



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE
SANTANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS
GENÉTICOS VEGETAIS**



GILMARA MOREIRA DE OLIVEIRA

**VULNERABILIDADE DE SEMENTES DE AROEIRA-DO-
SERTÃO (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) ÀS MUDANÇAS
CLIMÁTICAS GLOBAIS**

Feira de Santana - BA

2019

GILMARA MOREIRA DE OLIVEIRA

VULNERABILIDADE DE SEMENTES DE AROEIRA-DO-SERTÃO (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, da Universidade Estadual de Feira de Santana, como requisito para obtenção do título de Doutor em Recursos Genéticos Vegetais.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Claudineia Regina Pelacani Cruz

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Bárbara França Dantas

Feira de Santana - BA

2019

Ficha Catalográfica - Biblioteca Central Julieta Carteadó - UEFS

O47

Oliveira, Gilmará Moreira de

Vulnerabilidade de sementes de aroeira-do-sertão (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) às mudanças climáticas globais / Gilmará Moreira de Oliveira. – 2019. 97 f.: il.

Orientadora: Claudineia Regina Pelacani Cruz.

Coorientadora: Bárbara França Dantas.

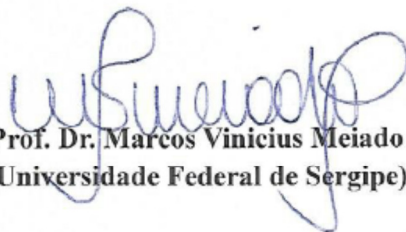
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Programa de Pós-graduação em Recursos Genéticos Vegetais, Feira de Santana, 2019.

1. Anacardiaceae. 2. *Myracrodruon urundeuva* Allemão. 3. Aroeira-do-sertão. 4. Sementes - germinação. 5. Caatinga. 6. Fatores ambientais. 7. Mudanças climáticas. I. Cruz, Claudineia Regina Pelacani, orient. II. Dantas, Bárbara França, coorient. III. Universidade Estadual de Feira de Santana. IV. Título.

CDU: 582.765

Luis Ricardo Andrade da Silva - Bibliotecário - CRB-5/1790

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Marcos Vinicius Meiado
(Universidade Federal de Sergipe)



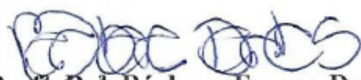
Profa. Dra. Adriana Queiroz de Almeida
(Universidade Estadual de Feira de Santana)



Prof. Dr. Paulo de Carvalho Teixeira Vasconcelos
(Faculdade São Francisco de Barreiras)



Prof. Dr. Diogo Denardi Porto
(Embrapa Semiárido)



Prof. Dr. Bárbara França Dantas
(Embrapa Semiárido)
Coorientadora e Presidente da Banca

Feira de Santana – BA

2019

À minha avó, Francisca Moreira Coelho (in memoriam), dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por todo amor e presença constante em meu caminho, pela luz do entendimento do que parecia incompreensível e por me permitir viver em plenitude.

À minha família por tudo que representa na minha vida. Em especial, aos meus pais, José Gondim e Gildenir Coelho, minha eterna gratidão por toda a abdicação, amor e educação.

Ao meu esposo, Bruno Augusto, pelas repetidas doses diárias de apoio, motivação e amor a mim dedicados.

À minha orientadora, Dr.^a Claudineia Pelacani, pela oportunidade em desenvolver este trabalho, pela orientação e ensinamentos.

À minha coorientadora, Dr.^a Bárbara Dantas, pela orientação e pelos grandes ensinamentos, sempre com disponibilidade em esclarecer dúvidas.

À Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS, e ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais (PPGRGV) pela oportunidade concedida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

À Embrapa Semiárido, pela disponibilidade de sua infraestrutura para execução dos trabalhos.

À equipe do Laboratório de Sementes da Embrapa Semiárido (LASESA) pela ajuda nos trabalhos executados e pelos momentos de descontração. Um agradecimento especial a Samara pela parceria dos momentos alegres e tristes, Marcelo pela disponibilidade em sempre ajudar, Manoel Lins, o nosso “Chefe” e Alberto que sempre será do LASESA.

À Emanuel Marques por todo suporte e disponibilidade na execução das análises.

Aos amigos de longa data e aos que a Pós-Graduação me presenteou, como Aline Silva e Fabrício Francisco, obrigada por todos os momentos em que partilhamos alegrias e angústias.

À Bárbara Laís e Eliza Maiara, pela amizade sincera que foi construída em Feira de Santana e que levarei para a vida, obrigada pelas conversas diárias que tornaram a minha rotina muito mais feliz.

Aos amigos Juliane Rafaelle, Miguel Júlio e Maydara Thaylla por se fazerem presentes em minha vida e torna-la mais divertida.

Por fim, agradeço a todos que, apesar de não terem sido citados, foram lembrados e fizeram parte desta realização.

A todos, o meu muito OBRIGADA!

*“Aroeira-do-sertão,
Em nossas mãos serviste
Da experiência,
Agora, tu és ciência.
A ti, a nossa gratidão. ”*

Mary Anne Bandeira

OLIVEIRA, G. M. **Vulnerabilidade de sementes de aroeira-do-sertão (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) às mudanças climáticas globais.** UEFS – Universidade Estadual de Feira de Santana. Tese. p. 97, 2019.

Orientadora: Dr^a Claudineia Regina Pelacani Cruz

RESUMO

Myracrodruon urundeuva Allemão é uma espécie arbórea conhecida popularmente como aroeira-do-sertão. É considerada como uma das espécies nativas com importância econômica devido as suas características madeireira e medicinal. Objetivou-se obter os limites térmicos e osmóticos, com base nos modelos de tempo térmico, tempo hídrico e tempo hidrotérmico, com a finalidade de testar a eficiência desses modelos e descrever o comportamento germinativo das sementes de *M. urundeuva* em condições adversas e em cenários futuros de mudanças climáticas. Além disso, foi determinado a relação entre os fatores climáticos e a germinação de diferentes safras de sementes de *M. urundeuva*, assim como predição da germinação dessas sementes em cenários futuros de mudanças climáticas. A redução de semanas com precipitação mínima afetará diretamente a germinação de sementes e o recrutamento de plântulas. A temperatura de 30 °C inferiu uma maior porcentagem de germinação para as sementes em soluções preparadas com PEG. À medida que reduziu do potencial osmótico do meio, houve também uma redução nos valores de plântulas normais. As sementes de *M. urundeuva* são tolerantes à ampla faixa de temperatura e potenciais osmóticos. Modelos climáticos permitem identificar as respostas germinativas de *M. urundeuva* em cenários futuros de mudanças climáticas. A temperatura interferiu na resposta germinativa das sementes de *M. urundeuva* sob diferentes potenciais osmóticos. A germinação e a formação plântulas de *M. urundeuva* foram afetadas negativamente pela redução do potencial osmótico preparados com PEG e NaCl. A germinação de sementes de *M. urundeuva* pode ser avaliada por meio de modelos baseados no conceito de tempo hídrico e tempo hidrotérmico. A qualidade das sementes produzidas de *M. urundeuva* está relacionada com as temperaturas máxima, média e mínima, umidades média e mínima, e com a precipitação. Cenários futuros de mudanças climáticas, ocorrerá uma redução da qualidade fisiológica das sementes de *M. urundeuva* ocasionada por flutuações das variáveis de clima.

Palavras-chave: Anacardiaceae, Caatinga, espécie florestal, fatores ambientais.

OLIVEIRA, G. M. **Vulnerability of aroeira-do-sertão (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) seeds to global climate change.** UEFS – Universidade Estadual de Feira de Santana. Tese. p. 97, 2019.

Orientadora: Dr^a Claudineia Regina Pelacani Cruz

ABSTRACT

Myracrodruon urundeuva Allemão is an arboreal species popularly known as aroeira-do-sertão. It is considered one of the native species with economic importance due to its wood and medicinal characteristics. The objective was to obtain thermal and osmotic limits, based on the thermal time, water time and hydrothermal time models, in order to test the efficiency of these models and describe the germination behavior of *M. urundeuva* seeds in adverse conditions and in future climate change scenarios. In addition, the relationship between climatic factors and the germination of different harvests *M. urundeuva* seed was determined, as well as the prediction of these seeds germination in future climate change scenarios. Reducing weeks with minimal rainfall will directly affect seed germination and recruitment of seedlings. The temperature of 30 °C promoted a higher germination percentage for seeds in solutions prepared with PEG. As osmotic potential of medium was reduced, there was also a reduction in seedling values. It is concluded that *M. urundeuva* seeds are tolerant to a wide range of temperature and osmotic potentials. Climate models allow us to identify the germination responses of *M. urundeuva* in the future climate change scenarios. Temperature interfered with the germination response of *M. urundeuva* seeds under different osmotic potentials. Germination and formation of *M. urundeuva* seedlings were negatively affected by reduced osmotic potential prepared with PEG and NaCl. The germination *M. urundeuva* seeds can be evaluated by means models based on the concept water and hydrothermal time. The seeds quality produced from *M. urundeuva* is linked to the maximum, average and minimum temperatures, average and minimum humidity and precipitation. And in future climate change scenarios, there will be a reduction in the physiological quality of *M. urundeuva* seeds caused by fluctuations in climate variables.

Keywords: Anacardiaceae, Caatinga, forest species, environmental factors.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	12
REFERÊNCIAS	15
REVISÃO DE LITERATURA.....	17
Caracterização da espécie	17
Clima futuro no Nordeste do Brasil.....	20
Modelos matemáticos na germinação de sementes em condições abióticas	21
REFERÊNCIAS	24
ESTRESSES AMBIENTAIS, CLIMA FUTURO E GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE <i>Myracrodruon urundeuva</i>	27
INTRODUÇÃO	30
MATERIAL E MÉTODOS	31
Colheita e beneficiamento das sementes.....	31
Dados climáticos mensais, históricos e futuros	32
Germinação de sementes em diferentes temperaturas e potenciais osmóticos	32
Obtenção de tempo térmico e tempo hídrico de sementes de cada lote.....	33
Previsão da germinação de sementes em clima atual e futuro	34
RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
Efeito dos estresses ambientais na germinação.....	34
Previsão da germinação em clima futuro	43
CONCLUSÕES.....	44
AGRADECIMENTOS	44
REFERÊNCIAS	45
ESTRESSES AMBIENTAIS COMBINADOS E REQUERIMENTO HIDROTÉRMICO PARA A GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE <i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão (ANACARDIACEAE).....	49
INTRODUÇÃO	52
MATERIAL E MÉTODOS	53
Colheita e beneficiamento de sementes.....	53
Germinação de sementes e formação de plântulas	54
Análise dos dados.....	54
RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
CONCLUSÕES.....	62

AGRADECIMENTOS	62
REFERÊNCIAS	63
EFEITO DO CLIMA NA PRODUÇÃO DE SEMENTES DE <i>Myracrodruon urundeuva</i> ALLEMÃO (ANACARDIACEAE) DE ALTA QUALIDADE FISIOLÓGICA.....	67
INTRODUÇÃO	70
MATERIAL E MÉTODOS	71
Coleta de beneficiamento das sementes	71
Germinação das sementes	71
Coleta dos dados climáticos	71
Análise dos dados obtidos	72
Modelo de calibração multivariada	73
Germinação estimada para os cenários de mudanças climáticas	73
RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
CONCLUSÕES.....	79
AGRADECIMENTOS	79
REFERÊNCIAS	80
ANEXOS	83

INTRODUÇÃO GERAL

A atividade antrópica vem, ao longo das últimas décadas, adicionando quantidades consideráveis de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, provocando mudanças no clima, como a elevação das temperaturas terrestres (IPCC, 2014). As projeções de clima preveem cenários de secas e eventos extremos de chuva em grandes áreas do planeta. A combinação das alterações do clima na forma de falta de chuva ou pouca chuva, acompanhada de altas temperaturas, altas taxas de evaporação e alta competição pelos recursos hídricos, pode levar a uma crise potencialmente catastrófica (MARENGO et al., 2011). Segundo o quinto relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC*), os países em desenvolvimento serão os mais afetados, especialmente dos países tropicais, como as regiões Norte e Nordeste do Brasil, sendo o semiárido nordestino a região mais vulnerável (IPCC, 2014).

