_Yields_of_Giant_Reed_Amndo_donax_L_on_Marginal_Lands_for_Biofuel_or_PulpPaper>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- ZHANG, J. et al. Adsorption of malachite green from aqueous solution onto carbon prepared from *Arundo donax* root. **Journal of Hazardous Materials**, v. 150, n. 3, p. 774–782, 2008. Disponível em:< <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389407007509>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- ZEDLER, J.; KERCHER, S. Causes and Consequences of Invasive Plants in Wetlands: Opportunities, Opportunists, and Outcomes. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 23, n. 5, p. 431–452, set. 2004. Disponível em: < <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07352680490514673>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- ZENG, B. et al. Different responses of sexual and asexual reproduction of *Arundinella hirta* to flooding. **Frontiers of Biology in China**, v. 1, n. 1, p. 46–49, 2006.. Disponível em:

<<https://link.springer.com/article/10.1007/s11515-005-0012-5>> . Acesso em 20 dez. de 2019.

CAPÍTULO II

Desenvolvimento e Fisiologia de *Arundo Donax* em condições de Estresse Hídrico

RESUMO

Arundo donax L. (Poaceae) é uma planta exótica invasora no Cerrado do Distrito Federal e também uma praga devido ao potencial lesivo ao ambiente e a biodiversidade local. A invasão da planta, por ser hidrófita, é especialmente preocupante aos ambientes úmidos do Cerrado tais como veredas e murundus. Dessa forma, a fim de mitigar danos a esses importantes ambientes que já se encontram em avançado processo de degradação, deverá ser feito o manejo populacional da espécie. Tal manejo é prioritário segundo o Instituto Brasília Ambiental (IBRAM). A fim de fornecer informações úteis ao futuro manejo populacional. Estudamos os efeitos do estresse hídrico, isto é, o déficit hídrico que é a escassez de água e o alagamento que é o excesso de água na regeneração no desenvolvimento e na fisiologia de mudas *A. donax*. Para isso, submetemos 21 mudas de *A. donax*, com cerca de dois meses de vida, aos dois tipos de estresse hídrico. De forma aleatória, as mudas foram divididas nos tratamentos controle (com rega a cada dois dias na capacidade de campo), alagamento (lâmina de água de 5 cm) e seca (regas semanais com 25% do volume). Além disso, investigamos a taxa de regeneração de uma população de *A. donax* durante o período de chuvas, período de estresse hídrico de alagamento, após a podas, usamos 10 unidades amostrais. No desenvolvimento investigamos: (a) a taxa de crescimento; (b) a área foliar; (c) a mortalidade foliar e perfilhamento e (e) o incremento de biomassa. Em relação a fisiologia investigamos: (a) as taxas fotossintéticas; (b) a eficiência de uso de água (EUA); (c) as taxas de pigmentos fotossintéticos e (d) as taxas de açúcares solúveis e de amido. No experimento de poda, observamos que a regeneração é rápida porque após 1 mês do corte, todos os indivíduos podados estavam regenerados. Em relação ao crescimento, não foram encontradas diferenças estatísticas para o comprimento aéreo médio ($F_{(8, 15)} = 1,53$; $p < 0,255$) nem para o número de folhas ($F(2, 15) = 2,87$; $p < 0,095$), mas sim para o diâmetro de colmos ($F(2, 15) = 5,62$; $p < 0,019$) de acordo com teste ANOVA_{mr}, tais resultados indicam a estratégia quiescente (LOQS) de *A. donax* no estresse hídrico. Em relação a área foliar, não foram encontradas diferenças estatísticas ($F(2, 9) = 0,39$; $p < 0,68$) por meio de teste ANOVA, contudo, a mortalidade foliar e perfilhamento foi diferente em função do estresse hídrico. Logo, provavelmente para evitar a perda de água, *A. donax* elimina folhas ao invés de limitar a área foliar dessas. Em relação a biomassa, houve diferenças estaticamente significativas tanto para a Biomassa da parte aérea (B_{pa}) - ($F(2, 9) = 0,13$; $p < 0,87$) quanto para a biomassa da parte subterrânea (B_{ps}) - ($F(2, 9) = 6,96$; $p < 0,027$) segundo teste ANOVA, em ambos a biomassa aumentou no alagamento e diminuiu no déficit hídrico. O resultado indica o sucesso de *A. donax* na invasão de áreas úmidas, porém o menor sucesso em zonas secas. O ponto de saturação de luz foi de $1500 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Não observamos diferenças estatísticas significativas na Fotossíntese máxima (A) - ($F(2, 21) = 14,09$;

$p < 0,0001$) em função do estresse hídrico, porém sim na Condutância estomática (g_s) - ($F_{(2, 21)} = 22,25$; $p < 0,0001$) e na Transpiração (E) - ($F_{(5, 21)} = 34,69$; $p < 0,0001$) de acordo com teste ANOVA_{mr} sendo que duas últimas aumentaram em função do maior aporte de água. Os resultados sugerem que *A. donax* é tolerante ao alagamento, mas não suscetível a seca. Além disso, as variações em g_s e E , resultantes do fechamento estomático, correspondem a principal estratégia de *A. donax* em resposta ao estresse hídrico. Corroborando o resultado anterior a Eficiência no Uso da Água (EUA) foi significativamente diferente ($F_{(2, 21)} = 1,68$; $p < 0,021$) segundo teste ANOVA, sendo novamente maior no Alagamento e menor na Seca. Os pigmentos fotossintéticos clorofila-a, clorofila-b e carotenoides não apresentaram diferenças significativas ($F_{(2, 9)} = 4,07$; $p < 0,07$), ($F_{(2, 9)} = 0,42$; $p < 0,67$) e ($F_{(2, 9)} = 1,81$; $p < 0,24$) (respectivamente), provavelmente devido ao curto tempo de estresse. Por outro lado, os açúcares solúveis apresentaram diferenças significativas nas folhas ($F_{(2, 9)} = 16,41$; $p < 0,023$) e rizomas ($F_{(2, 9)} = 14,38$; $p < 0,01$) sendo maiores no alagamento e menores na seca, porém não observamos diferenças significativas nos colmos ($F_{(2, 9)} = 0,71$; $p < 0,63$). Concomitantemente, o conteúdo de amido diferiu em folhas ($F_{(2, 9)} = 17,23$; $p < 0,001$), colmos ($F_{(2, 9)} = 9,44$; $p < 0,002$) e rizomas ($F_{(2, 9)} = 3,92$; $p < 0,04$), sendo maior no alagamento e menor no déficit hídrico. Os valores das reservas de açúcares indicam a depleção metabólica de *A. donax* na seca e a resistência no alagamento. Por fim, diante dos resultados, é esperado que a invasão de *A. donax* seja abundante em áreas úmidas, e influenciada, e limitada pela oferta de água. Por fim, recomenda-se que o manejo populacional ocorra estação seca (abril a setembro) porque nesse período o desenvolvimento de mudas é menor sendo possível encontrar inclusive indivíduos em depleção metabólica.

ABSTRACT

Arundo donax L. (Poaceae) is an invasive exotic plant in the Cerrado of the Federal District and also a pest due to its potential to harm the environment and local biodiversity. The invasion of the plant, because it is hydrophyte, is especially worrying to the humid environments of the Cerrado such as veredas and murundus. Thus, in order to mitigate damage to these important environments that are already in an advanced process of degradation, the population management of the species should be done. Such management is a priority according to the Brasilia Environmental Institute (IBRAM). In order to provide useful information for future population management, we studied the effects of water stress, i.e., the water deficit that is water scarcity and flooding that is excess water in regeneration in the development and physiology of *A. donax* seedlings. For this, we submitted 21 seedlings of *A. donax*, with about 2 months of life, to both types of water stress. Randomly, the seedlings were divided in the control treatments (with irrigation every two days in the field capacity), flooding (5 cm water sheet) and drying (weekly watering with 25% of the volume). In addition, we investigated the regeneration rate of a population of *A. donax* during the rainy season, period of water stress of flooding, after pruning, we used 10 sample units. In development we investigate: (a) the growth rate; (b) the leaf area; (c) the leaf mortality and tillering and (e) the biomass increment. Regarding physiology we investigated: (a) photosynthetic rates; (b) water use efficiency (USA); (c) photosynthetic pigment rates and (d) rates of soluble sugars and starch. In the pruning experiment, we observed that regeneration is fast because after 1 month of cutting, all pruned individuals were regenerated. Regarding growth, no statistical differences were found for mean air length ($F(8, 15) = 1.53$; $p < 0.255$) or number of leaves ($F(2, 15) = 2.87$; $p < 0.095$), but for stalk diameter ($F(2, 15) = 5.62$; $p < 0.019$) according to ANOVA multivariate test, these results indicate the quiescent strategy (LOQS) of *A. donax* in water stress. Regarding the leaf area, no statistical differences were found ($F(2, 9) = 0.39$; $p < 0.68$) by ANOVA test, however, leaf mortality and tillering were different due to hydric stress. Therefore, probably to avoid water loss, *A. donax* eliminates leaves instead of limiting their leaf area. In relation to biomass, there were statistically significant differences for both aerial biomass (Bpa) - ($F(2, 9) = 0.13$; $p < 0.87$) and underground biomass (Bps) - ($F(2, 9) = 6.96$; $p < 0.027$) according to the ANOVA test, in both biomass increased in flooding and decreased in water deficit. The result indicates the success of *A. donax* in the invasion of humid areas, but the lesser success in dry zones. The light saturation point was $1500 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. We did not observe significant statistical differences in maximum photosynthesis (A) - ($F(2, 21) = 14.09$; $p < 0.0001$) as a function of hydric stress, but in stomach conductance (g_s) - ($F(2, 21) = 22.25$; $p < 0.0001$) and in Transpiration (E) - ($F(5, 21) = 34.69$; $p < 0.0001$) according to the

ANOVA multivariate test, the latter two having increased as a function of higher water input. The results suggest that *A. donax* is tolerant to flooding, but not susceptible to drought. In addition, variations in g_s and E , resulting from stomatal closure, correspond to the main strategy of *A. donax* in response to water stress. Corroborating the previous result, the Water Use Efficiency (USA) was significantly different ($F(2, 21) = 1.68$; $p < 0.021$) according to the ANOVA test, being again higher in flooding and lower in drought. The photosynthetic pigments chlorophyll-a, chlorophyll-b and carotenoids showed no significant differences ($F(2, 9) = 4.07$; $p < 0.07$), ($F(2, 9) = 0.42$; $p < 0.67$) and ($F(2, 9) = 1.81$; $p < 0.24$) (respectively), probably due to short stress time. On the other hand, soluble sugars presented significant differences in leaves ($F(2, 9) = 16.41$; $p < 0.023$) and rhizomes ($F(2, 9) = 14.38$; $p < 0.01$) being higher in flooding and lower in drought, but we did not observe significant differences in stems ($F(2, 9) = 0.71$; $p < 0.63$). Concomitantly, the starch content differed in leaves ($F(2, 9) = 17.23$; $p < 0.001$), stalks ($F(2, 9) = 9.44$; $p < 0.002$) and rhizomes ($F(2, 9) = 3.92$; $p < 0.04$), being higher in flooding and lower in water deficit. The values of sugar reserves indicate the metabolic depletion of *A. donax* in drought and resistance in flooding. Finally, in view of the results, it is expected that the invasion of *A. donax* will be abundant in humid areas, and influenced, and limited by water supply. Finally, it is recommended that the population management occurs in the dry season (April to September) because during this period the development of seedlings is less and it is possible to find even individuals in metabolic depletion.

1. INTRODUÇÃO

Arundo donax L. é uma gramínea, isto é, pertence à família Poaceae (HSIAO et al., 1998). Morfologicamente é uma planta de grande porte podendo alcançar até 8 metros de altura (MIRZA et al., 2010) e contém: folhas lanceoladas com silicato as quais são inseridas nos colmos de forma alternada (NETO et al., 1997; PERDUE, 1958); colmos são ocos e segmentado em entrenós e nós, esses sendo ramificados após 1 ano de crescimento ou após a poda (CEOTTO & DI CANDILO, 2010; SPATZ et al., 1997); rizomas bulbosos e disseminam raízes fibrosas as quais profundamente no solo (AL-SNAFI, 2015; PERDUE, 1958); sinflorescências plumosas dispostas em panículas (AL-SNAFI, 2015).