As projeções climáticas, divulgadas pelo Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) demonstram que, nessa região, até o final do século, haverá um aumento de até 3,5 °C, com condições mais quentes e a diminuição de quase 40% da distribuição de chuva, agravando, assim, o déficit hídrico da região (PBMC, 2013; MARENGO, 2014). Dessa forma, a região semiárida nordestina pode se tornar uma região árida, com chuvas mais baixas na estação chuvosa e menor umidade do solo ao longo do ano, resultando em um risco de desertificação para o período 2090-2099 (SALAZAR et al., 2007; MARENGO, 2014). Embora essas estimativas sejam baseadas em mudanças na temperatura do ar, as temperaturas do solo serão maiores, afetando tanto a germinação da semente quanto à persistência no banco de sementes do solo (OOI, 2015). Esses efeitos dependerão das características físicas do solo, da cobertura da vegetação e da composição das espécies.

Como parte do semiárido nordestino, a Caatinga apresenta características peculiares, como fisionomia xerófila e florística variada, com elevado grau de endemismo devido à grande capacidade adaptativa das espécies ao clima predominante. É marcada por uma forte sazonalidade climática, com alternância entre estações chuvosa e seca. Muitas plantas da Caatinga se ajustam a periodicidade do regime climático, tornando-se decíduas no período seco, estratégia positiva adotada para economia de água. Constitui em um dos tipos de vegetação mais difícil de ser definido, devido sua heterogeneidade relacionada à sua fisionomia e sua composição florística (PRADO, 2003; DIAS e KIILL, 2008). Esse bioma possui características únicas, com uma composição florística composta por espécies herbáceas, cactáceas, bromeliáceas, arbustivas e arbóreas. Muitas dessas espécies possuem adaptações fisiológicas às condições ambientais extremas, como deciduidade marcante, diminuição no tamanho das folhas, presença de espinhos e germinação em condições de estresse hídrico e na presença de sais no solo (MEIADO et al., 2012).

As plantas nativas da Caatinga estão sujeitas a, pelo menos, algum tipo de estresse abiótico ao longo do seu ciclo de desenvolvimento (DANTAS et al., 2014). E, dentre os processos de sobrevivência das plantas, a germinação é o mais afetado pelos estresses térmico, hídrico e salino (OLIVEIRA et al., 2019).

A germinação é um processo complexo em que a semente deve recuperar-se rapidamente da secagem sofrida no final do processo de maturação e proporcionar eventos celulares essenciais para permitir a emergência do embrião (NONOGAKI et al., 2010). A habilidade de germinar sob a influência de diferentes fatores abióticos é de extrema importância para as sementes, pois, assim, elas garantem sua sobrevivência e a regeneração das florestas (CECCON et al., 2006; MOURA et al., 2011). Dentre os fatores que influenciam diretamente a germinação das sementes, destacam-se a temperatura e a disponibilidade hídrica, os dois principais fatores abióticos que serão alterados com as mudanças climáticas globais.

Mudanças de temperatura interferem na velocidade das reações enzimáticas que podem ser influenciadas por temperaturas mais baixas ou mais altas em relação à temperatura ideal para a ocorrência de reações químicas de determinada espécie. Além disso, a temperatura está diretamente ligada ao processo de absorção de água pela semente, quando as mesmas são submetidas a temperaturas extremas (BASKIN e BASKIN, 2014). A diminuição do potencial hídrico do meio também é um fator determinante para o sucesso do processo germinativo, pois é por meio da absorção de água que ocorre a reativação do metabolismo das sementes (BEWLEY et al., 2013), em consequência, a germinação pode ser inviabilizada caso essa demanda hídrica não seja suprida (MARCOS FILHO, 2015).

Myracrodruon urundeuva Allemão é uma espécie arbórea conhecida popularmente como aroeira-do-sertão. Essa Anacardiaceae é considerada como uma das espécies nativas que apresenta madeira mais resistente, pois seu cerne é considerado praticamente imputrescível (LORENZI, 2010). Devido a essa característica, e de suas propriedades medicinais, foi e ainda hoje tem sido muito explorada (VIRGENS et al., 2012). Essa espécie possui ampla distribuição, ocorrendo em diferentes biomas brasileiros, inclusive na Caatinga, onde o clima é caracterizado por baixas precipitações pluviais, altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar (PEDROZA et al., 2015).

Dessa forma, torna-se importante estudar a ecofisiologia da germinação das sementes de espécies que, em ambiente natural, são submetidas às condições estressantes, como restrição hídrica e temperaturas elevadas. Sabe-se que sementes de espécies florestais nativas da Caatinga são altamente tolerantes a estresses abióticos (LOPES et al., 2007; ARAÚJO et al., 2008; SILVA et al., 2008; MATIAS et al., 2011; DANTAS et al., 2012), no entanto, existem poucos relatos sobre os

limites de tolerância quando a germinação é completamente inibida pelos estresses (OLIVEIRA et al., 2019; DANTAS et al., 2019). As diferenças de tolerância aos estresses abióticos entre populações de espécies podem ser ferramentas na adoção de medidas de conservação, visando os cenários futuros de mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, M. N.; LOPES, A. P.; SILVA, P. P.; SILVA, F. F. S.; SOUZA, Y. A.; DANTAS, B. F. Desenvolvimento inicial de plantas de mororó (*Bauhinia cheilantha* (Bong.) Seug.) submetidas ao estresse hídrico. In: Jornada de Iniciação Científica da Embrapa Semi-árido, 3., 2008, Petrolina. Anais... Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2008.
- BASKIN, C. C.; BASKIN, J. M. Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination. San Diego: Academic Press, 2014, 1586 p.
- BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K. J.; HILHORST, H. W. M.; NONOGAKI, H. Seeds - physiology of development, germination and dormancy. 3.ed. New York: Springer, 2013. 392p.
- CECCON, E.; HUANTE, P.; RINCON, E. Abiotic Factors Influencing Tropical Dry Forests Regeneration. Brazilian Archives of Biology and Technology, v. 49, p. 305-312, 2006.
- DANTAS, B. F.; MATIAS, J. R.; MENDES, R. B.; RIBEIRO, R. C. “As sementes da Caatinga são...”: um levantamento das características das sementes da Caatinga. Informativo ABRATES, v.24, n.3, p.18-23, 2014.
- DANTAS, B. F.; MOURA, M. S. B.; PELACANI, C. R.; ANGELOTTI, F.; TAURA, T. A.; OLIVEIRA, G. M.; BISPO, J. S.; MATIAS, J. R.; SILVA, F. F. S.; PRITCHARD, H. W.; SEAL, C. E. Rainfall, not soil temperature, will limit the seed germination of Caatinga dry forest species with climate change. Oecologia, 2019.
- DANTAS, B. F.; RAMOS, D. L. D. Germinação de sementes da Caatinga em água biossalina. Informativo Abrates, v. 22, p. 32-35, 2012.
- DIAS, C. T. V.; KIILL, L. H. P. Levantamento florístico da reserva legal do Projeto Salitre, JuazeiroBA. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, 2008.
- IPCC. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (eds Core Writing Team, R. K. Pachauri, L. A. Meyer), IPCC, Geneva. 151 p.
- LOPES, A. P.; LÚCIO, A. A.; SILVA, F. F. S.; SILVA, P. P.; DANTAS, B. F. Distribuição de fitomassa em plantas de catingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul.) submetidas ao estresse salino. In: Jornada de Iniciação Científica da Embrapa Semi-árido, 39., 2007, Petrolina. Anais... Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007.
- LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 5ª ed. Nova Odessa, Instituto Plantarum, 2010, 384p.
- MARCOS FILHO, J. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. 2.ed. Piracicaba: FEALQ, 2015. 660p.
- MARENGO, J.A.; ALVES, L.M.; BESERRA, E.A.; LACERDA, F.F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas, v.1, 2011.
- MARENGO, J.A. O futuro clima do Brasil. Revista USP, n. 103, São Paulo: EDUSP, 2014, p. 25-32.
- MATIAS, J. R.; PEREIRA, A. L.; SILVA, R.; NASCIMENTO, M. A.; REIS, R. C. R.; DANTAS, B. F. Efeito de estresse salino no processo germinativo de sementes de angico (*Anadenanthera*

colubrina). In: Jornada de Iniciação Científica da Embrapa Semiárido, 6., 2011, Petrolina. **Anais...** Petrolina. Embrapa Semiárido, 2011.

MEIADO M. V.; AONA, L. Y. S.; NASCIMENTO, J. P. B.; LIMA, A. T.; ZAPPI, D. C. Cactaceae. In: Prata APN, Farias MCV e Landim MF (Orgs.), Flora de Sergipe. Vol. 2. Aracaju: Gráfica Editora Triunfo, p. 115-142, 2015.

MOURA, M. R.; LIMA, R. P.; FARIAS, S. G. G.; ALVES, A. R.; BEZERRA, R. Efeito do estresse hídrico e do cloreto de sódio na germinação de *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 6, p. 230-235, 2011.

NONOGAKI, H.; BASSEL, G. W.; BEWLEY, J. D. Germination-still a mystery. Plant Science. (Article in Press), 2010.

OLIVEIRA, G. M.; SILVA, F. F. S.; ARAUJO, M. N.; COSTA, D. C. C.; GOMES, S. E. V.; MATIAS, J. R.; ANGELOTTI, F.; CRUZ, C. R. P.; SEAL, C. E.; DANTAS, B. F. Environmental stress, future climate, and germination of *Myracrodruon urundeuva* seeds. Journal of Seed Science, v. 41, 2019.

OOI, M.K.J. Seed bank dynamics and climate change in semi-arid ecosystems: a focus on physically dormant species. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 8, p. 651–659, 2015.

PBMC. 2013. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Sumário Executivo GT1. PBMC, Rio de Janeiro, Brasil. 24 p.

PEDROZA, K. M.; LIMA, E. Q.; LUCENA, C. M.; CARVALHO, T. K. N. C.; RIBEIRO, J. E. S.; MARÍN, E. A.; OLIVEIRA, R. S.; ALVES, R. E.; SILVA, S. M.; CRUZ, D. D.; LUCENA, R. F. P. Local botanical knowledge about *Sideroxylon obtusifolium* (Roem. & Schult.) T.D. Penn. In rural communities in the semiarid region of Brazil. Ethnobotany Research and Applications, v.14, p.463-478, 2015.

PEREZ, S. C. J. G. A.; FANTI, S. C.; CASALI, C. A. Influência da luz na germinação de sementes de canafístula submetidas ao estresse hídrico. Bragantia, v. 60, p. 155-156, 2001.

PRADO, D. E. As caatingas da América do Sul. In: Ecologia e Conservação da Caatinga. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2003. 822 p.

SALAZAR, L.F.; NOBRE, C.A.; OYAMA, M.D. Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. Geophysical Research Letters, v. 34, 2007.

SILVA, P. P.; LOPES, A.; ARAÚJO, M. D. N.; SOUZA, Y. A.; DANTAS, B. Germinação de sementes de *Myracrodruon urundeuva* F. Allem. (Anacardiaceae) e *Bauhinia cheilantha* (Bong) Stend.(Caesalpiniaceae) em condições de estresse salino. In: Jornada de Iniciação Científica da Embrapa Semi-árido 3., 2008, Petrolina. Anais... Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2008.

VIRGENS, I. O.; CASTRO, R. D.; FERNANDEZ L. G.; PELACANI C. R. Comportamento Fisiológico de sementes de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. (Anacardiaceae) submetidas a fatores abióticos. Ciência Florestal, v. 22, p. 681-692, 2012.

REVISÃO DE LITERATURA

Caracterização da espécie

Sabe-se que algumas espécies vegetais nativas da Caatinga possuem um conjunto de características que garante um grande valor genético e ecológico. Essas características atribuem às espécies da Caatinga uma importância socioeconômica, devido ao seu potencial biológico como, por exemplo, a produção de compostos naturais. Devido à essas características desejáveis, essas espécies são exploradas de forma indiscriminada. *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Figura 1) enquadra-se dentre essas espécies com alta importância biológica.



Figura 1. Espécie de estudo [*Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae)]. (A) Árvore, (B) Inflorescência evidenciando o fruto com cálice acrescido. Fonte: Foto do autor.

Popularmente conhecida como aroeira-do-sertão, *M. urundeuva* é uma espécie florestal arbórea pertencente à família Anacardiaceae (CARMELLO-GUERREIRO e PAOLI, 1999) e nativa da Caatinga. Dessa forma, é uma planta que está submetida às condições de seca e às altas temperaturas na maior parte do ano. Sua classificação, segundo o grupo ecológico, é de espécie secundária tardia (FERRETTI et al., 1995), podendo também ser classificada como secundária/pioneira antrópica, que correspondem às espécies secundárias e normalmente raras na floresta primária, mas que, em áreas antrópicas, fazem o papel de pioneiras (KAGEYAMA et al., 1994).

As plantas de *M. urundeuva* apresentam uma altura média entre 6 e 14 m no Cerrado e, na Caatinga, entre 20 e 25 m nos solos mais férteis da floresta latifoliada semidecídua, com diâmetro de tronco variando entre 50 e 80 cm (LORENZI, 2000). Seus frutos são do tipo drupa globosa ou ovóide, com cálice persistente, considerado um diásporo (fruto-semente) (FIGUEIRÔA et al., 2004). A semente é única (0,2 a 0,4 cm de diâmetro), globosa, desprovida de endosperma, com epicarpo

castanho escuro, mesocarpo castanho, carnosos, resiníferos, com odor característico e tegumento membranáceo (MEDEIROS, 1996; ALMEIDA et al., 1998). A época de floração depende da região, podendo ocorrer de junho a agosto na região Nordeste do Brasil, com frutificação entre setembro a outubro (KILL, 2010). Embora alguns autores recomendem o uso de métodos de superação de dormência (CARVALHO, 1994), outros trabalhos reportam que a germinação de *M. urundeuva* é relativamente rápida e elevada, dispensando o uso de tratamentos pré-germinativos (PACHECO et al., 2006; NUNES et al., 2008).

Miracrodruon urundeuva apresenta ampla distribuição geográfica (Figura 2), pois possui imensa plasticidade ecológica. Por essa razão, é facilmente vista em toda faixa litorânea do país, próxima à rios, córregos e várzeas úmidas de formações secundárias. Contudo, também crescem em dunas, em terrenos secos, pobres e pedregosos. Habita várias formações vegetais e pode ser indicada para a recuperação de áreas degradadas (DEGÁSPARI et al., 2005). Essa espécie ocorre naturalmente no Brasil, na Bolívia, no Paraguai e na Argentina (SANTIN e LEITÃO FILHO, 1991) e está presente em diferentes fitofisionomias brasileiras, como os biomas Caatinga, Cerrado Mata Atlântica e Pantanal (CARVALHO, 2003), sendo considerada, no Brasil, a espécie florestal nativa mais amplamente distribuída nas regiões Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste (Figura 2) (SILVA et al., 2006).

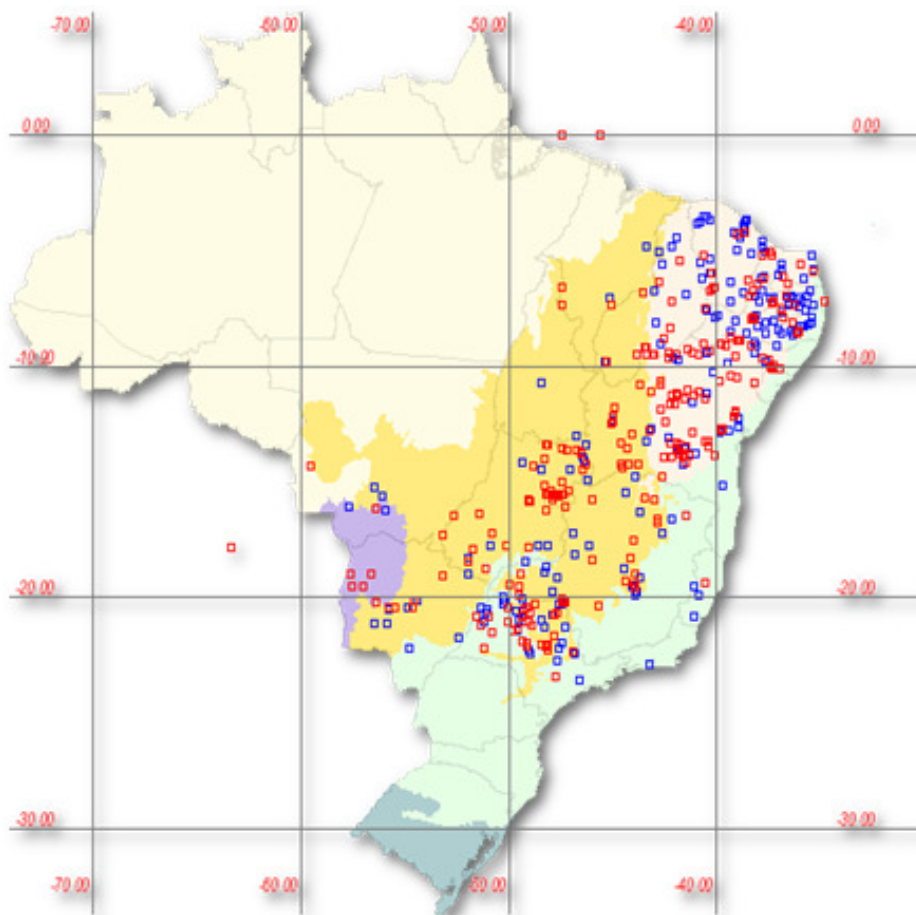


Figura 2. Distribuição da *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae). □: Coordenadas por município □: Coordenadas originais (Fonte: www.splink.org).

É notável o reconhecimento das suas propriedades físicas e químicas. Quanto à característica madeireira, *M. urundeuva* foi classificada como “muito durável” e inclusa no grupo das madeiras imputrescíveis (VIEIRA, 2008). Dessa forma, devido à sua durabilidade, a madeira de *M. urundeuva* é muito utilizada em estruturas internas e externas como móveis, pontes, esteios e vigas (LORENZI, 2002). Possui também compostos químicos que já vem sendo bastante avaliados em estudos científicos (ANDRADE et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2018). A utilização de *M. urundeuva* abrange diversas possibilidades, possuindo, inclusive, propriedades medicinais e, em certa medida, validando os seus usos tradicionais na medicina popular (CECÍLIO et al., 2012). Sua entrecasca possui propriedades anti-inflamatórias, adstringentes, antialérgicas e cicatrizantes e as raízes são usadas no tratamento de reumatismo (CARLINI et al., 2010).

O potencial fisiológico das sementes de *M. urundeuva* pode ser verificado através de testes de germinação, os quais são influenciados por fatores ambientais, tais como temperatura, disponibilidade hídrica e salinidade do solo (CARDOSO et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2014;). Essas plantas, sujeitas

às condições estressantes, apresentam tolerância às condições de altas temperaturas e baixos potenciais osmóticos (DANTAS et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2019;). Porém, não existem estudos que relacionem essas condições ambientais com a produção de sementes de *M. urundeuva*.

Clima futuro no Nordeste do Brasil

A mudança climática refere-se a qualquer mudança do clima ao longo do tempo, seja devido à variabilidade natural ou como resultado da atividade humana. Segundo a publicação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC*), a concentração dos gases do efeito estufa (GEE) tem aumentado, desde 1750, devido à atividade humana. Em seu quinto Relatório de Avaliação das Mudanças no Clima do Planeta (IPCC AR5), o IPCC alerta para um aumento na temperatura da ordem de 1,2 a 4 °C até 2100. Esse aumento não será uniforme, ocorrendo variações interanuais e regionais, provocando a ocorrência de eventos climáticos extremos, como secas e chuvas intensas (IPCC, 2013). Projeções climáticas demonstraram que ocorrerá, na América do Sul, um aumento da temperatura e, no âmbito nacional, o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) projeta cenários da mudança de clima regionalizados, utilizando modelos globais citados nos relatórios do IPCC (IPCC, 2014).

Projeções indicaram que ocorrerá uma mudança considerável no clima do Brasil, com um maior aquecimento no sul da Amazônia e Nordeste do Brasil, sendo estas consideradas as áreas com maior vulnerabilidade (PBMC, 2013; IPCC, 2014; MARENGO, 2014). O estudo realizado por Marengo e Valverde (2007) fez uma análise dos cenários de climas futuros (até 2100) para o Brasil como um todo e para as regiões Nordeste, Amazônica e Bacia do Prata, gerados pelos modelos usados no IPCC-AR4. Os resultados indicaram que, para a região Nordeste, há uma tendência de redução de chuvas acompanhada de aumento da temperatura para finais do século XXI. Na Caatinga haverá uma redução no valor total da precipitação, com o aumento de dias secos e da temperatura do ar (PBMC, 2013). Ocorrerá o acréscimo de até 1 °C na temperatura do ar e diminuição de até 20% das precipitações até 2040, chegando até o final do século a um aumento de 3,5 °C na temperatura e uma queda de 40% nas precipitações (PBMC, 2013).

Os estudos demonstraram uma preocupação crescente da comunidade científica quanto às alterações do clima e suas consequências no Brasil. O Nordeste brasileiro poderá ser afetado nas suas mais diferentes esferas, acarretando diversos danos que precisam ser levados em consideração para o devido planejamento preventivo e mitigador. Além disso, a região semiárida do Nordeste apresenta-se como a mais vulnerável das regiões brasileiras, devido aos menores índices de desenvolvimento

social e econômico, com grande parte da população desenvolvendo atividades agrícolas com baixo grau de tecnificação e elevada dependência da disponibilidade de recursos naturais.

Modelos matemáticos na germinação de sementes em condições abióticas

A germinação de sementes engloba eventos que se iniciam com absorção de água pela semente e terminam com a elongação do eixo embrionário. Fisiologicamente, o processo germinativo pode ser dividido nas fases de embebição da água (reidratação), aumento da respiração, alongamento celular, divisão celular (consequente formação de enzimas, digestão, mobilização e transporte das reservas e assimilação metabólica), crescimento e diferenciação dos tecidos (BEWLEY et al., 2013). Os fatores ambientais têm participação essencial durante o processo germinativo de uma semente e o conhecimento das condições ideais para a germinação de determinada espécie é de fundamental importância, principalmente, pelas respostas diferenciadas que ela pode apresentar em função de diversos fatores bióticos e abióticos, como viabilidade, dormência, água, luz e temperatura (BRASIL, 2009; CARVALHO e NAKAGAWA, 2012). Assim, a capacidade de adaptação a essas condições varia de acordo com a espécie e pode significar a sua sobrevivência em determinados ambientes (TAIZ e ZAIGER, 2010).

A germinação é um dos estádios de desenvolvimento das plantas mais sensíveis às flutuações de temperatura e potencial de água no meio, sendo comum, na literatura científica, a descrição da resposta das sementes a esses fatores com base em modelos matemáticos (CARDOSO, 2015). Três temperaturas cardinais geralmente caracterizam respostas da germinação à temperatura: a mínima, a ótima e a máxima. A mínima (ou base, T_b) e a máxima (ou teto, T_t) são as temperaturas abaixo ou acima das quais a germinação não ocorrerá, enquanto que a ótima (T_o) é a temperatura na qual a germinação é mais rápida e máxima. Além disso, as sementes apresentam um potencial hídrico base (Ψ_b) que determina o limite hídrico em função da germinação (BRADFORD, 2002).

Com base nessas definições, os modelos mais empregados são os baseados no conceito de tempo térmico (*thermal time*) e tempo hídrico (*hydrotime*) (ALVARADO e BRADFORD, 2002; LARSEN e BIBBY, 2005; BLOOMBERG et al., 2009; RAWLINS et al., 2012). O conceito de tempo térmico permite estimar o tempo necessário para a germinação de uma semente em diferentes temperaturas. Dessa forma, a taxa de germinação (GR) é plotada versus a temperatura, gerando regressões lineares (Figura 3).

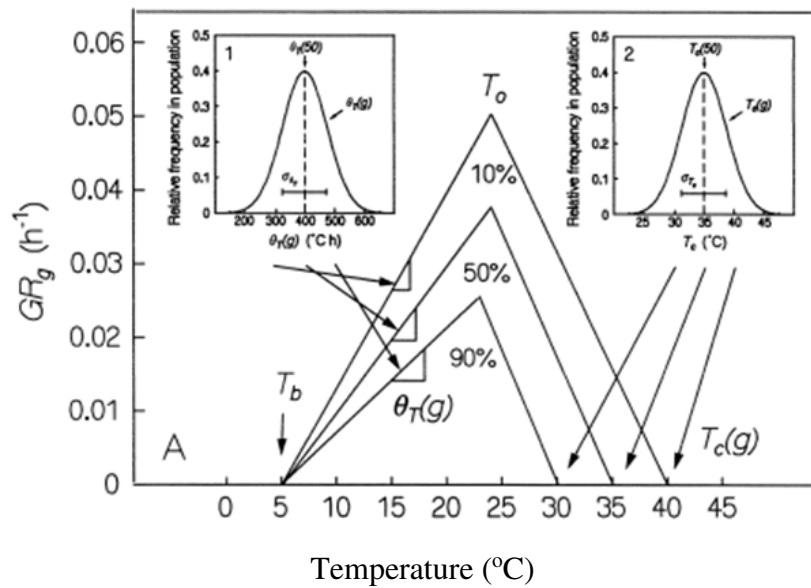


Figura 3. Relação entre taxas de germinação e temperatura. Fonte: BRADFORD, 2002.