A gramínea é encontrada em todos os continentes com exceção da Antártida e é conhecida mundialmente por ser uma invasora global, estando presente inclusive na lista da *International Union for Conservation of Nature* (IUCN) como uma 100 piores espécies alienígenas invasoras do mundo (LOWE et al., 2004). As espécies invasoras são organismos exóticos cuja a dispersão inicial foi provocada pelo homem, contudo a dispersão atual não é mais dependente da ação antrópica (HOROWITZ et al., 2007). Tais espécies invasoras frequentemente alteram o ambiente invadido e quando essas alterações são negativas, são denominadas pragas

As plantas invasoras são modificadoras ambientais e quando as modificações são prejudiciais ao meio ambiente, são classificadas como pragas (RICHARDSON et al., 2000). A invasão de *A. donax* podem ser acompanhada de efeitos negativos tais como o empobrecimento do solo devido à elevada taxa de absorção de macronutrientes (DRAGONI et al., 2016; WILLIAMS et al., 2009), o desbalanceamento do ciclo de queimadas (COFFMAN et al., 2010), e a substituição da flora nativa (BAIS et al., 2003; MARTINS et al., 2007). Assim sendo, além de uma espécie invasora, *A. donax* é também frequentemente uma praga.

Dentre outras áreas do Brasil, a praga atingiu o Cerrado do Distrito Federal (DF) tanto em áreas urbanas (SIMÕES et al., 2013) quanto em áreas de preservação ambiental (MARTINS et al., 2007). Desde de então tem se intensificado. Conseqüentemente o Instituto Brasília Ambiental (IBRAM) decretou que o manejo da praga é prioritário (IBRAM, 2018a, 2018b).

Evitar os prejuízos ambientais advindos da invasão de *A. donax* em áreas de Cerrado, em áreas de veredas e murundus especialmente, que são mais susceptíveis a invasões de gramíneas (ZEDLER & KERCHER, 2004), é de suma importância ecológica. Afinal, o Cerrado é um *hotspot* mundial de

biodiversidade (RATTER, 1997), que se encontra gravemente ameaçado tendo perdido mais da metade da cobertura nativa (FERREIRA et al., 2011), e as veredas e murundus são áreas úmidas, com várias espécies endêmicas, e responsáveis pela recarga de lençóis freáticos a partir do “efeito esponja” e não se encontram em bom estado de preservação (JUNK et al., 2014). Vale ressaltar que as invasões biológicas devem se intensificar ainda mais devido o cenário global de mudanças climáticas (BRADLEY et al., 2010).

O manejo populacional eficiente requer conhecer a biologia da espécie (KETTENRING & ADAMS, 2011; OSBORNE & GIORIA, 2018). Contudo, no Cerrado há lacunas a serem preenchidas a respeito do desenvolvimento de *A. donax* as pressões seletivas intrínsecas do Cerrado (SIMÕES et al., 2013). O Cerrado tem clima Aw de acordo classificação atualizada de Köppen-Geiger (KOTTEK et al., 2006) e é marcado pela intermitência de períodos chuvosos e secos (RIBEIRO & WALTER, 2008). Dessa forma, as plantas desse bioma são expostas ao estresse hídrico (CIANCIARUSO & BATALHA, 2008)

O objetivo do presente trabalho é, portanto, investigar o desenvolvimento de mudas de *A. donax* expostas ao estresse hídrico. Tais resultados auxiliarão do manejo populacional da espécie indicando o melhor período de execução do manejo populacional baseado sobretudo nas respostas fisiológicas da planta, bem como permitirá prever o alcance da invasão nos próximos anos.

2. OBJETIVO

Monitorar o crescimento da planta no campo, avaliar o desenvolvimento e realizar uma análise da fisiologia de plantas de *Arundo donax* quando submetidas a condições experimentais de estresse hídrico por seca ou alagamento, condições ambientais existentes nas fitofisionomias colonizadas pela espécie no Cerrado do Distrito Federal.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar em quanto tempo ocorre a extrusão de novas plantas após a poda no período chuvoso;
- Quantificar o desenvolvimento das plantas quando alagadas e quando expostas a seca, através de medidas da área foliar, a biomassa, o comprimento aéreo, o diâmetro médio, a mortalidade foliar, o número médio de folhas e perfilhamento nas condições de estresse hídrico;
- Quantificar as respostas fisiológicas das plantas no estresse hídrico mensurando-se a eficiência de uso de água, a fotossíntese máxima, a condutância estomática, a transpiração, a taxa de açúcares solúveis e de amido, e os pigmentos fotossintéticos nas condições de estresse.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 REGENERAÇÃO APÓS A PODA

Escolhemos a população de *A. donax* da área 2 (4.1 Material e Métodos Gerais), próxima ao Instituto de Química – UnB para a realização do experimento devido a abundância de indivíduos e a facilidade de acesso. Por sorteio, escolhemos 10 indivíduos para serem podados na região imediatamente acima da região do primeiro nó e anotamos em quanto tempos apareceram as primeiras extrusões. Depois, acompanhamos o comprimento médio e o diâmetro médio de cada um dos rebentos durante 1 mês. Assim, estimamos a regeneração de *A. donax* após a poda no período chuvoso do Cerrado. O experimento foi realizado em novembro de 2018.

3.2 COMPRIMENTO AÉREO MÉDIO, MÉDIA DO NÚMERO DE FOLHAS MÉDIA E DIÂMETRO MÉDIO

Durante o experimento submissão do estresse hídrico (4.4 Materiais e Métodos Gerais), acompanhamos o comprimento aéreo médio, a média do número de folhas e a média diâmetro de colmos de 5 mudas de cada um dos tratamentos a cada dois dias durante duas semanas. Medimos a primeira variável sempre a partir da folha mais basal até o ápice com uma trena métrica, a segunda considerando apenas as folhas totalmente expandidas e a terceira usando um paquímetro digital no entrenó mais basal.

3.3 ÁREA FOLIAR

Ao fim da submissão do estresse (4.4 Material e Métodos Gerais), estimamos a área foliar de cada um dos grupos de estresse hídrico. Para isso, usamos três plantas de cada tratamento, escolhidas por sorteio, para mensurar a área foliar. De cada planta, destacamos três folhas sem a bainha foliar totalizando, portanto, 9 folhas por tratamento. Cada mensuração foi feita por meio de *scanner* de área foliar CL-202

(CID BIO-SCIENCE). Representamos o valor de cada grupo pela média \pm o desvio padrão.

3.4 MORTALIDADE DE FOLHAS E PERFILHAMENTO

Durante a submissão do estresse (4.4 Material e Métodos Gerais), contabilizamos a mortalidade acumulada de folhas de todas as plantas, a cada dois dias durante duas semanas, bem como a formação de novos rebentos (Figura 1), ou seja, o perfilhamento (SIMÕES, 2013) a fim de indicar respostas positivas ou negativas ao em resposta ao estresse hídrico.



Figura 1. Perfilhamento de *Arundo donax* observado no tratamento de alagamento.

3.5 BIOMASSA

Ao fim da submissão do estresse (4.4 Material e Métodos Gerais), calculamos a Biomassa usando três plantas por tratamento as quais foram escolhidas por sorteio. Cada planta utilizada foi segmentada em parte aérea (B_{PA}) e parte subterrânea (B_{ps}), sendo a primeira composta pelos colmos e folhas enquanto a segunda pelas raízes e rizomas. O material foi pesado em balança de precisão 0,001 g (Marte AY220).

Determinamos a Biomassa final foi determinado pela diferença da massa final (g) e a massa inicial (g) uma vez que todas as plantas foram pesadas na mesma balança antes do início dos experimentos de estresse hídrico.

3.6 CURVA DE LUZ

No dia anterior ao da submissão do estresse hídrico (4.4 Material e Métodos Gerais), determinamos o ponto de luz saturante para *A. donax*. Esse valor resultou na intensidade luminosa utilizada nas medições fotossintéticas. Para determinar tal ponto, realizamos três curvas de resposta das taxas fotossintéticas máximas (A) em função da intensidade luminosas (pontos entre $0 \mu\text{mol.CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ e $2500 \mu\text{mol.CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) em folhas medianas totalmente expandidas de mudas de *A. donax* com analisador de gás por infravermelho (IRGA) modelo LI-6400XT (LI-COR). A curva final que utilizamos foi consequente da média das três curvas individuais. Realizamos todas as apurações entre 8:30 h e 10:30 da manhã em dias de céu ensolarado, período em os estômatos de *A. donax* encontravam-se abertos por ser tratar de uma planta C_3 (ROSSA et al., 1998).

3.7 ANÁLISE DE TAXAS FOTOSSINTÉTICAS: FOTOSSÍNTESE, CONDUTÂNCIA E TRANSPIRAÇÃO

Durante a submissão do estresse hídrico (4.4 Material e Métodos Gerais), por meio de IRGA (6400XT, LI-COR), analisamos a fotossíntese máxima (A), a condutância estomática (g_s), e a transpiração (E) de todas as plantas de todos os tratamentos.

Usamos uma folha por réplica e cada medida foi feita 5 vezes, havendo intervalos espaçados de 5 segundos entre as repetições. Todas as medidas foram feitas em folhas em regiões medianas, na região média de cada folha assim toda câmara foi ocupada. Ajustamos o IRGA de forma a controlar a influência do CO_2 ambiental e a luz ambiental (Tabela 1) nas apurações.

Tabela 1. Ajustes realizados no IRGA (6400XT, LI-COR) para determinação das taxas fotossintéticas de *Arundo donax* no experimento de estresse hídrico.

Variável ajustada	Valor ajustado
Fluxo de CO ₂	500 µmol/s
Concentração de CO ₂ de referência	400 ppm
Intensidade	1500 µ. mol.m ⁻² . s ⁻¹

3.9 ANÁLISES DE PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS

Ao fim da submissão do estresse (4.4 Material e Métodos Gerais), analisamos a concentrações de clorofila-a, clorofila b e carotenoides por meio do método colorimétrico. Para isso, usamos 2 folhas de 3 plantas de cada um dos tratamentos de estresse hídrico.

Na análise, fizemos cortes de 4 mm de diâmetro na região medial de cada folha com auxílio de perfurador foliar. Os cortes resultaram em discos foliares os quais colocamos em tubos micro centrífuga âmbar contendo 2 mL de DMF (N, N-dimetilformamida-HCON (CH₃)₂) para a extração de clorofila conforme previsto por MINOCHA et al. (2009). Envolvemos cada tubo em papel alumínio e os transportamos em caixa de isopor com gelo para os refrigeradores do laboratório de Alelopatia da UnB, conservando assim a temperatura de 4°C por 48 horas após a coleta.

Após a extração, realizamos a quantificação de clorofila-a, clorofila-b e carotenoides em cubetas de plástico em espectrofotômetro (GENESYS 2, THERMO SPECTRONIC) nas absorvâncias de comprimentos de onda de 663,8; 646,8 e 480 nm respectivamente. Por fim, aplicamos os valores de absorvâncias resultantes nas fórmulas previstas nos trabalhos de WELLBURN (1994) e MORAN & PORATH (1980) – (Tabela 2) para determinar a concentrações de cada pigmento fotossintético.

Tabela 2. Equações de determinação da concentração (mg.(g FM)⁻¹) dos pigmentos foliares clorofila –a, clorofila-b e carotenoides.

Pigmento	Equação
Clorofila a	$Ca = 12xA663,8 - 3,11xA646,8$
Clorofila b	$Cb = 20,78xA646,8 - 4,88XA633$
Carotenoides	$Cx = (1000xA480 - 1,12Ca - 34,07Cb) / 245$

3.10 EFICIÊNCIA DE USO DE ÁGUA (EUA)

No início e ao fim da submissão do estresse (4.4 Material e Métodos Gerais), calculamos a Eficiência de Uso de Água (EUA) por meio da fórmula $EUA = A/E$, ou seja, a divisão da fotossíntese máxima pela transpiração, fórmula proposta por MEDRANO et al. (2015). Representamos o resultado pela média \pm desvio padrão a representação de cada grupo, usamos os valores das análises fotossintéticas de 7 plantas para cada tratamento.

3.8 ANÁLISE BIOQUÍMICA

Ao fim da submissão do estresse hídrico (4.4 Material e Métodos Gerais), a fim de realizar as análises de açúcares solúveis e de amido, segmentamos três plantas de cada grupo, escolhidas por sorteio, rizomas, colmos e folhas. Na sequência, secamos cada órgão em estufa de circulação forçada a 60 °C por 72h e pulverizamos o material seco em moinho de facas (TECNAL, TE-651/2) os quais foram recolhidos em tubos Falcon ®.