Cada estágio de desenvolvimento de um organismo requer determinada quantidade de calor, e, assim, o tempo necessário para que esse estágio seja completado pode ser estimado a partir da quantidade de graus-dia acumulada ao longo de uma estação de crescimento. O modelo graus-dia (*thermal time*), conforme proposto por Garcia-Huidobro et al. (1982), é definido pela equação:

$$\Theta_T = (T - T_b) t \quad (\text{equação 1})$$

Em que: Θ_T representa a quantidade de graus-dia (ou soma térmica) para a germinação das sementes a uma temperatura T , após um tempo t . Nesse modelo, T_b (temperatura base) é assumido como constante dentro da população, ou seja, todas as sementes apresentam a mesma temperatura mínima de germinação.

Além da temperatura, a disponibilidade de água é um fator crucial na germinação das sementes e os seus efeitos durante o processo germinativo podem ser explicados pelo conceito do tempo hídrico (*hydrotime*), que determina o limite máximo de germinação em função do potencial osmótico no meio (Ψ) (GUMMERSON, 1986) (Figura 4).

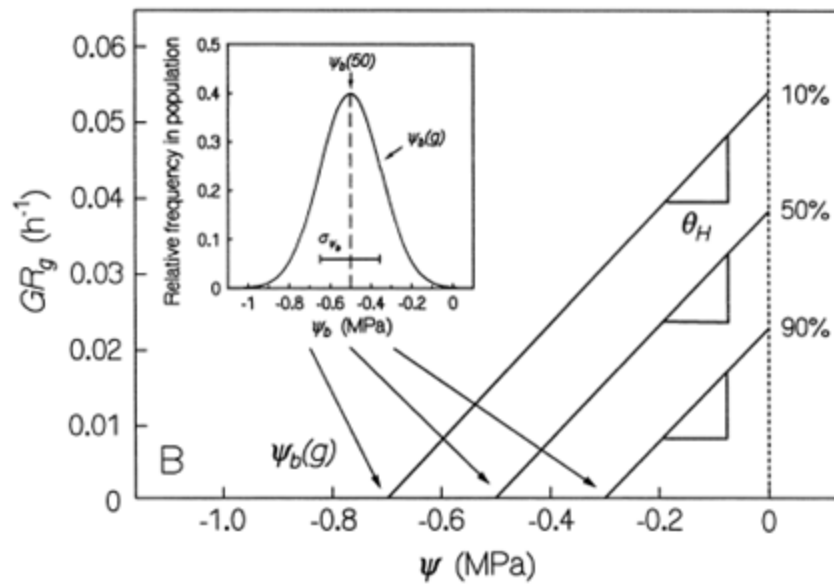


Figura 4. Relação entre taxas de germinação e temperatura. Fonte: BRADFORD, 2002.

O conceito de tempo térmico foi adaptado para descrever a resposta das sementes em relação ao potencial de água no meio. O modelo do tempo hídrico (GUMMERSON 1986; BRADFORD 1990) pode ser definido como:

$$\Theta_H = (\Psi - \Psi_b) t \quad (\text{equação 2})$$

Em que: Θ_H é uma constante (representada pela recíproca da inclinação da reta que descreve a velocidade de germinação em função do Ψ do meio), Ψ é o potencial de água do meio e Ψ_b é um parâmetro intrínseco de cada semente, que representa sua sensibilidade ao Ψ do meio.

A estimativa dos modelos pode ser feita tanto por métodos gráficos, usando a taxa de germinação, como por modelos de regressão probística (BRADFORD, 2002; BEWLEY et al., 2013). O uso de modelos que permitam prever a distribuição dos tempos de germinação das sementes também pode servir como elemento de discussão sobre as diferentes estratégias das sementes em ambientes previsíveis, garantindo, eventualmente, a sobrevivência da espécie nesses ambientes (BEWLEY et al., 2013).

REFERÊNCIAS

- ALVARADO, V.; BRADFORD, K. A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. *Plant, Cell and Environment*, v. 25, p. 1061-1069, 2002.
- ANDRADE, L. D. H. C.; SILVA, M. C. G.; TRIGUEIROS, L. M. B. Líquens em cascas de plantas medicinais comercializadas em mercados públicos da cidade do Recife, PE, nordeste do Brasil. *Revista Arrudea-A revista do Jardim Botânico do Recife*, v. 3 p. 30-40, 2017.
- BEWLEY, J.D.; BRADFORD, K.J.; HILHORST, K.H.W.M.; NONOGAKI, H. *Seeds: Physiology of development germination and dormancy*. New York: Springer, 2013, 392p.
- BLOOMBERG, M.; SEDCOLE, J. R.; MASON, E. G.; BUCHAN, G. Hydrothermal time germination models for radiate pine (*Pinus radiata* D. Don). *Seed Science Research*, v. 19, p. 171-182, 2009.
- BRADFORD, K. J. Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Science*, v. 50, p. 248-260, 2002.
- CARDOSO, N. D. S. N.; OLIVEIRA, L. M.; FERNANDEZ, L. G.; PELACANI, C. R.; SOUZA, C. L. M.; OLIVEIRA, A. R. Osmocondicionamento na germinação de sementes, crescimento inicial e conteúdo de pigmentos de *Myracrodruon urundeuva* Fr. Allemão. *Revista Brasileira de Biociências*, v. 10, p. 457, 2012.
- CARDOSO, V. J. M. PARÂMETROS TERMO-HÍDRICOS DA GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE *Astronium fraxinifolium* SCHOTT E ASPECTOS ECOFISIOLÓGICOS. *Heringeriana*, v. 9, p. 13-23, 2015.
- CARLINI, E. A.; DUARTE-ALMEIDA, J. M.; RODRIGUES, E.; TABACH, R. Antiulcer effect of the pepper trees *Schinus terebinthifolius* Raddi (aroeira-da-praia) and *Myracrodruon urundeuva* Allemão, Anacardiaceae (aroeira-do-sertão). *Revista Brasileira de Farmacognosia*, Curitiba, v. 20, p. 140-146, 2010.
- CARMELLO-GUERREIRO, S. M.; PAOLI, A. A. S. Aspectos morfológicos e anatômicos da semente de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. Allem.- Anacardiaceae), com notas sobre paquicalaza. *Revista Brasileira de Sementes*, v.21, p. 222-228, 1999.
- CARVALHO, P. E. R. *Espécies arbóreas brasileiras*. Brasília: EMBRAPA, Informação Tecnológica, 2003. 1039 p.
- CARVALHO, P. E. R. *Espécies Florestais Brasileiras: Recomendações Silviculturais, Potencialidades e Uso da Madeira*. Brasília: EMBRAPA, 1994. 639 p.
- CECÍLIO, B. A.; FARIA, D. B.; OLIVEIRA, P. C.; CALDAS, S.; OLIVEIRA, D. A.; SOBRAL, M. E. G.; ALMEIDA, V. L. Screening of Brazilian medicinal plants for antiviral activity against rotavirus. *Journal of Ethnopharmacology*, v. 141, p.975-981, 2012.
- DEGÁSPARI, C. H. Propriedades antioxidantes e antimicrobianas dos frutos da aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi). 2004. 104f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- FERRETTI, A. R.; KAGEYAMA, P. Y.; ÁRBOCZ, G. F.; SANTOS, J. D.; BARROS, M. I.; LORZA, R. F.; OLIVEIRA, C. Classificação das espécies arbóreas em grupos ecológicos para revegetação com nativas no estado de São Paulo. *Florestar Estatístico*, v. 3, p. 73-77, 1995.

GARCIA-HUIDOBRO, J.; MONTEITH, J. L.; SQUIRE, G. R. Time, Temperature and Germination of Pearl Millet (*Pennisetum typhoides* S. & H.): I. constant temperature. Journal of Experimental Botany, v. 33, p. 288–296, 1982.

GUMMERSON, R. J. The effect of constant temperatures and osmotic potentials on the germination of sugar beet. Journal of experimental botany, Oxford, v. 37, p. 729-741, 1986.

IPCC – intergovernmental Panel in Climate Change. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by C. B. field et al. Cambridge/New York, Cambridge university Press/IPCC, 2014.

IPCC – intergovernmental Panel in Climate Change. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by t. f . Stocker et al. Cambridge/New York, Cambridge university Press, 2013.

KAGEYAMA, P.; SANTARELLI, E.; GANDARA, F. B.; GONÇALVES, J. C.; SIMIONATO, J. L.; ANTIQUEIRA, L. R.; GERES, W. Revegetação de áreas degradadas: modelos de consorciação com alta diversidade. In: SIMPÓSIO NACIONAL de RECUPERAÇÃO de ÁREAS DEGRADADAS, Curitiba, 1994. Anais... Curitiba: FUPEF, 1994. p. 569-576.

KIILL, L. H. P.; MARTINS, C. T. V. D; SILVA, P. P. Biologia reprodutiva de duas espécies de Anacardiaceae da caatinga ameaçadas de extinção. Embrapa Semiárido-Capítulo em livro científico (ALICE), 2010.

LARSEN, S. U.; BIBBY, B. M. Differences in thermal time requirement for germination of three turfgrass species. Crop Science, v. 45, p. 2030-2037, 2005.

LORENZI, H. Árvores brasileiras. Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil. Nova Odessa: Instituto Plantarum, v.1, p. 21.2000.

MARENGO, J. A.; VALVERDE, M. C. Caracterização do clima do Século XX e Cenário de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. Multiciência. Campinas. n. 8. 2017.

NUNES, Y. R. F.; FAGUNDES, M.; ALMEIDA, H. S.; VELOSO, M. D. M. Aspectos ecológicos da aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão - Anacardiaceae): fenologia e germinação de sementes. Revista árvore, v.32, p. 233-243, 2008.

OLIVEIRA, G. M.; MATIAS, J. R.; SILVA, P. P.; RIBEIRO, R. C.; Dantas, B. F. Germinação de sementes de Aroeira-do-Sertão (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All.) e Mororó (*Bauhinia cheilantha* (Bong) Stand.) em diferentes condutividades elétricas. Embrapa Semiárido-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2014.

OLIVEIRA, J. M. G.; PEREIRA, L. J. C.; MOURA, E. R.; SOUSA, M.; SALES, P.; SILVA, S.; LIRA, R. S. R.; COSTA, A. Toxicidade subaguda do extrato etanólico das folhas de *myracrodruon urundeuva* sobre o ciclo estral de ratas wistar. Revista Brasileira de Plantas Medicinais, v. 18, p. 539-546, 2018.

PACHECO, M. V.; MATOS, V. P.; FERREIRA, R. L. C.; FELICIANO, A. L. P.; PINTO, K. M. S. Efeito de temperaturas e substratos na germinação de sementes de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. (Anacardiaceae). Revista árvore, v.30, p. 359-367, 2006.

PBMC – Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Base Científica das Mudanças Climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas. organização de t. Ambrizzi & M. Araujo. Rio de Janeiro, Coppe/universidade federal do Rio de Janeiro, 2014.

RAWLINS, J. K.; ROUNDY, B. A.; DAVIS, S. M.; EGGET, D. Predicting germination in
SANTIN, D. A.; LEITÃO FILHO, H. F. Restabelecimento e revisão taxonômica do gênero *Myracrodruon* Freire Allemão (Anacardiaceae). Revista Brasileira de Botânica, v.14, p.133-145, 1991.

semi-arid wildland seedbeds. I. Thermal germination models. Environmental and Experimental Botany, v. 76, p. 60-67, 2012.

SILVA, J. A.; LEITE, E. J.; SALOMÃO, A. N.; FAIAD, M. G. R.; FERREIRA, D. N. M.; VALOIS, A. C. C. Banco de Germoplasma de Espécies Florestais Nativas do Campo Experimental Sucupira. Aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All.) Anacardiaceae. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2006, 46 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Plant Physiology. Publisher: Sinauer Associates, Inc.; 5 edition, 2010, 560 p.

VIRGENS, I.O.; CASTRO, R.D.; FERNANDEZ L.G.; PELACANI C.R. Comportamento Fisiológico de sementes de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. (Anacardiaceae) submetidas a fatores abióticos. Ciência Florestal, v. 22, p. 681-692, 2012.

CAPÍTULO I

ESTRESSES AMBIENTAIS, CLIMA FUTURO E GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE *Myracrodruon urundeuva*

Estresses ambientais, clima futuro e germinação de sementes de

Myracrodruon urundeuva

Gilmara Moreira de Oliveira¹, Fabricio Francisco Santos da Silva¹, Marcelo do Nascimento Araujo², Danielle Carolina Campos da Costa³, Samara Elizabeth Vieira Gomes³, Janete Rodrigues Matias⁴, Francislene Angelotti⁵, Claudineia Regina Pelacani Cruz¹, Charlotte E. Seal⁶, Bárbara França Dantas⁵

¹ Universidade Estadual de Feira de Santana, ² Faculdade Uninassau, ³ Universidade do Estado da Bahia, ⁴ Universidade Federal Rural do Semiárido, ⁵ Embrapa Semiárido, ⁶ Royal Botanic Gardens Kew

RESUMO

Myracrodruon urundeuva, espécie nativa da Caatinga e de ampla distribuição geográfica, apresenta relevante valor socioeconômico. Objetivou-se avaliar a influência de estresses ambientais sobre a germinação de lotes de diferentes safras de *M. urundeuva*. Foram testadas as temperaturas constantes de 10 a 40 °C e potenciais osmóticos de 0,0 a -0,8 MPa (usando-se polietileno glicol 6000) e de 0,0 a -0,5 MPa (usando-se soluções de NaCl). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com três repetições de 50 sementes em esquema fatorial (safras x intensidade do estresse) para cada estresse abiótico. Os dados de germinação foram então analisados utilizando modelos de tempo térmico, hídrico, hálco (salino), projetando respostas de germinação em cenários climáticos futuros. Os limites térmicos para a germinação das sementes variaram entre 7,4 e 53,3 °C. O limite osmótico base para germinação de sementes em polietileno glicol foi de -0,6 MPa e em NaCl foi de -0,43 MPa. Segundo modelos de cenários futuros de mudanças climáticas, a redução de semanas com precipitação mínima afetará diretamente a germinação de sementes e o recrutamento de plântulas de *M. urundeuva*. Os modelos de tempo térmico, hídrico e salino foram eficientes para descrever a resposta germinativa de sementes, e os modelos climáticos permitiram identificar as respostas germinativas de *M. urundeuva* em cenários futuros de mudanças climáticas. De acordo com os modelos para clima futuro (RCP 8,5), a redução da precipitação até 2100 afetará diretamente a germinação de sementes e recrutamento de plântulas de *M. urundeuva*. Assim, conclui-se que sementes de *M. urundeuva* são tolerantes à ampla faixa de temperatura e potenciais osmóticos, no entanto, a tolerância é alterada conforme a qualidade fisiológica do lote. A salinidade teve um efeito mais prejudicial à germinação de sementes de *M. urundeuva* do que a restrição hídrica. Modelos climáticos permitem identificar as respostas germinativas de *M. urundeuva* em cenários futuros de mudanças climáticas.

Palavras-chave: Caatinga, sementes florestais, potencial osmótico, temperatura.

Environmental stress, future climate, and germination of *Myracrodruon urundeuva* seeds

ABSTRACT

Myracrodruon urundeuva, a native species from the Brazilian Caatinga, is widely distributed across its endemic region, where it also plays an essential socioeconomic role. The objective of this study was to evaluate the influence of environmental stress on the germination of *M. urundeuva* seeds harvested in different years (2010 to 2013). Seeds were germinated at constant temperatures between 10 to 40 °C, osmotic potentials from 0.0 to -0.8 MPa (in polyethylene glycol 6000 solutions), and from 0.0 to -0.5 MPa (in NaCl solutions). The experiment was conducted according to a completely randomized design, with three replicates of 50 seeds, in a factorial scheme (harvest year x stress intensity) for each environmental stress. Germination data were then analysed using thermal, hydro and halo time models, and future germination responses projected according to climate change scenarios. The germination thermal thresholds ranged from 7.4 to 53.3 °C. The germination base osmotic threshold (using polyethylene glycol) was -0.6 MPa and the base osmotic threshold in NaCl was -0.43MPa. Seeds from different harvest years showed distinct tolerance to environmental stresses. The thermal, hydro and halo-time models were efficient to describe the germinative responses of *M. urundeuva* in future climate.

keywords: Caatinga, forest seeds, osmotic potential, temperature

INTRODUÇÃO

As projeções climáticas, divulgadas no Quinto Relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC), indicaram que o aumento da emissão dos gases de efeito estufa (GEEs), de natureza antrópica, é apontado como a causa primária da alteração na temperatura. Em decorrência do aumento de GEE, cenários climáticos futuros indicam um aumento de temperatura global média e diminuição da precipitação (IPCC, 2014), que podem alterar a salinidade do solo (KNOWLES e CAYAN, 2002; GONDIM et al., 2010). Em algumas regiões mais expostas aos riscos da variação climática, como o bioma Caatinga no Nordeste brasileiro, é possível ocorrer uma “aridização” e subsequente desertificação (MARENGO et al., 2016).

As alterações climáticas podem ter consequências importantes para todas as fases de desenvolvimento das plantas, desde a germinação das sementes até o crescimento e estabelecimento das plantas (MARAGHNI et al., 2010). A germinação das sementes é um processo ecofisiológico fundamental para o estabelecimento da diversidade vegetal (BEWLEY et al., 2013) e dependente das condições ambientais às quais as sementes estão submetidas. Assim, a capacidade das sementes de germinarem sob uma ampla faixa de condições ambientais garante a sobrevivência e regeneração das espécies (VIVIAN et al., 2008).

O conhecimento das condições ambientais que interferem na produção e germinação das sementes é de fundamental importância, principalmente pelas respostas diferenciadas que as mesmas podem apresentar. A temperatura influencia a germinação tanto por agir sobre a velocidade de absorção de água, como também sobre as reações bioquímicas e enzimáticas que determinam todo o processo (FLORES et al., 2014). Mudanças da temperatura ambiente podem afetar a permeabilidade das membranas e a atividade enzimática (MARAGHNI et al., 2010). Portanto, a germinação ocorrerá dentro de certos limites de temperatura (BEWLEY et al., 2013).

O processo germinativo depende da disponibilidade e do movimento da água através dos tecidos que envolvem a semente e o excesso de sal no substrato é um dos fatores que interferem na disponibilidade de água para a semente, pois retarda a sua absorção. A redução de absorção ocorre devido às diferenças muito acentuadas entre o potencial hídrico da semente e do substrato (CHAVES et al., 2009). Além disso, o acúmulo dos íons Na^+ e Cl^- provoca o rompimento das camadas tegumentares e danos ao embrião, podendo levar à morte das sementes devido à toxicidade nos tecidos (FREITAS et al., 2013). Essas condições são representadas em campo pela baixa precipitação, solos salinizados e altas temperaturas, que podem comprometer a germinação, o desenvolvimento inicial e o recrutamento até mesmo de espécies adaptadas ao clima quente e seco.

Myracrodruon urundeuva Allemão (Anacardiaceae), conhecida como aroeira-do-sertão, é uma espécie com distribuição geográfica extensa pelo território brasileiro, de relevante valor socioeconômico. Sua casca é rica em substâncias fenólicas utilizadas como cicatrizantes e anti-inflamatório (CARLINI et al., 2010), além disso, possui madeira com resistência mecânica e imputrescível bastante utilizada na construção civil. Por ser utilizada de forma exploratória para diversos fins, *M. urundeuva* encontra-se em situação de ameaça (CNCFLORA, 2012). Trabalhos têm sido conduzidos, a fim de definir o comportamento germinativo dessa espécie associado a fatores ambientais (GUEDES et al., 2011; VIRGENS et al., 2012;), porém, são inexistentes estudos para prever a germinação de *M. urundeuva* em cenários futuros de mudanças climáticas, envolvendo lotes de diferentes safras e qualidade fisiológica, e sua resposta a alterações de temperatura e de disponibilidade água no ambiente, sendo essas informações fundamentais para avaliação da capacidade de adaptação da espécie (SEAL et al., 2017).

O objetivo principal deste estudo foi avaliar a influência das condições ambientais sobre a germinação de diferentes lotes de *M. urundeuva*. Assim, avaliou-se o efeito de diferentes temperaturas (simulando estresse térmico) e potenciais osmóticos, obtidos com polietileno glicol – PEG (simulando estresse hídrico) e com NaCl (simulando estresse salino), na germinação de *M. urundeuva*, afim de testar a hipótese de que as sementes de diferentes qualidades fisiológicas respondem de formas diferentes a esses três estresses. Além disso, foram obtidos os limites térmicos e osmóticos, com base nos modelos de tempo térmico e tempo hídrico (BRADFORD, 2002; SEAL et al., 2018), com a finalidade de testar a eficiência desse modelo e descrever o comportamento germinativo das sementes de *M. urundeuva* em condições adversas. Por fim, serão utilizados dados climáticos atuais e de cenário futuro para previsão da germinação das sementes.

MATERIAL E MÉTODOS

Colheita e beneficiamento das sementes

Os diásporos de *M. urundeuva* foram colhidos diretamente das árvores matrizes localizadas em Lagoa Grande - PE (W 40°11'02.2" S 8°34'13.1") entre agosto e setembro dos anos de 2010, 2011, 2012 e 2013. O beneficiamento foi realizado por meio de uma pré-limpeza com retirada manual das alas e galhos e limpeza por meio de um soprador de sementes para a separação de impurezas (MATIAS et al., 2014). Os diásporos foram armazenados em saco de pano (embalagem permeável) em câmara fria (T=10 °C; UR=45%) até a condução dos experimentos em janeiro de 2014. Os teores de água dos lotes de sementes de *M. urundeuva* no início dos experimentos foram de 9,47; 9,36; 10,02 e 10,04% para os lotes de 2010, 2011, 2012, 2013, respectivamente (BRASIL, 2009).

Dados climáticos mensais, históricos e futuros

Foram coletados dados mensais de temperatura do ar e precipitação das diferentes safras na Estação Agrometeorológica Automática de Bebedouro, pertencente à Embrapa Semiárido, Petrolina – PE ($09^{\circ} 09' S$, $40^{\circ} 22' O$), a uma distância de 64,5 km das árvores matrizes (Figura 1). Foram utilizados também dados médios históricos (1970 a 2017) obtidos pelo laboratório de Agrometeorologia da Embrapa Semiárido, referentes à estação meteorológica do Campo Experimental da Caatinga ($09^{\circ} 13' S$, $40^{\circ} 29' O$). O cenário futuro utilizado foi de RCP 8,5, com aumento da temperatura média em $3,5^{\circ} C$ (IPCC, 2014) e diminuição do volume de precipitação em 40% (PBMC, 2013) até o ano de 2100.

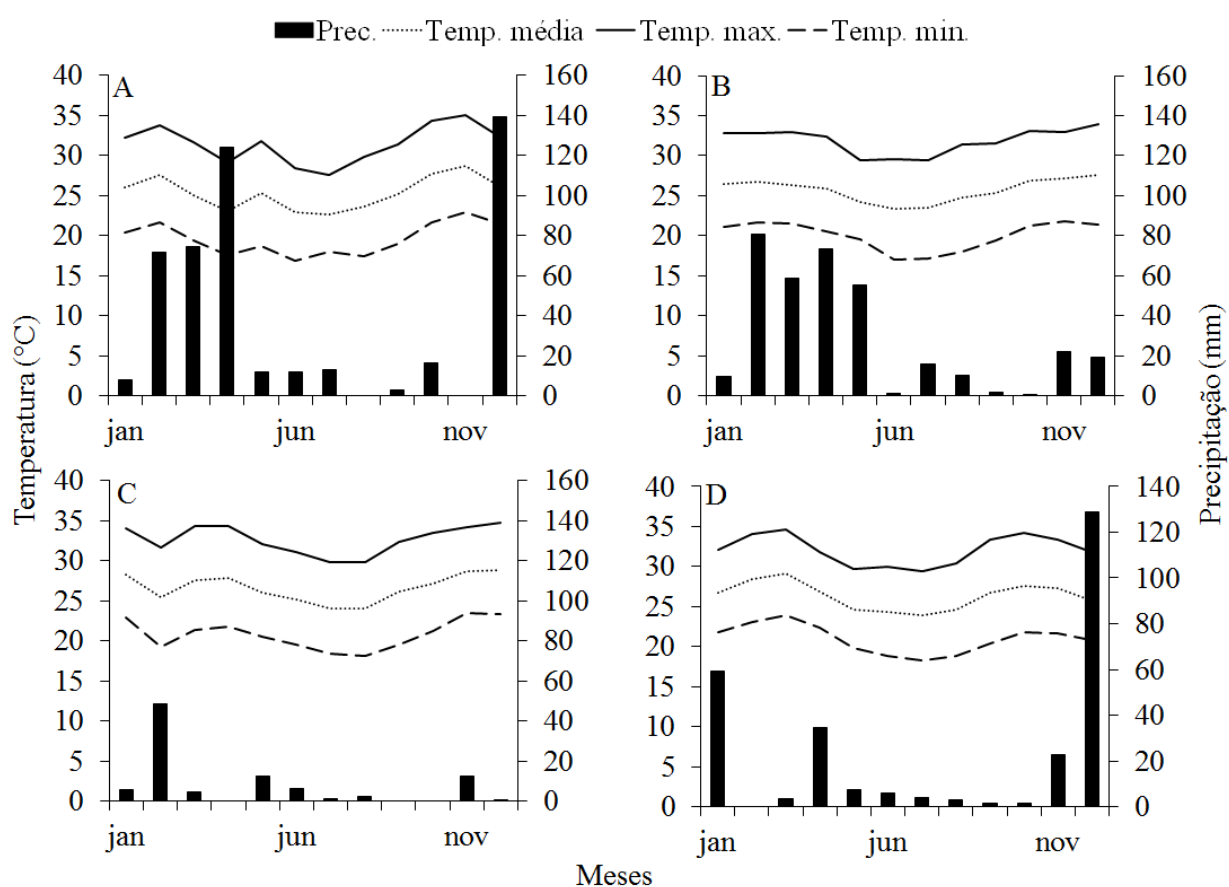


Figura 1. Precipitação, temperaturas média, máxima e mínima nos anos de 2010 (A), 2011 (B), 2012 (C) e 2013 (D) na cidade de Petrolina – PE.