3.11 ANÁLISE AÇÚCARES SOLÚVEIS

Ao fim da submissão do estresse (4.4 Material e Métodos Gerais), estimamos os açúcares solúveis das mudas de *A. donax* por meio do método colorimétrico protocolado por DUBOIS et al. (1956). Nessa metodologia, os açúcares solúveis são extraídos de 10 mg de material pulverizado postos em eppendorfs de 2 mL usando-se 3 repetições de cada material. Na sequência, acrescenta-se ao material pulverizado 500 μ L de etanol 80% e depois o material é agitado em vortex por 30 segundo e aquecido em banho-maria a 80°C por 30 minutos. Esse processo é repetido 4 vezes. Para finalizar a extração, as amostras são centrifugadas em centrífuga (HERAEUS MULTIFUGE, THERMO SCIENTIFIC®) na frequência de rotação de 10.000 rpm por 10 minutos. Dessa forma, cada amostra é dividida em sobrenadante (acima) e *pellet* (abaixo). Para a quantificação, o sobrenadante é colhido e analisado em espectrofotômetro, enquanto o *pellet* foi utilizado na análise de amido. O sobrenadante é analisado em espectrofotômetro (GENESYS 2, THERMO SPECTRONIC) no comprimento de onda de 490 nm. Por fim, comparamos os valores de absorvância aos valores de curva padrão, sendo a média das três medidas \pm o desvio padrão a representação final de cada grupo.

3.12 ANÁLISE DE AMIDO

Ao fim da submissão do estresse (4.4 Material e Métodos Gerais), utilizando o *pellet* obtido em 3.12, analisamos a massa de amido. Para isso, usamos o método colorimétrico presente em AMARAL et al. (2007). Nesse método, usa-se o *pellet* anteriormente obtido em triplicatas. Inicialmente, em cada amostra é adicionado 450 μ L de α -amilase de *Bacillus licheniformis* (MEGAZYME, 120 unidades de enzima por mL) tamponada em fosfato na concentração de 10 mM e pH 6,5, na sequência conjunto é incubado em banho-maria a 75 °C por 30 minutos, repete-se o processo 2 vezes. Seguidamente, em cada amostra é adicionada 450 mL DE Amiloglucosidase de *Aspergillus niger* (MEGAZYME, 30 unidades de enzima por mL) tamponada em acetato de sódio na concentração de 100 Mm e pH 4,5) e então o conjunto é novamente incubado em banho maria, mas dessa vez na temperatura de 50 °C por 30 minutos e, então, o processo é repetido 2 vezes. Por fim, finaliza-se a quebra de amido precipitando as enzimas de cada amostra com a adição de 100 μ L de Ácido Perclórico na concentração 0,8 M. Na sequência, as amostras são submetidas a centrífuga (HERAEUS MULTIFUGE, THERMO SCIENTIFIC®) na frequência de rotação de 10.000 rpm por 10 minutos finalizando assim a extração. Após essa etapa, a quantificação é

feita em espectrofotômetro (GENESYS 2, THERMO SPECTRONIC) expondo cada amostra ao comprimento de onda de 490 nm, obtendo assim as absorvâncias específicas. Os valores de absorvância são então comparados com a curva padrão sendo a média dos três \pm o desvio padrão a representação final de cada grupo.

3.13 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Realizamos as análises estatísticas em programa R STUDIO® versão 1.1.442 que é preciso e de fácil uso (CAMPBELL, 2019). Avaliamos os efeitos dos tratamentos de estresse hídrico por meio de Análise de Variância unifatorial (ANOVA), e os efeitos dos tratamentos de estresse hídrico ao longo do tempo por meio de Análise de Variância bifatorial com medidas repetidas (ANOVAmr). Quando ocorreram, as diferenças estatísticas individuais foram avaliadas por meio de Teste de Tukey. Em todos os casos, usou-se 5% de significância para comparação do p-valor. Nos testes estatísticos, foram seguidos os pressupostos necessários de homocedasticidade, normalidade, independência e esfericidade (ROCHA & BACELAR JÚNIOR, 2018).

4. RESULTADOS E DICUSSÃO

4.1 REGENERAÇÃO APÓS A PODA

As primeiras rebrotas surgiram, em média, 8 dias após a poda.

O crescimento aéreo médio das rebrotas foi de $4,36 \pm 1,88$ cm por dia, e o crescimento médio em diâmetro dos colmos foi de $0,69 \pm 0,61$ mm por dia – (Figura 2).

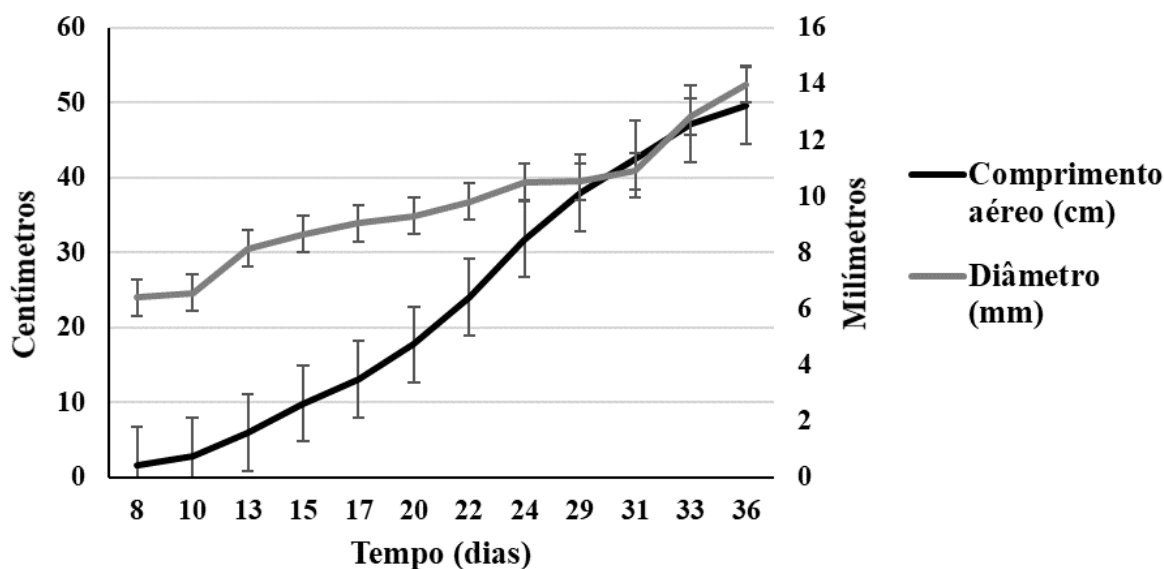


Figura 2. Média do comprimento aéreo e do diâmetro das rebrotas de *Arundo donax* em função do tempo, demonstrando o crescimento acumulado, n= 10.

Além disso, observou-se em campo que, após a poda, os colmos restantes acumularam água após a chuva e possivelmente a água coletada hidratou as gemas laterais de onde emergiram os rebentos (Figura 3).



Figura 3. Reservatório de água, apontado pela seta verde, formado no colmo podado de *Arundo donax* após a chuva, sem rebentos.

Após um mês da poda, a população de *A. donax* já se apresentava regenerada (Figura 4).



Figura 4. População de *Arundo donax* regenerada um mês após a poda localizada próxima ao Instituto de Química da UnB (Área 2).

O alto índice de regeneração após a poda aponta que, de fato, a remoção física é ineficiente no manejo populacional apontado por SIMÕES (2013). Ressalta-se que os existem divergências para os variados ecótipos conforme apontado por SÁNCHEZ et al. (2015), mas são condizentes localmente com a invasão da espécie no Cerrado do DF.

A remoção física, além de ineficiente, pode acelerar o processo invasivo, afinal observou-se que até mesmo pequenos propágulos, são capazes de originar novas plantas, dado em acordo com CEOTTO & DI CANDILO (2010) que apontou que até mesmo propágulos com um nó são fontes eficientes de reprodução.

O mesmo teste deve ser realizado no período de déficit hídrico ambiental no Cerrado a fim de corroborar as diferenças.

4.2 COMPRIMENTO AÉREO MÉDIO, MÉDIA DO NÚMERO DE FOLHAS MÉDIA E DIÂMETRO MÉDIO

Ao final dos experimentos, as variações comprimentos aéreos médios foram de 11,1 cm no Controle, 14,7 cm no Alagamento e 6,8 cm na Seca.

Estaticamente, o comprimento aéreo médio em função do tempo apresentou diferenças estatísticas significativas ($F_{(8, 15)} = 27,38$; $p < 0,0001$), mas não em função dos tratamentos ($F_{(8, 15)} = 1,53$; $p < 0,255$) ou em relação a interação entre tempo e tratamentos ($F_{(8, 15)} = 1,742$; $p < 0,113$), nesses casos não sendo possível descartar H_0 – (Figura 5).

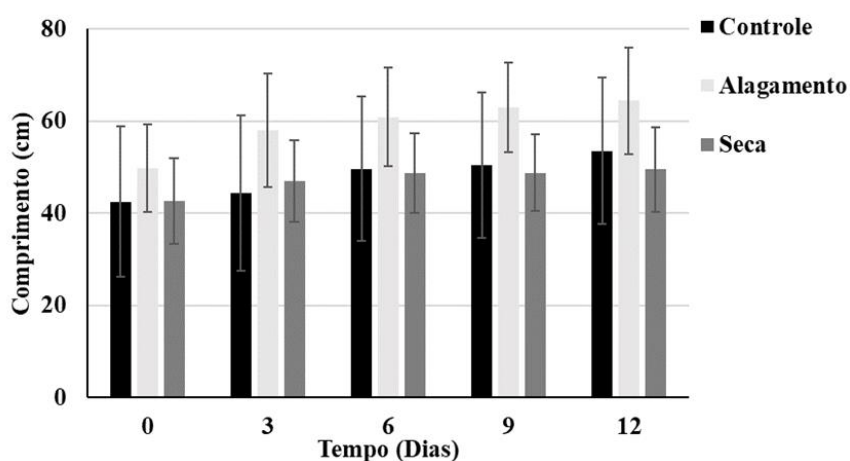


Figura 5. Comprimento médio da parte aérea, em função do tempo, para as plantas de *Arundo donax* em resposta ao estresse hídrico. Médias com o desvio padrão, sem diferenças estatísticas significativas ($p < 0,05$), $n = 5$.

Ao final dos experimentos, o número médio de folhas apresentado foi de: Alagamento $14,60 \pm 1,81$ folhas; Controle $12,60 \pm 2,50$ folhas; Seca $10,60 \pm 2,50$ folhas.

Estaticamente, a média do número de folhas em função do tempo apresentou diferenças estatísticas significativas ($F_{(4, 15)} = 11,01$; $p < 0,0001$), mas não em função dos tratamentos ($F_{(2, 15)} = 2,87$; $p < 0,095$) ou em relação a interação entre tempo e tratamentos ($F_{(8, 15)} = 1,742$; $p < 0,122$) – (Figura 6).

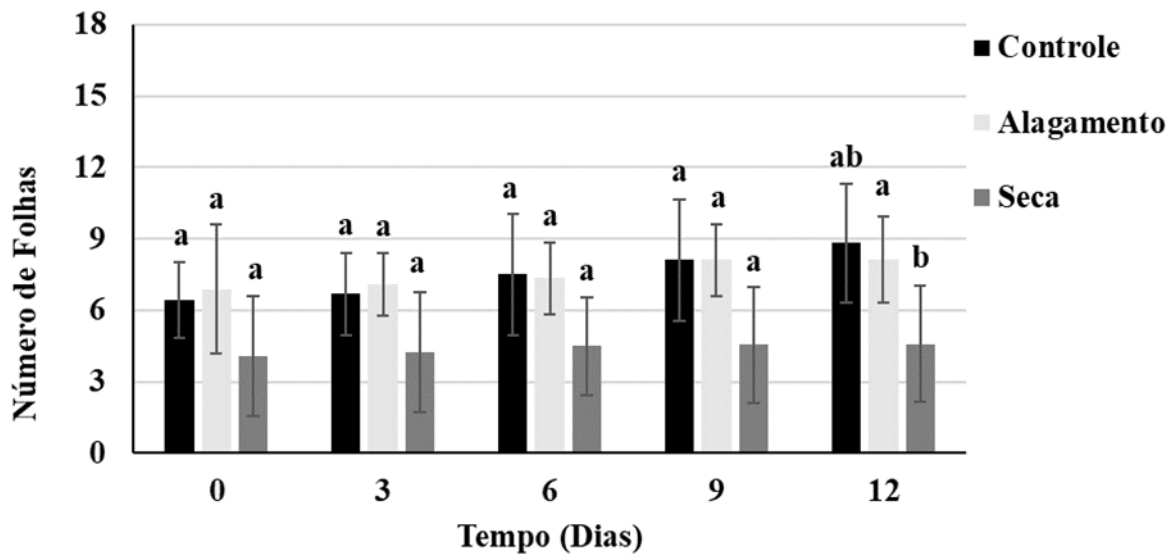


Figura 6. Número médio de folhas, em função do tempo, das plantas de *Arundo donax* submetidas a diferentes tratamentos de estresse hídrico (alagamento ou seca). Média com o desvio padrão, médias com letras iguais não são significativamente diferentes ($p < 0,05$), $n = 5$.

Por fim, o diâmetro médio ao final do experimento foi de: Alagamento $8,14 \pm 1,52$ mm; Controle $8,82 \pm 2,96$ mm; Seca $4,59 \pm 0,80$ mm.

Estaticamente, a média diâmetro apresentou diferenças estatísticas significativas em função do tempo ($F_{(4, 15)} = 16,78$; $p < 0,0001$), em função dos tratamentos ($F_{(2, 15)} = 5,62$; $p < 0,019$) e em relação a interação entre tempo e tratamentos ($F_{(8, 15)} = 2,75$; $p < 0,014$). O tratamento de seca foi menor em relação ao controle e ao alagamento (Figura 7).

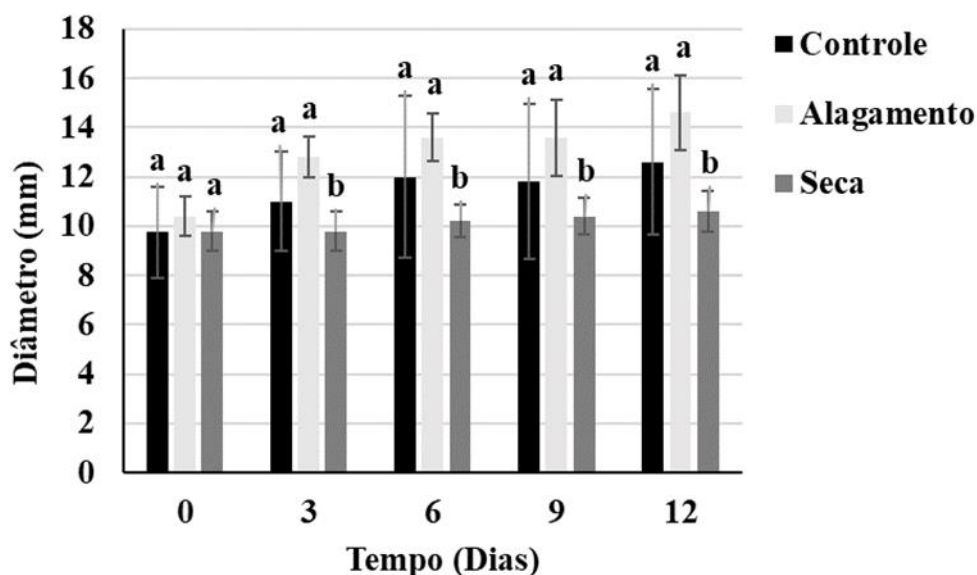


Figura 7. Diâmetro médio em função do tempo para as plantas de *Arundo donax* em função do estresse hídrico. Média com o desvio padrão, médias com letras iguais não são significativamente diferentes, n=5.

Segundo OLIVEIRA et al. (2015) estresse hídrico frequentemente resultam na redução do comprimento e do diâmetro de plantas e de acordo com (OSÓRIO et al., 1998) o mesmo corre com o número de folhas, contudo isso não foi observado para *A. donax*, afinal somente o diâmetro indicou teve diferenças que podem indicar uma maior distribuição de água no alagamento em relação aos outros dois tratamentos. Por conseguinte, os resultados indicam que *A. donax* é tolerante ao estresse hídrico sendo uma estrategista quiescente (LOQS) e não uma estrategista de escape (LOES) aparentemente nas classificações de BAILEY-SERES et al. (2012) e VOESENEK & BAILEY-SERES (2015). Dessa forma, uma vez chegando as diversas áreas de Cerrado, inclusive reservas como visto por MARTINS et al. (2007), as mudas de *A. donax* devem resistir às pressões seletivas.

Além disso, as taxas de crescimento encontradas foram superiores as encontradas por SIMÕES et al. (2013) e inferiores as encontradas por MIRZA et al. (2010), provavelmente essas divergências advém da disponibilidade de água em cada teste.

No futuro, testes em campo serão necessários afinal, diferentemente do observado no experimento, o aporte de água por *A. donax* pode ocorrer, até mesmo no período de seca, devido ao fato de que as raízes da planta são profundas (AL-SNAFI, 2015). Os testes em campo, comparados aos resultados aqui obtidos poderão descrever melhor o crescimento de *A. donax* no estresse hídrico.

4.3 MORTALIDADE DE FOLHAS E PERFILAMENTO

O valor acumulado de folhas mortas foi notoriamente maior no tratamento de seca em comparação ao controle e o alagamento, já o número acumulado de rebentos formados foi próximo entre controle e seca, e inexistente no tratamento de alagamento – (Figura 8).

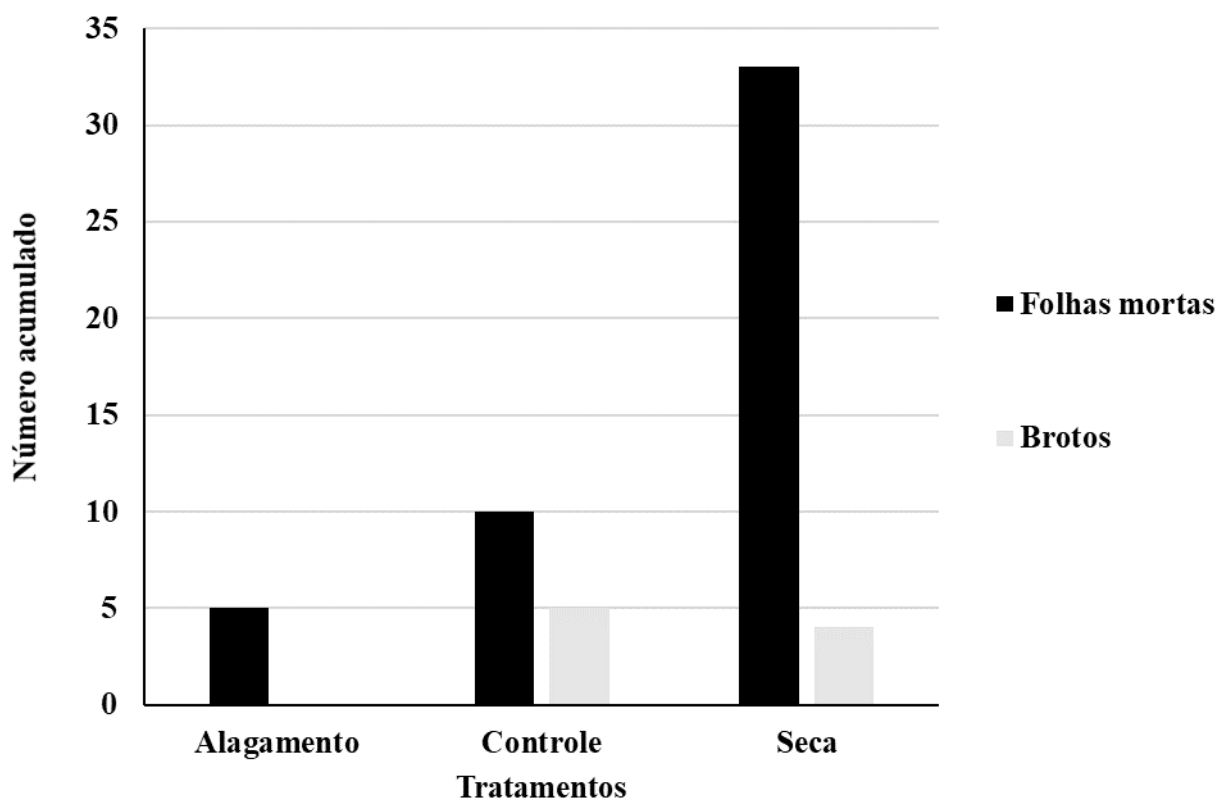


Figura 8. Número de folhas mortas e rebentos de plantas de *Arundo donax* ao final dos tratamentos controle ou de estresse hídrico (alagamento ou seca), n=7.

Conforme esperado, a morte foliar acumulada foi maior no tratamento de seca porque essa é uma estratégia típica das plantas para evitar a perda de água pelos os estômatos (ROSA et al., 2015) enquanto

nos tratamentos controle e de alagamento não ocorreu a necessidade de perda foliar por não haver a necessidade de diminuir a perda d'água.

Não ocorreram perfilhos no tratamento de alagamento, mas sim nos outros dois tratamentos, indicando que a não extrusão de rebentos é uma possível resposta morfológica ao alagamento.

4.4 ÁREA FOLIAR

Ao final do experimento, os grupos apresentaram as respectivas áreas foliares médias: Alagamento $37,2 \pm 5,6 \text{ cm}^2$; Controle $40 \pm 15,18 \text{ cm}^2$; Seca $30,1 \pm 24,48 \text{ cm}^2$.

Os grupos não apresentaram diferenças estatísticas significativas, por conseguinte, não foi possível descartar H_0 - ($F_{(2,9)} = 0,39$; $p < 0,68$) - (Figura 9).

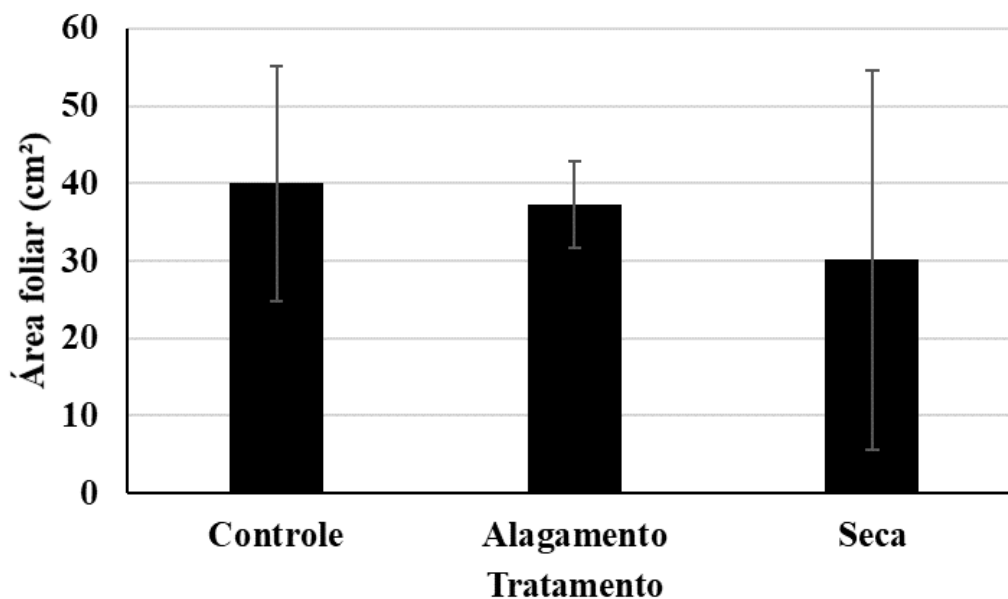


Figura 9. Média da área foliar de *Arundo donax* em função dos tratamentos de estresse hídrico. Médias com o desvio padrão, sem diferenças estatísticas significativas ($p < 0,05$), $n=9$.

Os resultados relativos à área foliar não eram esperados, uma vez que a diminuição da área foliar é uma resposta típica das plantas em resposta ao estresse hídrico (KERBAURY, 2009; CORDEIRO et al,

2009). Novos estudos devem investigar se diferenças estatísticas são observadas ao longo de mais tempo. Outra possibilidade é de que ao invés de investir em diferentes áreas foliares, *A. donax* na verdade, tenha como estratégia a eliminação de folhas (4.3) seguida da drenagem dos nutrientes no trajeto fonte-dreno.

Além disso, conservação das áreas foliares indicam que o aporte fotossintético não deverá ser afetado em função dos tratamentos de estresse hídrico (ROSA et al., 2015).

4.8 BIOMASSA

Ao final do experimento, os grupos apresentaram os respectivos B_{PA} e B_{ps} : Alagamento $2,38 \pm 1,15$ kg e $3,07 \pm 0,144$ ok; Controle $2,15 \pm 0,24$ kg e $2,28 \pm 0,55$ kg; Seca $2,52 \pm 0,93$ kg e $1,45 \pm 0,14$ kg. Os tratamentos não apresentaram diferenças significativas em relação a B_{PA} ($F_{(2,9)} = 0,13$; $p < 0,87$), não sendo possível rejeitar H_0 – (Figura 10).