Germinação de sementes em diferentes temperaturas e potenciais osmóticos

Antes do início dos experimentos de germinação, os diásporos foram imersos em detergente neutro por cinco minutos e as sementes foram extraídas retirando-se manualmente o exocarpo e o mesocarpo dos diásporos com auxílio de peneira de aço, em água corrente. Em seguida, as sementes

foram desinfestadas superficialmente por três minutos em água sanitária comercial e, posteriormente, tratadas com fungicida Captan® (3mL L⁻¹) durante três minutos.

O delineamento experimental para cada experimento de avaliação das condições ambientais na germinação de *M. urundeuva* foi inteiramente casualizado, com três repetições de 50 sementes. Para avaliar o efeito do estresse térmico utilizou-se o esquema fatorial 7x4, com sete temperaturas constantes (10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 °C) e lotes de sementes de quatro anos-safra (2010, 2011, 2012 e 2013). Para avaliar o efeito do estresse hídrico foi utilizado o esquema fatorial 6x4, com seis potenciais osmóticos (0, -0,2, -0,4, -0,6, -0,7 e -0,8 MPa), utilizando como agente osmótico soluções de polietileno glicol 6000 preparadas em água destilada (VILLELA et al., 1991) e os mesmos quatro lotes de sementes. Para avaliar o efeito do estresse salino utilizou-se o esquema fatorial 8x4, com oito potenciais osmóticos (0; -0,072; -0,144; -0,216; -0,288; -0,36; -0,432 e -0,504 MPa) de soluções aquosas de NaCl e os quatro lotes de sementes.

Sementes de *M. urundeuva* dos diferentes lotes foram semeadas em caixas acrílicas (11 x 11 x 3,5 cm), utilizando-se como substrato duas folhas de papel mata-borrão. O umedecimento do substrato foi realizado com água destilada ou com as soluções mencionadas, em volume equivalente a 2,5 vezes o peso do papel seco (BRASIL, 2009). Em seguida, as sementes foram incubadas, durante 14 dias em 12 horas de fotoperíodo, nas temperaturas constantes de 10 a 40 °C (avaliação do efeito da temperatura) ou 25 °C (para avaliação do efeito osmótico por PEG ou NaCl). A germinação (1 mm de raiz primária visível) foi avaliada a partir de 12 horas da instalação dos ensaios e a cada hora até a estabilização.

A qualidade fisiológica das sementes foi avaliada pela porcentagem final de sementes germinadas (G%) após 14 dias (BRASIL, 2013) e pelo índice de velocidade de germinação –IVG (MAGUIRE, 1962). Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando o programa Assistat e, posteriormente, submetidos à análise de regressão (SILVA e AZEVEDO 2016).

Obtenção de tempo térmico e tempo hídrico de sementes de cada lote

A germinação acumulada foi plotada em função do tempo para cada temperatura e ajustada para curvas sigmoidais de Boltzmann. A taxa de germinação (GR) foi calculada como função recíproca do tempo necessário para atingir 50% de germinação (1/t₅₀) (COVELL et al., 1986). A partir da GR de cada temperatura, análises de regressão linear foram realizadas para calcular a interceptação no eixo x nas faixas de temperaturas sub- e supra-ótimas, gerando estimativas da temperatura base (T_b) e da temperatura teto (T_t) para germinação, abaixo e acima das quais, respectivamente, GR é igual a zero (COVELL et al, 1986; ELLIS et al, 1986). A interceptação entre as duas linhas de

regressão linear nas temperaturas sub- e supra- ótimas foi utilizada para estimar a temperatura ótima (T_o) (HARDEGREE, 2006).

O tempo térmico da população que germinou em temperaturas sub-ótimas (θ_{Tsub}) e supra-ótimas (θ_{Tsupra}) foram calculados usando as equações abaixo:

$$\theta_{Tsub} = (T - T_b) t \quad (\text{equação 1})$$

$$\theta_{Tsupra} = (T_t - T) t \quad (\text{equação 2})$$

Em que T é temperatura de germinação, T_b é temperatura base, T_t é temperatura teto e t é o tempo desde o início da embebição (COVELL et al., 1986).

As porcentagens de germinação para cada potencial osmótico (ψ) estudado foram plotadas em função do tempo e a análise de regressão linear foi realizada, como descrito anteriormente, para calcular a interceptação no eixo x gerando estimativas do potencial osmótico base (ψ_b), abaixo da qual GR é igual a zero (GUMMERSON, 1986). Respostas na germinação de sementes em relação ao potencial hídrico foram também descritas em uma escala de tempo hídrico (θ_H) que foi calculado para cada tratamento de estresse hídrico e salino (GUMMERSON, 1986; BRADFORD, 2002; SEAL et al., 2018), como:

$$\theta_H = (\psi - \psi_b) t \quad (\text{equação 3})$$

Em que ψ é o potencial hídrico, ψ_b é o potencial hídrico base e t o tempo desde o início da embebição.

Previsão da germinação de sementes em clima atual e futuro

Para calcular a soma térmica ambiental e prever a germinação das sementes, a partir dos parâmetros T_b , T_c , T_o , θ_T , ψ_b e θ_H , foram utilizados dados climáticos históricos (atuais) e o cenário futuro RCP 8,5 (IPCC, 2014).

A soma térmica foi calculada semanalmente, contanto que a precipitação da semana tivesse atingido no mínimo 20 mm, de acordo com a equação a seguir:

$$\text{Soma térmica} = (T_m - T_b)t \text{ (}^\circ\text{Cd)} \quad (\text{equação 4})$$

Em que T_m é a temperatura semanal media, T_b é a temperatura base, abaixo da qual não há germinação, e t é o número de dias até atingir o tempo térmico para germinação (θ_T).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Efeito dos estresses ambientais na germinação

As sementes de *M. urundeuva* de todos os lotes (2010, 2011, 2012 e 2013) apresentaram alta germinação (>70%) ao final de 14 dias (336 horas) de avaliação, nas temperaturas de 20 a 35 °C (Figuras 2, 3A). Nas temperaturas de 25 a 35 °C, o início do processo de germinação foi favorecido, sendo necessárias de 24 (lotes de 2010, 2011 e 2013) a 28 horas (lote de 2012) de embebição para

iniciar o processo germinativo (Figura 2) e o IVG foi máximo (Figura 3B). As sementes do lote coletado em 2013 demonstraram uma maior tolerância à alta temperatura, apresentando 40% de germinação, mesmo quando submetidas a 40 °C, em comparação com os demais lotes cuja germinação foi abaixo de 10% quando submetidos à temperatura referida acima (Figuras 2, 3A). Por outro lado, os lotes colhidos em 2010 e 2013 apresentaram, até o final das avaliações (14 dias), germinação de 10 e 11% respectivamente, quando submetidas a 10 °C, indicando uma maior tolerância às temperaturas baixas (Figuras 2 e 3A).

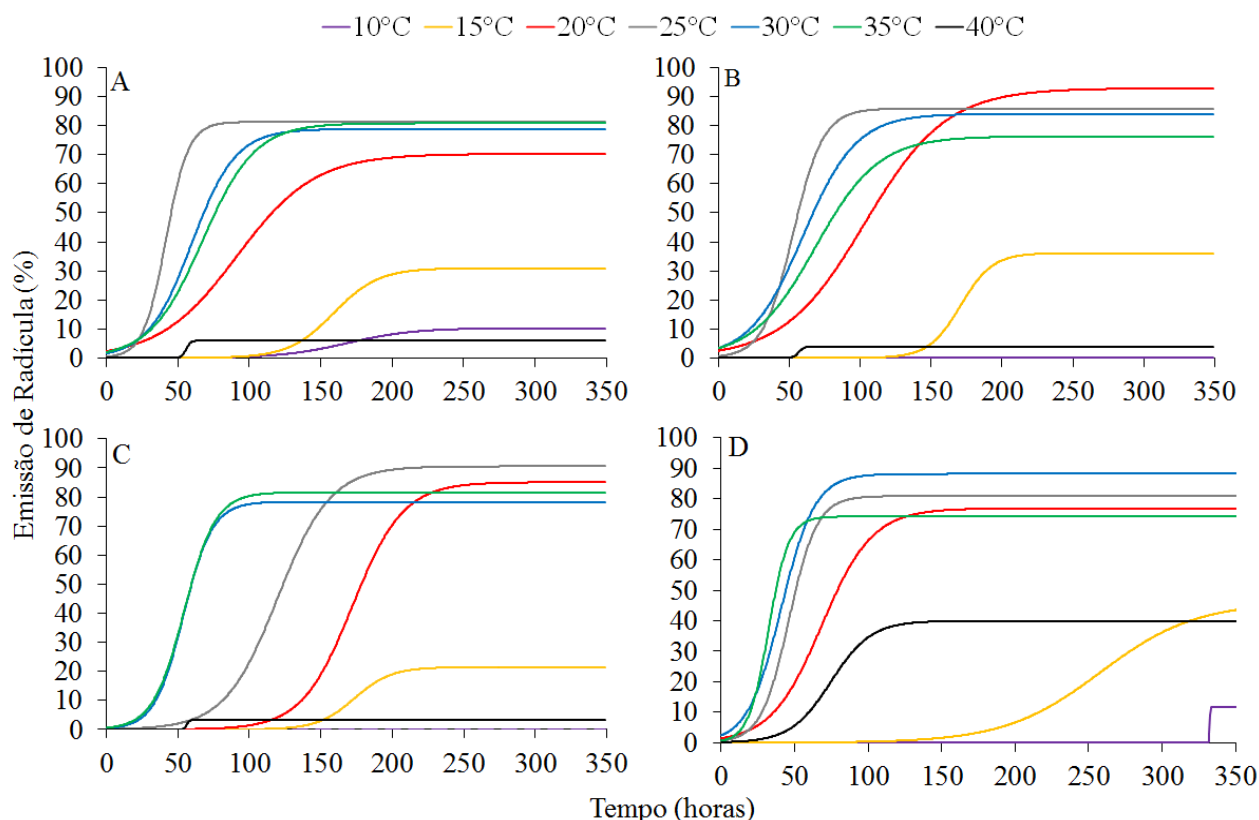


Figura 2. Curva de germinação (porcentagem de emissão de radícula) de sementes de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) coletadas nos anos de 2010 (A), 2011 (B), 2012 (C), 2013 (D) após ajuste não linear segundo o modelo sigmoidal de Boltzmann em função de diferentes temperaturas.

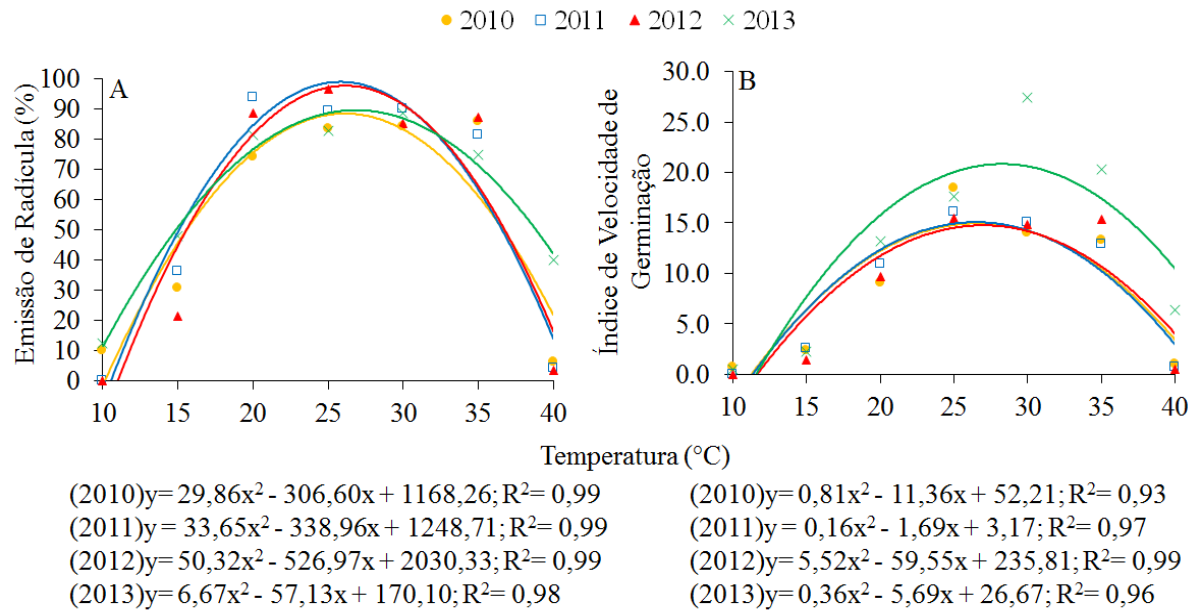


Figura 3. Germinação (A) e índice de velocidade média (B) de sementes de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) de diferentes lotes submetidas a diferentes temperaturas.

A taxa de germinação (GR) tem sido comumente utilizada para a obtenção dos limites de germinação em sementes de diversas espécies (COVELL et al., 1996; BRADFORD, 2002; ARANA et al., 2016; SEAL et al., 2017) devido à sua relação linear com a temperatura (COVELL et al., 1986). Esta permitiu calcular os limites de temperatura para a germinação de sementes de *M. urundeuva*, assim como os tempos térmicos sub e supra-ótimos (Figura 4). Todos os lotes de sementes germinaram em uma ampla faixa térmica, com valores de T_b inferior a 10 °C, com exceção do lote referente ao ano de 2011 (10,3 °C). Os valores de T_t foram superiores a 40 °C para todos os lotes de sementes estudados (Figura 4). Aproximadamente 5% das sementes do lote de 2010 germinaram em 10 e 40 °C (Figura 3A), apresentando maior amplitude na tolerância à temperatura (7,4 - 50,7 °C) que os demais lotes (Figura 4), mesmo após quatro anos de armazenamento.

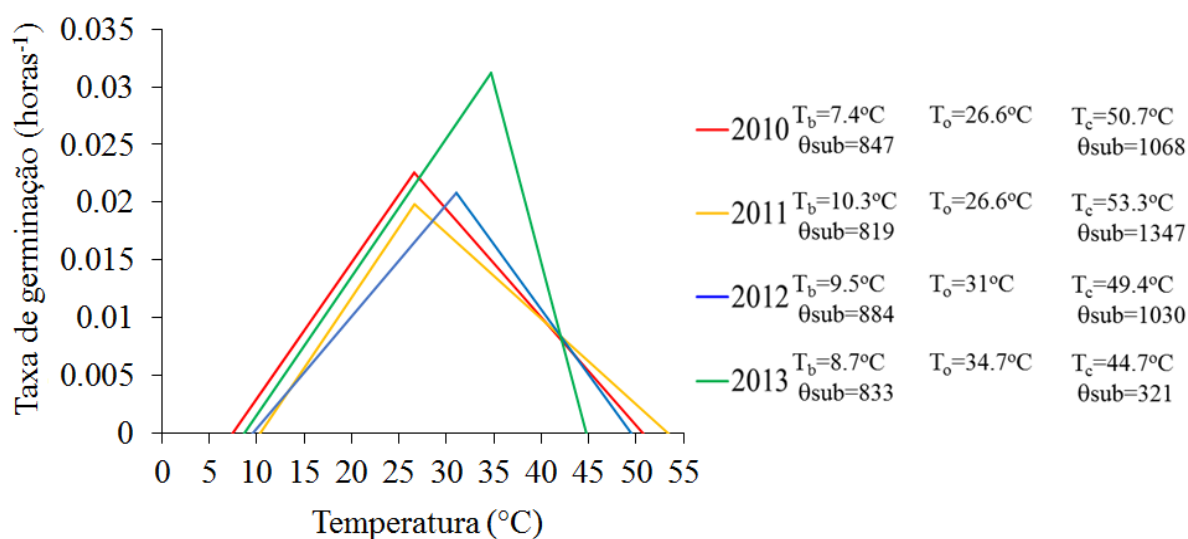


Figura 4. Taxa de germinação (GR), limites e requerimentos térmicos de sementes de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) coletadas em 2010, 2011, 2012, 2013, submetidas a diferentes temperaturas. T_b e T_c correspondem às temperaturas base e teto para germinação, respectivamente, (ponto em que regressões interceptam o eixo x); T_o corresponde à temperatura ótima; θ_{sub} e θ_{supra} correspondem ao tempo térmico da faixa de temperaturas sub-ótimas e supra-ótimas, respectivamente; obtido pela função recíproca do ângulo da regressão.

Sementes de *M. urundeuva* da mesma população, em 2007, apresentaram germinação máxima em 25 °C e nula em 40 °C (VIRGENS et al., 2012). As sementes de todos os lotes colhidos de 2010 a 2013 apresentaram germinação em 40 °C e as temperaturas ótimas (T_o) para germinação variaram entre 26,6 a 34,7 °C (Figura 3), indicando que lotes de diferentes safras podem ter diferentes respostas às condições ambientais durante a germinação.

A temperatura indicada para avaliação das sementes de *M. urundeuva* é de 25 °C ou 20-30 °C (BRASIL, 2013), com base em material de regiões com temperaturas mais amenas quando comparadas às temperaturas da região estudada neste trabalho. Essa diferença na resposta das sementes indica que as condições ambientais nas quais a planta mãe está inserida afetam a resposta das sementes ao ambiente (BEWLEY et al., 2013).

O aumento do potencial osmótico aumenta a viscosidade da solução dificultando ou impedindo o processo germinativo (MARAGHNI et al., 2010). Além de diminuir a porcentagem de germinação, esse aumento retarda também a velocidade desse processo devido ao maior tempo para a absorção de água pelos tecidos da semente, desencadeando um processo inibitório na síntese e/ou atividade de enzimas hidrolíticas necessárias à germinação. Assim, as soluções osmóticas reduziram gradativamente a porcentagem de germinação das sementes e sua velocidade, de todos os lotes de *M. urundeuva* avaliados (Figuras 5, 6). O início da germinação das sementes do lote de 2010 ocorreu

com 28 horas de embebição e os lotes de sementes de 2011, 2012 e 2013 apresentaram início de germinação acima de 40 horas de embebição (Figura 5). A germinação máxima de todos os lotes de sementes ao final do período de avaliação foi verificada quando as mesmas foram submetidas a até -0,4 MPa. Em -0,8 MPa, a germinação de todas as sementes foi inibida, no entanto, as sementes do lote de 2010 ainda apresentaram >60% de germinação em -0,6 MPa (Figura 6). Em trabalhos com outras espécies da Caatinga, como *Ziziphus joazeiro* Mart. (Rhamnaceae) (LIMA e TORRES, 2009), *Mimosa ophthalmocentra* Mart. ex Benth. (Fabaceae) (NOGUEIRA et al., 2017), *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L.P. Queiroz (Fabaceae) e *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan (Fabaceae) (SANTOS et al., 2016), foi observado o mesmo comportamento em relação à restrição hídrica.

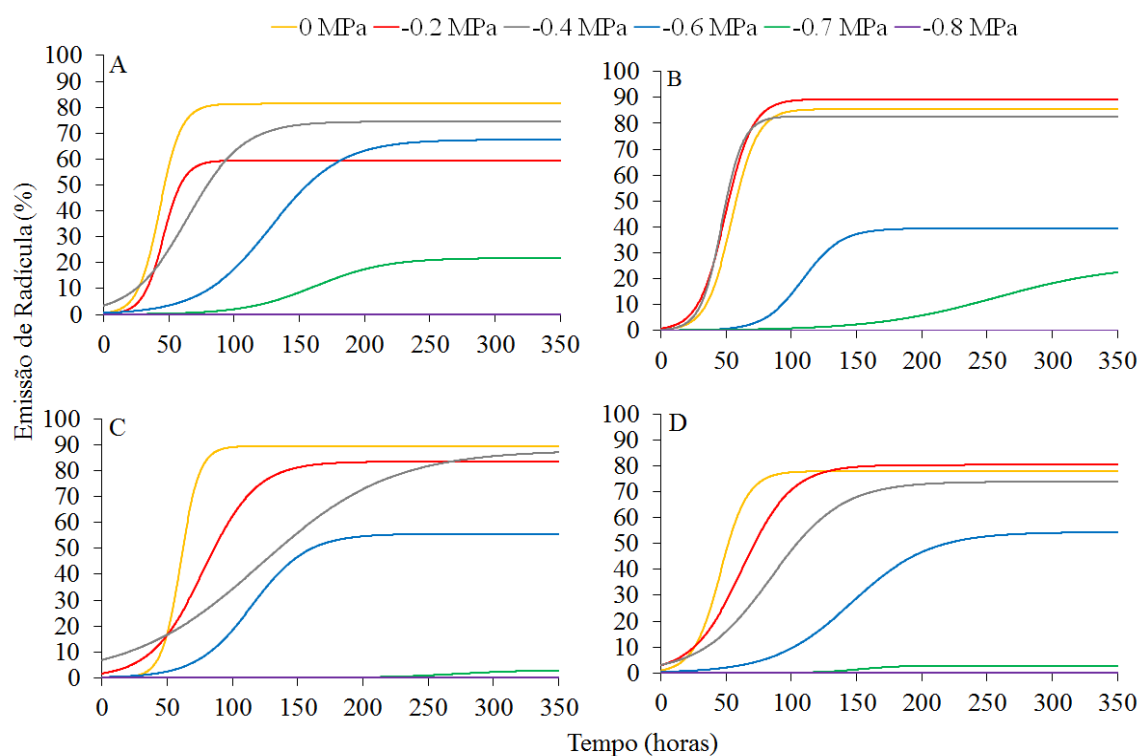


Figura 5. Germinação acumulada de sementes de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) coletadas em 2010 (A), 2011 (B), 2012 (C) e 2013 (D) e ajustada segundo o modelo sigmoidal de Boltzmann em função de diferentes potenciais osmóticos preparados com polietileno glicol 6000 (PEG6000).

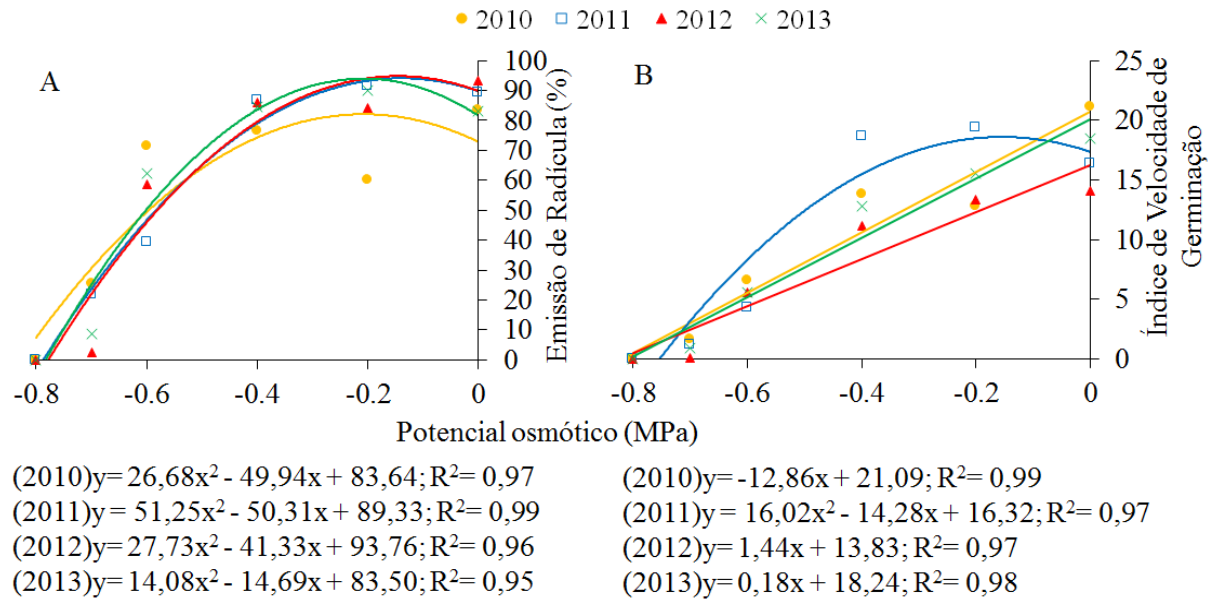


Figura 6. Germinação (A) e índice de velocidade de germinação (B) de sementes de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) submetidas ao estresse hídrico por diferentes potenciais osmóticos de polietileno glicol 6000 (PEG 6000).