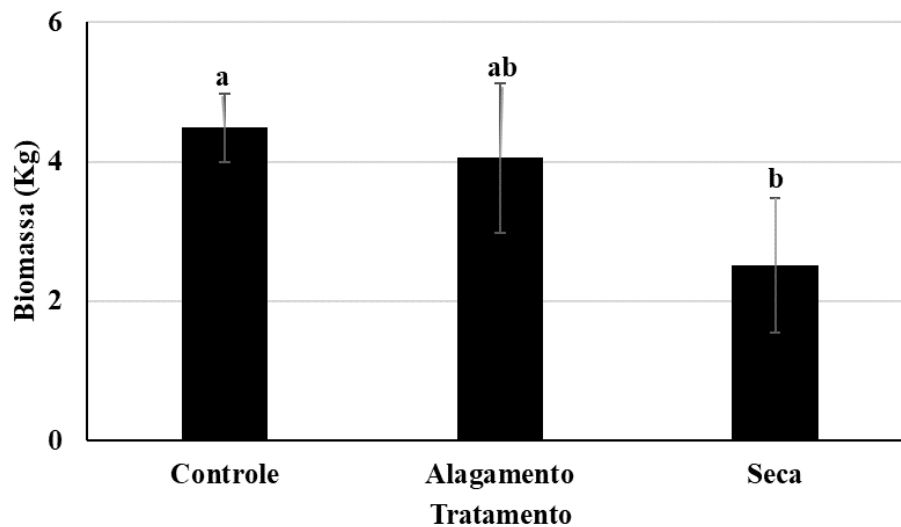


Figura 10. Biomassa seca da parte aérea (B_{pa}) de *Arundo donax* em função dos tratamentos de estresse hídrico após 1 mês do experimento. Médias com o desvio padrão, médias com letras iguais não são significativamente diferentes ($p < 0,05$), $n=3$.

Já em relação a B_{ps} , foram notadas diferenças estatísticas significativas ($F_{(2,9)} = 6,96$; $p < 0,027$) – (Figura 11), sendo o B_{ps} maior no alagamento e menor no tratamento de seca.

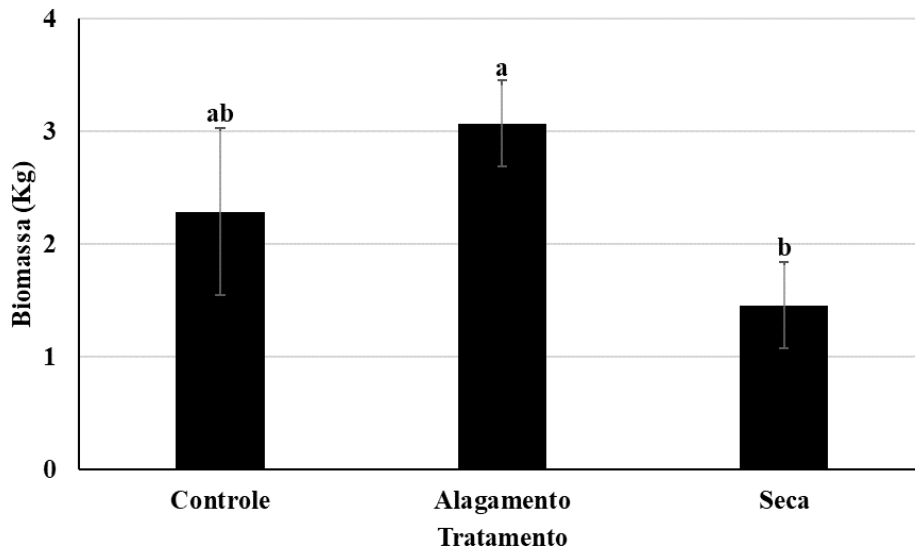


Figura 11. Biomassa seca da parte subterrânea (B_{ps}) de *Arundo donax* em função dos tratamentos de estresse hídrico após um mês do experimento. Médias com o desvio padrão, médias com letras iguais não são significativamente diferentes ($p < 0,05$), $n=3$.

Os resultados de biomassa indicam que *A. donax* não é tolerante a seca em dissonância com MANN et al., (2013),afinal de acordo com OLIVEIRA et al. (2015) as plantas não tolerantes ao estresse hídrico apresentam diminuição da biomassa quando expostas ao estresse hídrico. A diminuição da biomassa na seca pode ser explicada principalmente devido ao processo de supressão metabólica ocorrente no déficit hídrico (HAWORTH et al., 2017).

. Por outro lado, o aumento da biomassa no alagamento indica o sucesso da invasão biológica de *A. donax* em ambientes úmidos, aumentado assim o potencial invasivo em zonas úmidas de cerrado como as veredas e os murundus, afinal segundo COLLINS et al. (2018) a grande produção de biomassas é típica de plantas invasoras e em monoculturas.

4.5 CURVA DE LUZ

O ponto de saturação de luz foi de $1500 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ e essa foi, portanto, a medida utilizada nas medições fotossintéticas – (Figura 12).

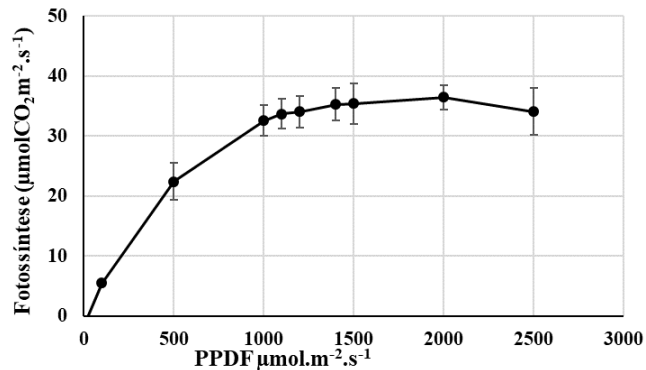


Figura 12. Curva de luz mostrando a fotossíntese em diferentes densidades de fótons de fluxo fotossintético (PPDF) em *Arundo donax*. As médias são provenientes de 3 repetições \pm o desvio padrão, $n=3$.

A curva de luz que obtemos é semelhante ao trabalho de NACKLEY et al. (2014) que também utilizou $1500 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ como o ponto de saturação de luz para *A. donax*, indicando que após esse ponto a Fotossíntese Máxima (A) não é alterada. Tal resultado indica o alto requerimento de luz por *A. donax* condizente com as espécies C_3 (ROSSA et al., 1998). O bioma Cerrado, de forma geral, tem alta irradiância (CAMARGO et al., 2011), dessa forma a demanda de *A. donax* por luz é facilmente suprimida.

4.6 ANÁLISES FOTOSSINTÉTICAS

A Fotossíntese (A) em função do tempo, estaticamente, apresentou diferenças estatísticas significativas ($F_{(5, 21)} = 25,38$; $p < 0,0001$), e em função dos tratamentos ($F_{(2, 21)} = 14,09$; $p < 0,0001$), mas não em relação a interação entre tempo e tratamentos ($F_{(10, 21)} = 1,13$; $p < 0,346$) - (Figura 13). A foi maior no Controle e no Alagamento e menor na Seca.

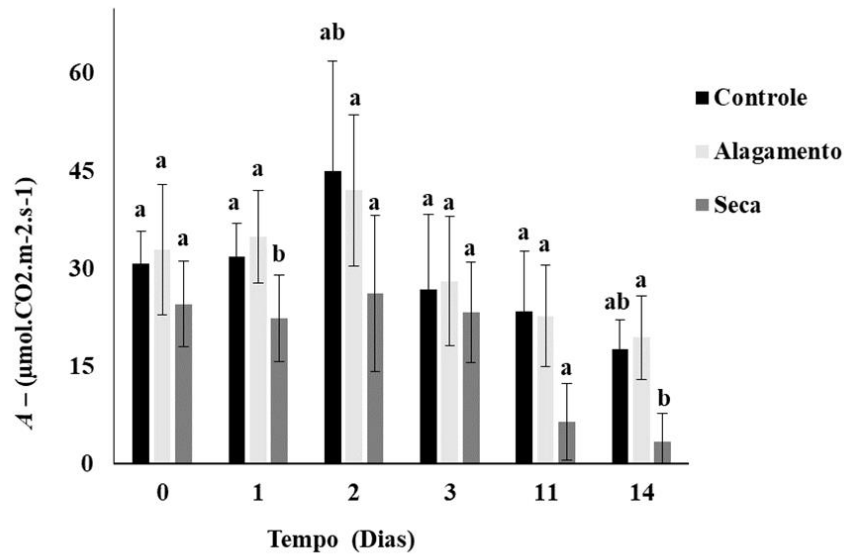


Figura 13. Fotossíntese (A) em função dos tratamentos de estresse hídrico ao longo do tempo para plantas de *Arundo donax*. Médias com o desvio padrão, médias com letras iguais não são significativamente diferentes ($p < 0,05$), $n=7$.

A Condutância Estomática (g_s) em função do tempo, estaticamente, apresentou diferenças estatísticas significativas ($F_{(5, 21)} = 5,95$; $p < 0,0001$), e em função dos tratamentos ($F_{(2, 21)} = 22,25$; $p < 0,0001$), mas não em relação a interação entre tempo e tratamentos ($F_{(10, 21)} = 0,68$; $p < 0,736$). A g_s foi maior no alagamento e no controle e menor na seca (Figura 14).

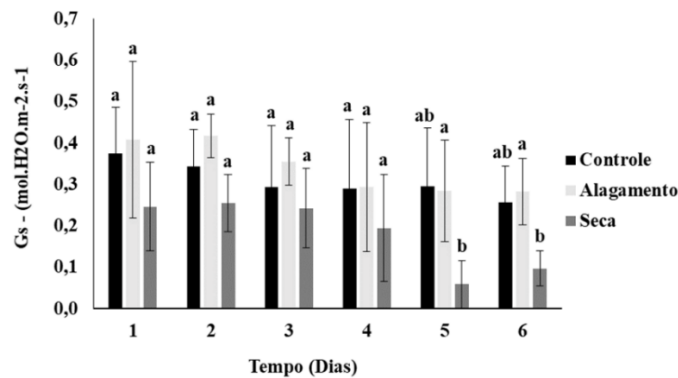


Figura 14. Condutância Estomática (g_s) em função dos tratamentos de estresse hídrico ao longo do tempo para plantas de *Arundo donax*, $n=7$.

A Transpiração (E) em função do tempo, foram encontradas diferenças estatísticas significativas ($F_{(5, 21)} = 34,69$; $p < 0,0001$), em função dos tratamentos ($F_{(2, 21)} = 20,39$; $p < 0,0001$), e em relação interação entre tempo e tratamentos ($F_{(10, 21)} = 5,82$; $p < 0,0001$). E foi maior no alagamento e no controle e menor na seca (Figura 15).

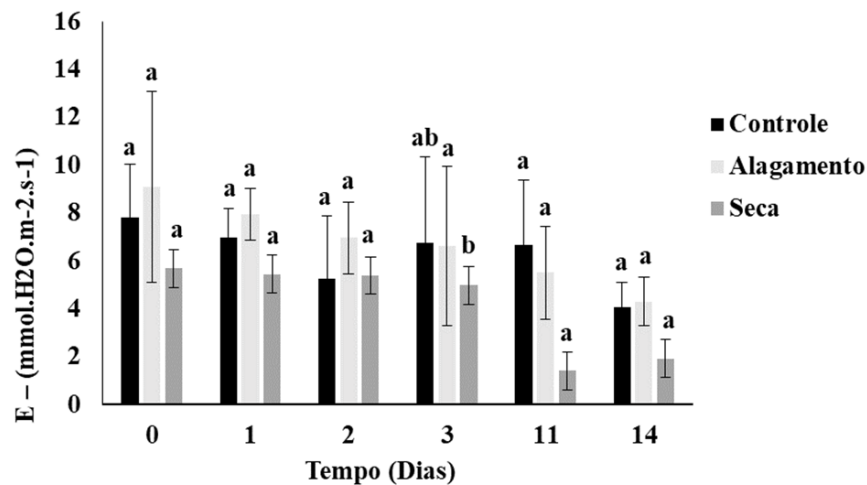


Figura 15. Transpiração (E) em função dos tratamentos de estresse hídrico ao longo do tempo para plantas de *Arundo donax*, $n=7$.

Os resultados do controle apresentados indicam o padrão fotossintético C_3 para *A. donax* em acordo com os trabalhos de (PAPAZOGLU (2007), ROSSA et al (1998) e (NACKLEY et al.,2014). Assim como em NACKLEY et al. (2014), os resultados obtidos apontam que a fotossíntese, a condutância estomática e a transpiração de *A. donax* são altas. Tais valores são superiores a de espécies nativas do Cerrado tais como *Annona coriacea*, *Eriotheca gracilipes*, *Styrax camporum* (DE ASSIS PRADO et al., 2004). Assim sendo, a fisiologia energética de *A. donax* representa uma vantagem competitiva em relação a plantas nativas do Cerrado. Tais valores tendem a ser conservados uma vez que a área foliar de *A. donax* não é alterada no estresse hídrico (4.4) em dissonância com KERBAURY (2008) que indica diminuição da fotossíntese no déficit hídrico.

Em continuidade, as análises fotossintéticas nos tratamentos de alagamento e déficit hídrico indicam que a diminuição da transpiração é uma importante estratégia de *A. donax* para tolerar a seca em

consonância com LI et al.,(2004), afinal ao diminuir a transpiração, por meio do fechamento do estômatos, os efeitos negativos como perda de turgescência e morte celular são mitigados (SÁNCHEZ et al., 2015)

De acordo com GRAVATT & KIRBY (1998), as plantas tolerantes ao estresse hídrico apresentam respostas de Transpiração e Fotossíntese modestas quando expostas ao estresse, assim como *A. donax* no alagamento. Ou seja, é outro indicativo da resistência de *A. donax* ao alagamento o que era esperado para uma planta hidrófita (MAVROGIANOPOULOS et al., 2002).

Novos testes devem ser feitos em campos a fim de retratar melhor a realidade, afinal *A. donax* encontra no Cerrado, nas veredas e murundus e outros estresses, como os relacionados aos nutrientes do solo, concomitantemente ao estresse hídrico. Logo, podendo significar diferentes fisiologias na invasão da praga.

4.7 EFICIÊNCIA DE USO DE ÁGUA (EUA)

A EUA inicial (em $\mu\text{mol.CO}_2/\text{mmol.H}_2\text{O}$) foi de: Controle $4,3 \pm 2,4$; Seca $4,6 \pm 1,8$ e Alagamento $5,7 \pm 2,6$. A diferença dos tratamentos significativa ($F_{(2, 21)} = 1,68$; $p < 0,021$) – (Figura 16).

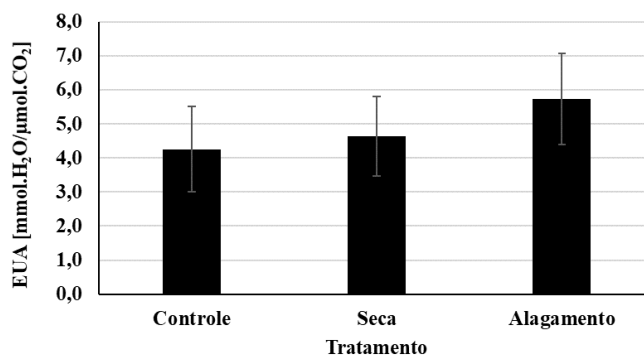


Figura 16. Eficiência de Uso de Água (EUA) de mudas de *Arundo donax* no início dos tratamentos. Sem diferenças estatísticas significativas ($p < 0,05$), $n=7$.

A EUA final (em $\mu\text{mol}.\text{CO}_2/\text{mmol}.\text{H}_2\text{O}$) foi de: Controle $4,3 \pm 2,2$; Seca $2,6 \pm 1,4$ e Alagamento $4,5 \pm 1,6$. A diferença dos tratamentos significativa ($F_{(2,21)} = 1,68$; $p < 0,003$) – (Figura 17).

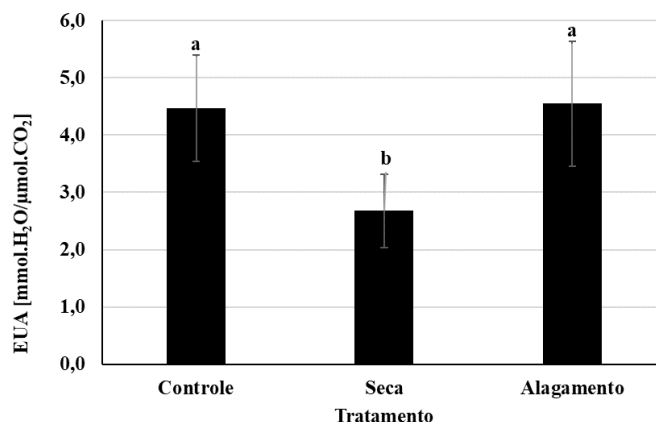


Figura 17. Eficiência de Uso de Água (EUA) de mudas de *Arundo donax* ao fim dos tratamentos. Médias com o desvio padrão, médias com letras iguais não são significativamente diferentes ($p < 0,05$), $n=7$.

A ausência de diferenças em EUA de plantas no tratamento de alagamento o que esperado para uma planta hidrófita como *A. donax* (MAVROGIANOPOULOS et al., 2002), já a diminuição da EUA no tratamento de seca foi ligeira e não vertiginosa como é observado em inúmeras gramíneas (KØRUP et al., 2018), estudos futuros podem verificar a existência de osmoprotetores, osmólitos ou solutos afins ao longo de *A. donax* (PINTÓ MARIJUAN & MUNNÉ-BOSCH, 2013), o que podem explicar a EUA encontrada nesse estudo e contribuir para esclarecer como ocorre a resistência de *A. donax* a seca.

De acordo com (NACKLEY et al., 2014) a EUA é intrinsicamente relacionada ao crescimento de *A. donax*. Dessa forma, é esperado que mudas de *A. donax* que cresçam mais vigorosamente em veredas e murundus do que em áreas secas de Cerrado. Apesar dos resultados de crescimento (4.2) não indicarem diferenças significativas no comprimento médio e no número de folhas, somente no diâmetro de colmos, com a diminuição da EUA, é possível que as diferenças apareçam com mais tempo de estresse. É necessário, portanto, que o crescimento de mudas de *A. donax* submetidas ao estresse hídrico seja investigado por mais tempo em novos estudos.

Vale ressaltar que os resultados seriam semelhantes caso a EUA fosse estimada pela divisão de A/g_s ,

afinal segundo Li et al., (2004) a condutância estomática é diretamente proporcional a transpiração.

4.9 ANÁLISES DE PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS

Os pigmentos fotossintéticos, apresentaram não diferenças significativas, sendo os valores respetivamente ($F_{(2, 9)} = 4,07$; $p < 0,07$), ($F_{(2, 9)} = 0,42$; $p < 0,67$) e ($F_{(2, 9)} = 1,81$; $p < 0,24$) – (Tabela 3). Portanto, não foi possível rejeitar H_0 .

Tabela 3. Pigmentos fotossintéticos de *Arundo donax* em função dos tratamentos de estresse hídrico. Médias com o desvio padrão, sem diferenças estatísticas significativas ($p < 0,05$), $n=3$.

Tratamento	Clorofila a (mg.(g FM)⁻¹)	Clorofila b (mg.(g FM)⁻¹)	Carotenoides (mg.(g FM)⁻¹)
Alagamento	11,74 ± 0,58	2,89 ± 0,31	2,89 ± 0,08
Controle	11,11 ± 1,44	2,71 ± 0,08	2,73 ± 0,38
Seca	6,91 ± 3,57	2,46 ± 0,91	2,33 ± 0,50

Os resultados dos pigmentos fotossintéticos são condizentes com os resultados relacionados a fotossíntese, afinal de acordo REICH et al., (1998) há uma relação direta entre fotossíntese e os pigmentos fotossintéticos. Uma vez que a fotossíntese (4.6) e a área foliar (4.4) não foram alteradas, era esperado que os pigmentos fotossintéticos não fossem alterados.

Os pigmentos fotossintéticos são importantes na resposta das plantas ao estresse hídrico por servirem, dentre outras coisas, na proteção das plantas às espécies reativas de oxigênio (FIAZ et al., 2014).

No futuro, novos testes devem prolongar a exposição de *A. donax* ao estresse hídrico a fim de corroborar os resultados obtidos, pois sabe-se que os pigmentos fotossintéticos não possuem resposta rápida ao estresse hídrico (COUCEIRO et al., 2017)

4.10 ANÁLISE DE AÇÚCARES SOLÚVEIS

A concentração de açúcares variou em função do tratamento para cada um dos órgãos da planta (Tabela 4).

Tabela 4. Concentrações de Amido ($\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$) em função do tratamento para cada órgão de *Arundo donax*. Médias com o desvio padrão, médias com letras iguais não são significativamente diferentes ($p < 0,05$), $n=3$.

Órgão	Concentração de Açúcares solúveis (mg/mL)		
	Alagamento	Controle	Seca
Folha	$44,4 \pm 1,3$ ab	$49,7 \pm 4,9$ a	$37,8 \pm 0,4$ b
Colmo	$25,3 \pm 1,2$ a	$26,4 \pm 2,8$ a	$24,4 \pm 2,4$ a
Rizoma	$79,9 \pm 2,2$ b	$55,1 \pm 3,6$ a	$27,2 \pm 0,2$ c

Nas folhas, as concentrações de açúcares solúveis apresentaram diferenças estatísticas significativas em função dos tratamentos de estresse hídrico ($F_{(2,9)} = 16,41$; $p < 0,023$). As concentrações foram maiores no controle e no alagamento, e menor tratamento de seca.

Nos colmos, as concentrações de açúcares solúveis não apresentaram diferenças estatisticamente significativas em função dos tratamentos de estresse hídrico ($F_{(2,9)} = 0,71$; $p < 0,63$). Dessa forma, não foi possível rejeitar H_0 .

Nos rizomas, as concentrações de açúcares solúveis apresentaram diferenças estatisticamente

significativas em função dos tratamentos de estresse hídrico ($F_{(2,9)}=14,38$; $p<0,01$). Sendo a concentração maior no alagamento, intermediária no controle e menor na seca.

Os resultados obtidos eram esperados, afinal as alterações nos níveis de açúcares solúveis são respostas frequentes ao estresse hídrico (BELO et al., 2015). As alterações nos açúcares solúveis representam o consumo das plantas por ATP visando manter as atividades essenciais a vida (VOESENEK & BAILEY-SERRES, 2015), conseqüentemente representam a depleção metabólicas.

Sendo assim, observamos um maior consumo de açúcares solúveis no tratamento de seca em relação aos outros dois tratamentos, logo na seca ocorre a depleção metabólica de *A. donax* e esse resultado é em consonância com WATTS & MOORE (2011).

Testes futuros devem identificar quais são as classes de açúcares solúveis presentes em cada estresse, assim relacionando o estado metabólico de *A. donax* no estresse hídrico.

4.11 ANÁLISE DE AMIDO

De forma geral, foi observada uma menor concentração de amido no tratamento de seca (Tabela 5), havendo diferenças na concentração em cada órgão.

Tabela 5. Concentrações de Amido em função do tratamento para cada órgão de *Arundo donax*. Médias com o desvio padrão, médias com letras iguais não são significativamente diferentes ($p<0,05$), $n=3$.

Concentração de Amido			
Órgão	Alagamento	Controle	Seca
Folha	5,4± 0,6 ab	9,8 ± 0,9 a	4,1 ± 0,3 b
Colmo	30,7 ± 8,6 ab	43,3 ± 9,0 a	7,9 ± 1,8 b
Rizoma	11,6 ± 1,8 b	19,2 ± 2,8 a	0,1 ± 0,2 c

Nas folhas, as concentrações de amido foram estaticamente diferentes em função dos tratamentos de estresse hídrico ($F_{(2, 9)} = 17,23$; $p < 0,001$). As concentrações foram maiores no controle e alagamento, e menor na seca.

Nos colmos, as concentrações de amido foram estaticamente diferentes em função dos tratamentos de estresse hídrico ($F_{(2, 9)} = 9,44$; $p < 0,002$). As concentrações foram maiores no controle e alagamento, e menor na seca.

Nos rizomas, as concentrações de amido foram estaticamente diferentes em função dos tratamentos de estresse hídrico ($F_{(2, 9)} = 3,92$; $p < 0,04$). As concentrações foram maiores no controle, intermediárias no alagamento e menor na seca.

A alta concentração de amido indica que *A. donax* é resistente ao estresse hídrico segundo GRAVATT & KIRBY (1998), afinal a depleção de amido nos órgãos das plantas no estresse hídrico significa a maior exposição ao metabolismo anaeróbico destrutivo devido as espécies reativas de oxigênio (LORETI et al., 2017).

As diferenças as concentrações de amido ao longo dos diferentes órgãos são explicadas, provavelmente, pela transposição dos fotoassimilados no sentido fonte para o dreno (WAMPLE & DAVIS, 1983).

Por fim, as diferenças de amido em função dos tratamentos indicam o maior desenvolvimento de

A. donax no alagamento em comparação com o déficit hídrico, ressaltando os resultados anteriores que indicam o desenvolvimento da planta superior no alagamento e menor na seca, podendo, então, *A. donax* invadir veredas e murundus de forma mais vigorosa em comparação com ambientes do Cerrado com escassez de água.

5. CONCLUSÕES

Corroboramos o potencial invasivo de *Arundo donax* em ambientes úmidos e em ambientes secos, contudo de formas diferentes.

Quando as mudas são expostas ao déficit hídrico o desenvolvimento é menor do em relação ao desenvolvimento no alagamento. No primeiro, as mudas têm o crescimento diametral de colmos inferior ao segundo, observamos o mesmo padrão em relação ao crescimento foliar, ao valor de mortalidade foliar, de perfilhamento e de biomassa.

Na fisiologia dos tratamentos, o mesmo arquétipo é observado. Os valores de fotossíntese, condutância estomática, os açúcares solúveis e as reservas de amido (nas folhas e rizomas) são menores no déficit hídrico em comparação ao alagamento. Há depleção metabólica no déficit hídrico e não no alagamento.

Além disso, a regeneração após a poda nos meses de chuva, ou seja, o período de é rápida e eficiente ocorrendo em menos de um mês.

Baseado nos resultados obtidos, recomendamos que o manejo populacional de *A. donax* seja feito entre os meses de abril a setembro que são os meses em que se concentram o período de seca no Cerrado do Distrito Federal. Esse período é preferível ao período de chuvas da região que ocorre entre os meses de outubro a março porque ao comparamos o desenvolvimento das mudas de *A. donax* é no primeiro em que verificamos um menor desenvolvimento e uma maior depleção metabólica.

Ressaltamos a necessidade da realização de mais testes, no futuro, que relacionem outras condições ambientais tais como temperatura e tipo de solo, para compreensão mais ampla do desenvolvimento de *A. donax* no Cerrado ou em savanas análogas. O conjunto dessas informações agregadas a essas obtidas nesse trabalho viabilizarão um manejo populacional mais eficiente da praga *A. donax*.

Concluimos ressaltando a importância desse trabalho na preservação do Cerrado em acordo com a Convenção da Diversidade Biológica e ao Tratado de Ramsar, afinal essas informações ajudarão na mitigação da invasão de *A. donax* e, conseqüentemente, reduzirão os impactos oriundos da invasão da espécie em especial os relacionados a biodiversidade.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMAD, R. et al. Molecular evidence for a single genetic clone of invasive *Arundo donax* in the United States. *Aquatic Botany*, v. 88, n. 2, p. 113–120, fev. 2008. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304377007001362>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- AL-SNAFI, A. The constituents and biological effects of *Arundo donax* - A review. *International Journal of Phytopharmacy Research*, v. 6, n. 1, p. 34–40, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/313664196_The_constituents_and_biological_effects_of_Arundo_donax_-_A_review>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- AMARAL, L. et al. Novo método enzimático rápido e sensível de extração e dosagem de amido em materiais vegetais. *Hoehnea*, v. 34, n. 4, p. 425–431, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S2236-89062007000400001&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em 20 dez. 2019.
- BAILEY-SERRES, J. et al. Waterproofing crops: Effective flooding survival strategies. *Plant Physiology*, v. 160 n. 4, p. 1698–1709, 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/232648689_Waterproofing_Crops_Effective_Flooding_Survival_Strategies>. Acesso em 20 dez. 2019.
- BALOGH, E. et al. Defective development of male and female gametophytes in *Arundo donax* L. (POACEAE). *Biomass and Bioenergy*, v. 45, p. 265–269, out. 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/257421167_Defective_development_of_male_and_female_gametophytes_in_Arundo_donax_L_POACEAE>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- BASU, S. et al. Plant adaptation to drought stress. *F1000Research*, v. 5, p. 1–10, 2016. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4937719/>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- BELL, G. P. Ecology and management of *Arundo donax* and approaches to riparian habitat restoration in southern California. In: J.H. BROCK, M. WADE, P. PYŠEK, D. G. (Ed.). *Plant Invasions: Studies from North America and Europe*. [s.l.] Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, 1997. p. 103–113. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/262014287_Ecology_and_management_of_Arundo_donax_and_approaches_to_riparian_habitat_restoration_in_southern_California>. Acesso em: 20 dez.

2019.

- BELO, E. et al. Impact of drought and flooding stresses on Gabiroba plants. *Revista de Ciências Agrárias - Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, v. 58, n. 4, p. 379–387, 2015. Disponível em: <<https://periodicos.ufra.edu.br/index.php/ajaes>>. Acesso em: 20 dez. de 2019.
- BOOSE, A.; HOLT, J. Environmental effects on asexual reproduction in *Arundo donax*. *Weed Research*, v. 39, n. 2, p. 117–127, 1999. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/230285500_Environmental_effects_on_asexual_reproduction_in_Arundo_donax>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- BRADLEY, B. et al. Predicting plant invasions in an era of global change. *Trends in Ecology and Evolution*, v. 25, n. 5, p. 310–318, 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169534709003693>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- CAMARGO, M. G. G. et al. Effects of environmental conditions associated to the cardinal orientation on the reproductive phenology of the cerrado savanna tree *Xylopia aromatica* (Annonaceae). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 83, n. 3, p. 1007–1019, 2011. Disponível em: <>. Acesso em: 20 dez. 2019. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0001-37652011000300019>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- CAMPBELL, M. Learn RStudio IDE. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.springer.com/jp/book/9781484245101>>. Acesso em 20 dez. 2019.
- CEOTTO, E.; DI CANDILO, M. Shoot cuttings propagation of giant reed (*Arundo donax* L.) in water and moist soil: The path forward? *Biomass and Bioenergy*, v. 34, n. 11, p. 1614–1623, 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953410001844>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- COFFMAN, et al. Wildfire promotes dominance of invasive giant reed (*Arundo donax*) in riparian ecosystems. *Biological Invasions*, v. 12, n. 8, p. 2723–2734, 2010. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10530-009-9677-z>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- COLLINS, A et al. Small-scale genotypic richness stabilizes plot biomass and increases phenotypic variance in the invasive grass *Phalaris arundinacea*. *Journal of Plant Ecology*, v. 11, n. 1, p. 47–55, 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/323081039_Smallscale_genotypic_richness_stabilizes_plot_biomass_and_increases_phenotypic_variance_in_the_invasive_grass_Phalaris_arundinacea>.

Acesso em 20 dez. 2019.

COLLINS, A. et al. Small-scale genotypic richness stabilizes plot biomass and increases phenotypic variance in the invasive grass *Phalaris arundinacea*. *Journal of Plant Ecology*, v. 11, n. 1, p. 47–55, 2018. Disponível em: <<https://academic.oup.com/jpe/article/11/1/47/4396360>>. Acesso em: 20 dez. 2019.

CORDEIRO, Y. Physiological and morphological responses of young mahogany (*Swietenia macrophylla* King) plants to drought. *Forest ecology and management*, v. 258, p. 1449-1455, 2009. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112709004691>>. Acesso em 20. dez 2019.

CORNO, L. et al. New energy crop giant cane (*Arundo donax* L.) can substitute traditional energy crops increasing biogas yield and reducing costs. *Bioresource Technology*, v. 191, p. 197–204, 2015. Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25997008>>. Acesso em: 20 dez. 2019.

DE ASSIS PRADO, C. et al. Seasonal leaf gas exchange and water potential in a woody cerrado species community. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v. 16, n. 1, p. 7–16, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1677-04202004000100002>. Acesso em 20 dez. 2019.

DUBOIS, M. et al. Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. *Analytical Chemistry*, v. 28, n. 3, p. 350–356, 1956. Disponível em: <<https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ac60111a017>>. Acesso em 20 dez. 2019.

FERREIRA, C. Bases para o manejo e o controle da espécie exótica invasora *Arundo donax* L. (cana-do-reino) em áreas de vegetação nativa do Distrito Federal. Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal, 2013. Disponível em: <<https://www.jusbrasil.com.br/diarios/106766075/dodf-secao-03-22-12-2015-pg-37>>. Acesso em: 20 dez. 2019.

FIAZ, K. et al. Drought impact on Pb/ Cd toxicity remediated by biochar in *Brassica campestris*. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v. 14, n. 4, p. 845-854, 2014. Disponível em: <https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S071895162014000400007&lng=pt&nrm=iso&tlng=en>. Acesso em 20 dez. 2019.

GISSOW, J. et al. *Arundo donax* Distribution and Impact Report. California Invasive Plant Council. Disponível em: <http://www.cal-ipc.org/wp-content/uploads/2017/11/Arundo_Distribution_Impact_Report_Cal-IPC_March-2011_small.pdf>.

Acesso em: 20 dez. 2019.

- GONÇALVES, A. ; MINA, I. Estudos de crescimento de *Arundo donax* para utilização no tratamento de efluentes salinos. Orientadora: Maria Teresa Borges. Dissertação (Mestrado em Ecologia, Ambiente e Território) - Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, p. 71, 2012. Disponível em:<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:hCH7LlpoYCoJ:https://sigarra.up.pt/fcup/pt/pub_geral.show_file%3Fpi_doc_id%3D80226+&cd=2&hl=ptBR&ct=clnk&gl=br&client=opera>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- HADDADCHI, A et al. M. The expansion of sterile *Arundo donax* (Poaceae) in southeastern Australia is accompanied by genotypic variation. *Aquatic Botany*, v. 104, p. 153–161, 2013. Disponível em:<<https://www.cabi.org/ISC/abstract/20133001308>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- HARDION, L. et al. Origin of the invasive *Arundo donax* (Poaceae): a trans-Asian expedition in herbaria. *Annals of Botany*, v. 114, n. 3, p. 455–462, 1 set. 2014. Disponível em:<<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25081517>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- HAWORTH, M. et al. Moderate Drought Stress Induces Increased Foliar Dimethylsulphoniopropionate (DMSP) Concentration and Isoprene Emission in Two Contrasting Ecotypes of *Arundo donax*. *Frontiers in Plant Science*, v. 8, n. 6, p. 693–700, 2017. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28659959>>. Acesso em 20 dez. 2019.
- HERRERA, A et al. Reduction of riparian arthropod abundance and diversity as a consequence of giant reed (*Arundo donax*) invasion. *Biological Invasions*, v. 5, n. 3, p. 167–177, 2003. Disponível em:<<https://link.springer.com/article/10.1023/A:1026190115521>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- HOROWITZ, C. et al. Espécies Exóticas Arbóreas, Arbustivas e Herbáceas que ocorrem nas zonas de uso especial e de uso intensivo do Parque Nacional de Brasília: Diagnóstico e Manejo. Ministério do Meio Ambiente, 2007. Disponível em:<https://www.researchgate.net/publication/320466888_ESPECIES_EXOTICAS_ARBOREAS_ARBUSTIVAS_E_HERBACEAS_QUE_OCORREM_NAS_ZONAS_DE_USO_ESPECIAL_E_DE_USO_INTENSIVO_DO_PARQUE_NACIONAL_DE_BRASILIA_DIAGNOSTICOS_E_MANEJO>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- HSIAO, C. et al. A molecular phylogeny of the subfamily Arundinoideae (Poaceae) based on sequences of rDNA. *Australian Systematic Botany*, v. 11, n. 1, p. 41, 1998. Disponível em:<https://www.researchgate.net/publication/248900580_A_molecular_phylogeny_of_the_subfamily_Arundinoideae_Poaceae_based_on_sequences_of_rDNA>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- IBRAM. Instrução Normativa N°409/2018. Diário Oficial do Distrito Federal. Anais...2018b. Disponível

- em: <<http://www.ibram.df.gov.br/especies-exoticas-invasoras-do-df/>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- IBRAM. Relatório do I Workshop de Espécies Exóticas Invasoras do Distrito Dederal. SEI/GDF - Relatório de Atividades, p. 1–12, 2018a. Disponível em: <<http://www.ibram.df.gov.br/especies-exoticas-invasoras-do-df/>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- JUNK, J. et al. Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, v. 24, n. 1, p. 5–22, 2014. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/aqc.2386>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- KERBAUY, G. B. *Fisiologia vegetal*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, v. 1, p. 430-460, 2008. Disponível em: <https://www.academia.edu/35488160/Livro_Fisiologia_Vegetal_-_Kerbauy.pdf>. Acesso em 20. Dez. 2019.
- KHUDAMRONGSAWAT, J. et al. Genetic diversity of giant reed (*Arundo donax*) in the Santa Ana River, California. *Weed Science*, v. 52, n. 3, p. 395–405, 2004. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/232682949_Genetic_diversity_of_giant_reed_Arundo_donax_in_the_Santa_Anna_River_California>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- KLINK, C.; MACHADO, R. A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade*, v. 1, p. 281–282, 2005. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/228342037_A_conservacao_do_Cerrado_brasileiro>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- KØRUP, K. et al. Biomass production and water use efficiency in perennial grasses during and after drought stress. *GCB Bioenergy*, v. 10, n. 1, p. 12–27, 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/318152945_Biomass_production_and_water_use_efficiency_in_perennial_grasses_during_and_after_drought_stress>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- LEWANDOWSKI, I. et al. The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. *Biomass and Bioenergy*, v. 25, n. 4, p. 335–361, 2003. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953403000308>>. Acesso em: 20 dez. 2019
- LI, C. et al. Phytoremediation of Zn- and Cr-Contaminated Soil Using Two Promising Energy Grasses. *Water Air and Soil Pollution*, v. 225, n. 7, p. 1-12, 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/278074460_Phytoremediation_of_Zn-_and_Cr-Contaminated_Soil_Using_Two_Promising_Energy_Grasses>. Acesso em: 20 dez. 2019.

- Li, F et al. Effects of atmospheric CO₂ enrichment, water status and applied nitrogen on water- and nitrogen-use efficiencies of wheat. *Plant Soil*, v. 254, n. 2, p. 279–289, 2004. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1023/A:1025521701732>>. Acesso em 20 dez. 2019.
- LI, F. et al. Interactive effects of elevated CO₂, nitrogen and drought on leaf area, stomatal conductance, and evapotranspiration of wheat. *Agricultural Water Management*, v. 67, n. 3, p. 221–233, 2004. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377404000514>>. Acesso em 20 dez. 2019.
- LOWE, S. et al. 100 of the World's Worst Invasive Alien Species a Selection from the Global Invasive Species Database. The Invasive Species Specialist Group (ISSG) a specialist group of the Species Survival Commission (SSC) of the World Conservation Union (IUCN), 2004. Disponível em:<<https://www.iucn.org/content/100-worlds-worst-invasive-alien-species-a-selection-global-invasive-species-database>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- MANN, J. et al. *Miscanthus* × *giganteus* and *Arundo donax* shoot and rhizome tolerance of extreme moisture stress. *GCB Bioenergy*, v. 5, n. 6, p. 693–700, 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/258726905_Miscanthus_giganteus_and_Arundo_donax_shoot_and_rhizome_tolerance_of_extreme_moisture_stress>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- MARTINS, C. et al. Levantamento das gramíneas exóticas do Parque Nacional de Brasília, Distrito Federal, Brasil. *Natureza & Conservação*, v. 5, n. 2, p. 23–30, 2007. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/264195058_Levantamento_das_gramineas_exoticas_do_Parque_Nacional_de_Brasilia_Distrito_Federal_Brasil>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- MAVROGIANOPOULOS, G. et al. Use of wastewater as a nutrient solution in a closed gravel hydroponic culture of giant reed (*Arundo donax*). *Bioresource Technology*, v. 82, n. 2, p. 103–107, 2002. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852401001808>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- MINOCHA, R. et al. Development of a standardized methodology for quantifying total chlorophyll and carotenoids from foliage of hardwood and conifer tree species. *Canadian Journal of Forest Research*, v. 39, n. 4, p. 849–861, 2009. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/43280457_Development_of_a_standardized_methodology_for_quantifying_total_chlorophyll_and_carotenoids_from_foliage_of_hardwood_and_conifer_tree_species>. Acesso em 20 dez. 2019.
- MIRZA, N. et al. Phytoremediation potential of *Arundo donax* in arsenic-contaminated synthetic

- wastewater. *Bioresource Technology*, v. 101, n. 15, p. 5815–5819, 2010. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20363125>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- MORAN, R.; PORATH, D. Chlorophyll Determination in Intact Tissues Using N,N-Dimethylformamide. *Plant Physiology*, v. 65, n. 3, p. 478–479, 1980. Disponível em: <<http://www.plantphysiol.org/content/65/3/478>>. Acesso em 20 dez. 2019.
- NACKLEY, L. et al. *Arundo donax* water use and photosynthetic responses to drought and elevated CO₂. *Agricultural Water Management*, v. 136, p. 13–22, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377414000201>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- NETO, P. et al. Variations in chemical composition and structure of macromolecular components in different morphological regions and maturity stages of *Arundo donax*. *Industrial Crops and Products*, v. 6, n. 1, p. 51–58, 1997. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669096002051>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- OLIVEIRA, A. et al., Anatomical and morphological modifications in response to flooding by six Cerrado tree species. *Acta Botanica Brasílica*, v. 29, p. 478–488, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-33062015000400478>. Acesso em 20 dez. 2019.
- ORTIZ-MOREA, A. et al. Global analysis of the sugarcane microtranscriptome reveals a unique composition of small RNAs associated with axillary bud outgrowth. *Journal of Experimental Botany*, v. 64, n. 8, p. 2307–2320, 2013. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23564956>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- OSBORNE, B.; GIORIA, M. Plant invasions. *Journal of Plant Ecology*, v. 11, n. 1, p. 1–3, 2018. Disponível em: <<https://academic.oup.com/jpe/article/11/1/1/4817364>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- OSÓRIO, J. et al. Water deficits are more important in delaying growth than in changing patterns of carbon allocation in *Eucalyptus globulus*. *Tree Physiology*, v. 18, p. 363–373, 1998. Disponível em: <<https://academic.oup.com/treephys/article/18/6/363/1717399>>. Acesso em 20 dez. 2019.
- PAPAZOGLU, G. *Arundo donax* L. stress tolerance under irrigation with heavy metal aqueous solutions. *Desalination*, v. 211, n. 1–3, p. 304–313, 2007. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916407002342>>. Acesso em: 20 dez. 2019.

- PEARCY, R.; EHLERINGER, J. Comparative ecophysiology of C3 and C4 plants. *Plant, Cell and Environment*, v. 7, n. 1, p. 1–13, 2006. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/229492315_Comparative_ecophysiology_of_C3_and_C4_plants>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- PERDUE, R. E. *Arundo donax*-Source of musical reeds and industrial cellulose. *Economic Botany*, v. 12, n. 4, p. 368–404, 1958. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/BF02860024>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- PILU et al. Giant reed (*Arundo donax* L.): A weed plant or a promising energy crop? *African Journal of Biotechnology*, v. 11, n. 38, p. 9163–9174, 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/268407828_Giant_reed_Arundo_donax_L_A_weed_plant_or_a_promising_energy_crop>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- PINTÓ-MARIJUAN, M.; MUNNÉ-BOSCH, S. Ecophysiology of invasive plants: osmotic adjustment and antioxidants. *Trends in Plant Science*, v. 18, n. 12, p. 660–666, 2013. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24001766>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- PYŠEK, P. et al. A global assessment of invasive plant impacts on resident species, communities and ecosystems: the interaction of impact measures, invading species' traits and environment. *Global Change Biology*, v. 18, n. 5, p. 1725–1737, 2012. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3597245/>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- RATTER, J. The Brazilian Cerrado Vegetation and Threats to its Biodiversity. *Annals of Botany*, v. 80, n. 3, p. 223–230, 1997. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0305736497904698>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- REICH, P. et al. Leaf structure (specific leaf area) modulates photosynthesis-nitrogen relations: Evidence from within and across species and functional groups. *Functional Ecology*, v. 12, n. 6, p. 948–958, 1998. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/2390490?seq=1>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- RICHARDSON, D. M. et al. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Biodiversity Research*, v. 6, p. 93–107, 2000. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/228606366_Naturalization_and_invasion_of_alien_plants_Concepts_and_definitions>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- ROCHA, K. ; BACELAR JÚNIOR, A. Anova Medidas Repetidas E Seus Pressupostos: Análise Passo a Passo De Um Experimento. *Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia* - ISSN: 1984-

- 5693, v. 10, p. 29, 2018. Disponível em: <<https://revistascientificas.ifrj.edu.br/revista/index.php/revistapct/article/view/955>>. Acesso em 20 dez. 2019.
- RODRIGUES, R et al. Rendimento de Biomassa da Cana-do-Reino. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, p. 1-23, 2007. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/745881?locale=en>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- ROSA, T. et al. Alagamento do Solo: Efeito no Crescimento Inicial da Aveia Branca (*Avena sativa* L.). Scientia Agraria Paranaensis, v. 14, n. 2, p. 127–131, 2015. Disponível em: <<http://e-revista.unioeste.br/index.php/scientiaagraria/article/view/10101>>. Acesso em 20 dez. 2019.
- ROSSA, B. et al. *Arundo donax* L. (Poaceae) - a C 3 Species with Unusually High Photosynthetic Capacity. Botanica Acta, v. 111, n. 3, p. 216–221, 1998. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/269345285_Arundo_donax_L_Poaceae_a_C_3_Species_with_Unusually_High_Photosynthetic_Capacity>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- SÁNCHEZ, E. et al. Salinity and Water Stress Effects on Biomass Production in Different *Arundo donax* L. Clones. BioEnergy Research, v. 8, n. 4, p. 1461–1479, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/280924327_Salinity_and_Water_Stress_Effects_on_Biomass_Production_in_Different_Arundo_donax_L_Clones>. Acesso em 20 dez. 2019.
- SIMÕES, C. et al. Distribuição de Cana-do-Reino (*Arundo donax* L.) no Distrito Federal, Brasil. Biodiversidade Brasileira, v. 3, n. 2, p. 97–105, 2013. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/revistaelectronica/index.php/BioBR/article/view/329>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- SIMÕES, K. . Ocorrência e caracterização da espécie invasora *Arundo donax* L. (CANA-DO-REINO) no Distrito Federal, Brasil. Orientador: John Du Vall Hay. Dissertação de Mestrado; Pós-Graduação em Ecologia; Universidade de Brasília; Brasil, p. 125, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.unb.br/handle/10482/13791>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- SPATZ, H. et al. Biomechanics of the giant reed *Arundo donax*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences, v. 352, n. 1349, p. 1–10, 29 jan. 1997. Disponível em:< <https://royalsocietypublishing.org/doi/abs/10.1098/rstb.1997.0001>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- STRIKER GABRIEL. Flooding Stress on Plants: Anatomical, Morphological and Physiological Responses. In: Botany. [s.l: s.n.]. p. 3–28. Disponível em:<

https://www.researchgate.net/publication/221929146_Flooding_Stress_On_Plants_Anatomical_Morphological_And_Physiological_Responses>. Acesso em: 20 dez. 2019.

VASCONCELOS, G. ; GOMES, C. Propagação assexuada da Cana-do-Reino (*Arundo donax* L.). Nota Técnica EMBRAPA, v. 1. n. 158, p. 1-4, 2007. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/292615197_Use_of_Poor_Quality_Water_to_Produce_High_Biomass_Yields_of_Giant_Reed_Arundo_donax_L_on_Marginal_Lands_for_Biofuel_or_PulpPaper>. Acesso em: 20 de. 2019.

VOESENEK, L.; BAILEY-SERRES, J. Flood adaptive traits and processes: an overview. *New Phytologist*, v. 206, n. 1, p. 57–73, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/5407345_Flooding_Stress_Acclimations_and_Genetic_Diversity>. Acesso em 20 dez. 2019.

WATTS, D. ; MOORE, G. Water-use dynamics of an invasive reed, *Arundo donax*, from leaf to stand. *Wetlands*, v. 31, n. 4, p. 725–734, 2011. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/226577432_WaterUse_Dynamics_of_an_Invasive_Reed_Arundo_donax_from_Leaf_to_Stand>. Acesso em: 20 dez. de 2019.

WELLBURN, A. The Spectral Determination of Chlorophylls a and b, as well as Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different Resolution. *Journal of Plant Physiology*, v. 144, n. 3, p. 307–313, 1994. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/269699354_Spectrophotometric_Analysis_of_Chlorophylls_and_Carotenoids_from_Commonly_Grown_Fern_Species_by_Using_Various_Extracting_Solvents>. Acesso em 20 dez. 2019.

WILLIAMS, J. et al. Use Of Poor Quality Water To Produce High Biomass Yields Of Giant Reed (*Arundo donax* L.) On Marginal Lands For Biofuel Or Pulp/Paper. *Acta Horticulturae*, n. 806, p. 595–602, jan. 2009. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/292615197_Use_of_Poor_Quality_Water_to_Produce_High_Biomass_Yields_of_Giant_Reed_Arundo_donax_L_on_Marginal_Lands_for_Biofuel_or_PulpPaper>. Acesso em: 20 dez. 2019.

WILLIAMS, J. et al. Use of saline land and wastewater for growing a potential biofuel crop (*Arundo donax*). *Irrigation Australia 2008 Conference*, v. CD, n. May, p. 1–8, 2008. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/292615197_Use_of_Poor_Quality_Water_to_Produce_High_Biomass_Yields_of_Giant_Reed_Arundo_donax_L_on_Marginal_Lands_for_Biofuel_or_Pulp

Paper>. Acesso em: 20 dez. 2019.

ZHANG, J. et al. Adsorption of malachite green from aqueous solution onto carbon prepared from *Arundo donax* root. *Journal of Hazardous Materials*, v. 150, n. 3, p. 774–782, 2008. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389407007509>>. Acesso em: 20 dez. 2019.