A partir da inclinação das retas de regressão da taxa de germinação, pode-se notar que o lote de 2010 apresenta um maior vigor e tolerância a condições de restrição hídrica, alcançando valor de potencial hídrico base (ψ_b) de -1,1 MPa (Figura 7). Essa tolerância a potenciais hídricos mais negativos pode ser atribuída ao vigor das sementes ocasionado por maior disponibilidade de água durante o brotamento (outubro a junho) e floração de indivíduos masculinos (junho a setembro) e de indivíduos femininos (julho a agosto) (KILL et al., 2010). Estudos das fenofases de *M. urundeuva* em ambiente semiárido realizados por Nunes et al. (2008) observaram que a frutificação de *M. urundeuva* ocorre de agosto a novembro. Variações na precipitação foram observadas entre as diferentes safras de sementes, as quais afetaram os índices de atividade e de intensidade de cada fenofase de *M. urundeuva* (Figura 1). Padrões de disponibilidade de água durante as fenofases, principalmente florescimento e frutificação, são provavelmente o fator mais difundido que determina a reprodução de plantas em regiões tropicais, especialmente em florestas tropicais secas (GRIZ e MACHADO, 2001).

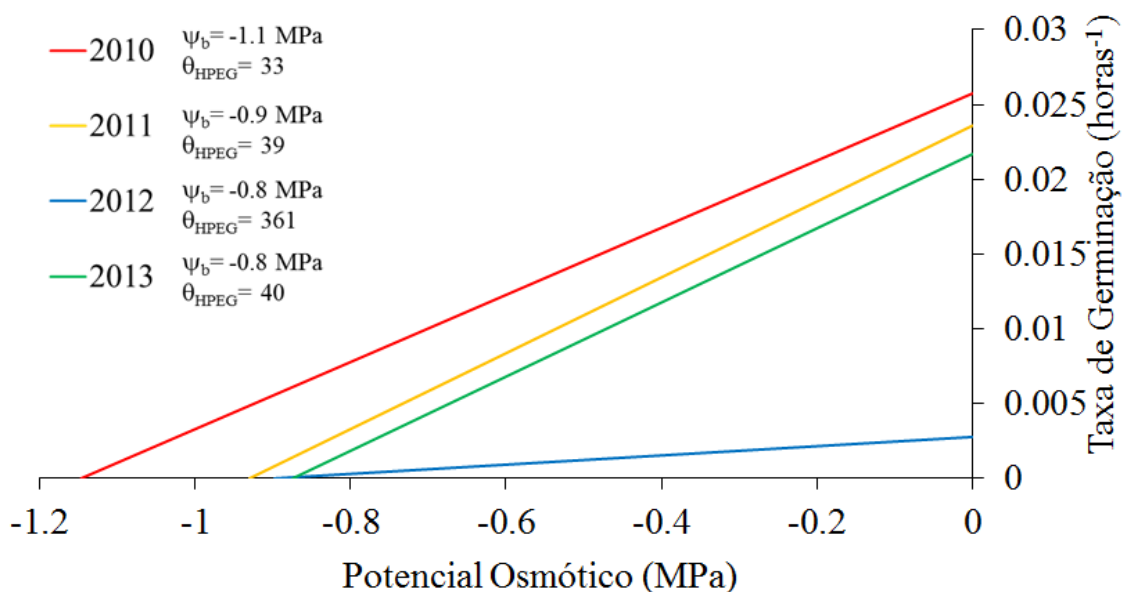


Figura 7. Taxa de germinação, limites e requerimentos osmóticos de sementes de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) coletadas em diferentes anos e submetidas a diferentes potenciais osmóticos produzidos com soluções de polietileno glicol 6000 (PEG 6000). ψ_b corresponde ao potencial osmótico base para germinação (ponto em que regressões interceptam o eixo x); θ_{HPEG} corresponde ao tempo hídrico, obtido pela função recíproca do ângulo da regressão.

As sementes dos lotes 2010, 2011 e 2013 apresentaram taxa de germinação relativamente maior que aquelas dos lotes de 2012 na ausência de restrição hídrica. Além disso, apesar de as sementes colhidas de 2011 a 2013 apresentarem ψ_b semelhantes (-0,8 a -0,9 MPa), o tempo hídrico ($\theta_{HPEG6000}$) demonstrou que é necessário muito mais tempo para que as sementes do lote de 2012 concluam a germinação em condição de restrição hídrica. Essa resposta é referente ao baixo vigor desse lote, que pode estar associado a uma seca severa com menos de 65% de média de precipitação do que a média histórica (SOUZA et al., 2017; SALIMON et al., 2018), principalmente durante o florescimento (Figura 1).

Em relação ao efeito do estresse salino nas sementes de *M. urundeuva*, observou-se, em geral, que tratamentos com potenciais osmóticos acima de -0,216 MPa promoveram um início de germinação mais rápido em relação aos demais potenciais osmóticos testados (Figura 8). A germinação máxima, ao final de 14 dias (336 horas), foi verificada em sementes de todos os lotes no tratamento controle e potencial osmótico de -0,072 MPa. A partir de -0,144 MPa, observou-se que, conforme o aumento da concentração de NaCl, houve redução significativa e gradativa da porcentagem de germinação até a inibição total em -0,504 MPa (Figura 9A). As sementes de todos

os lotes apresentaram maior índice de velocidade de germinação (IVG) em água destilada do que quando submetidos aos demais tratamentos (Figura 9B).

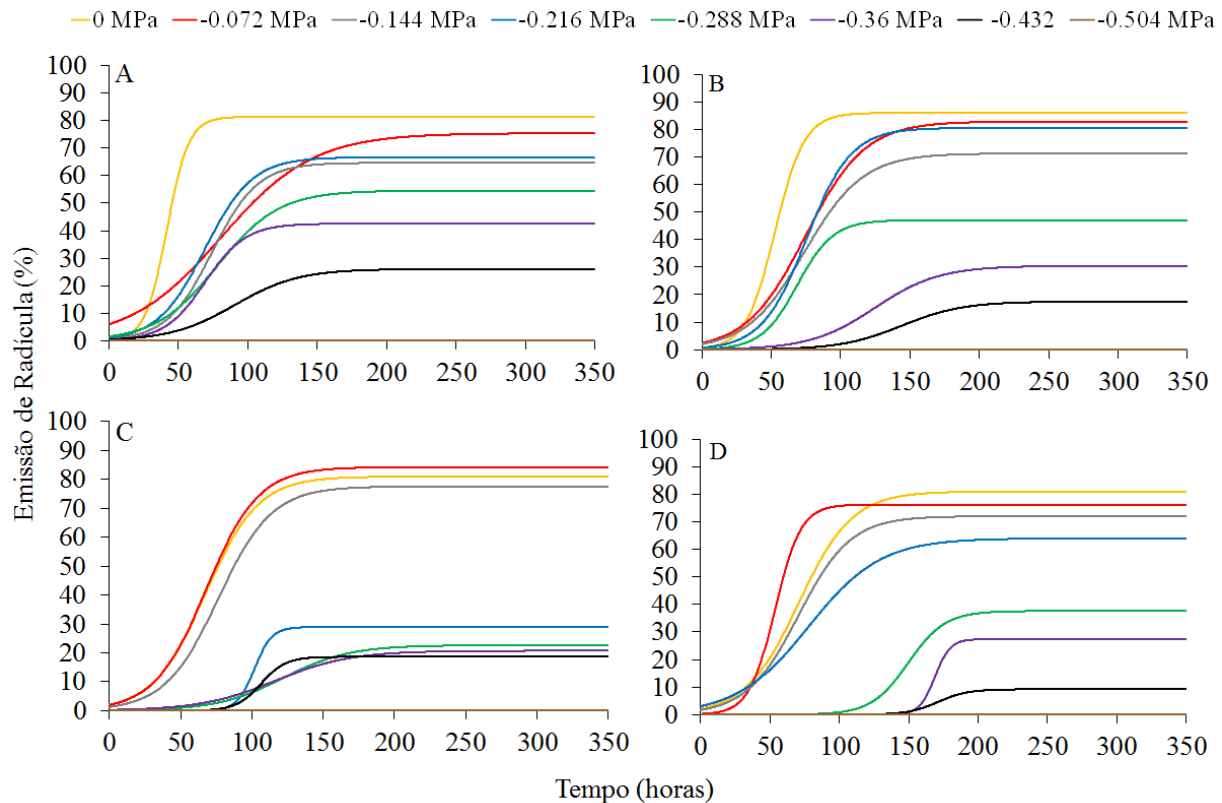


Figura 8. Germinação acumulada de sementes de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) coletadas em 2010 (A), 2011 (B), 2012 (C) e 2013 (D) e ajustada segundo o modelo sigmoidal de Boltzmann em função de diferentes potenciais osmóticos preparados com cloreto de sódio (NaCl).

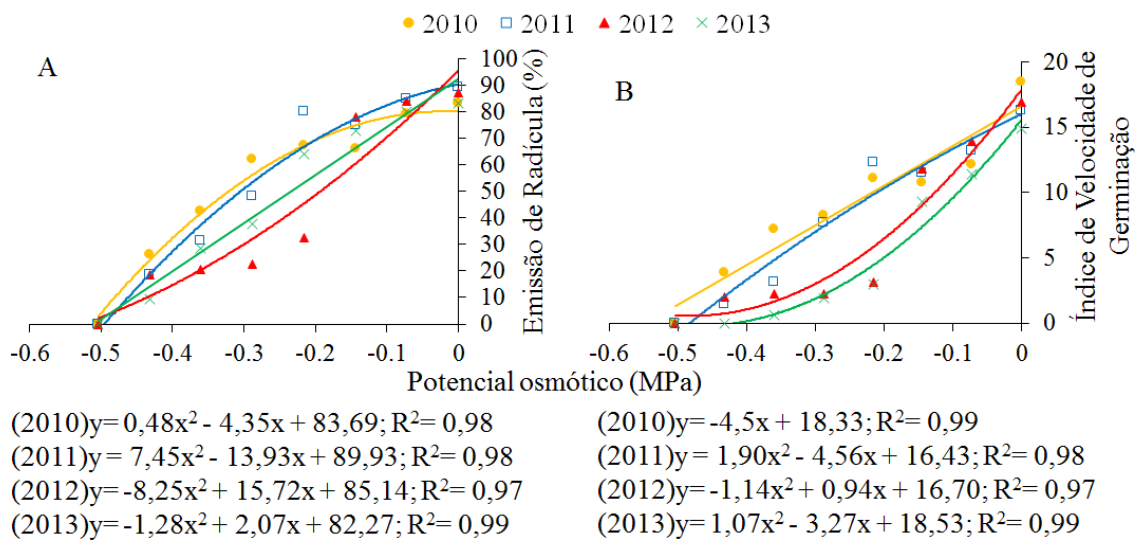


Figura 9. Germinação (A), índice de velocidade de germinação (B) de sementes de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) submetidas ao estresse salino em diferentes potenciais osmóticos de cloreto de sódio (NaCl).

O efeito da salinidade sobre o processo germinativo de sementes é verificado pela toxicidade iônica que pode ocasionar o atraso na germinação das sementes por afetar processos fisiológicos e metabólicos dos tecidos embrionários (VOIGT et al., 2009).

Os modelos gerados a partir da taxa de germinação de *M. urundeuva* em diferentes concentrações de NaCl indicaram que os lotes 2010, 2011 e 2012 possuem uma maior tolerância à salinidade quando comparados ao lote 2013 (Figura 10). O potencial hídrico base (ψ_b) apresentou valores entre -0,5 a -0,7 MPa nas soluções salinas (Figura 10). A taxa de germinação das sementes foi mais afetada pela redução do potencial osmótico induzido por NaCl do que aqueles produzidos pelo PEG 6000 (Figuras 8, 10). Isso pode ser atribuído ao acúmulo de Na^+ , que altera o equilíbrio de íons e a disponibilidade de nutrientes minerais, reduzindo a divisão celular e o desenvolvimento do embrião (MOSS e HOFFMAN 1977). Os valores do tempo hídrico (θ_{HNaCl}) foram distintos dentre os lotes estudados. O lote de 2012 necessitou de mais tempo para completar a germinação em condições salinas (Figura 10).

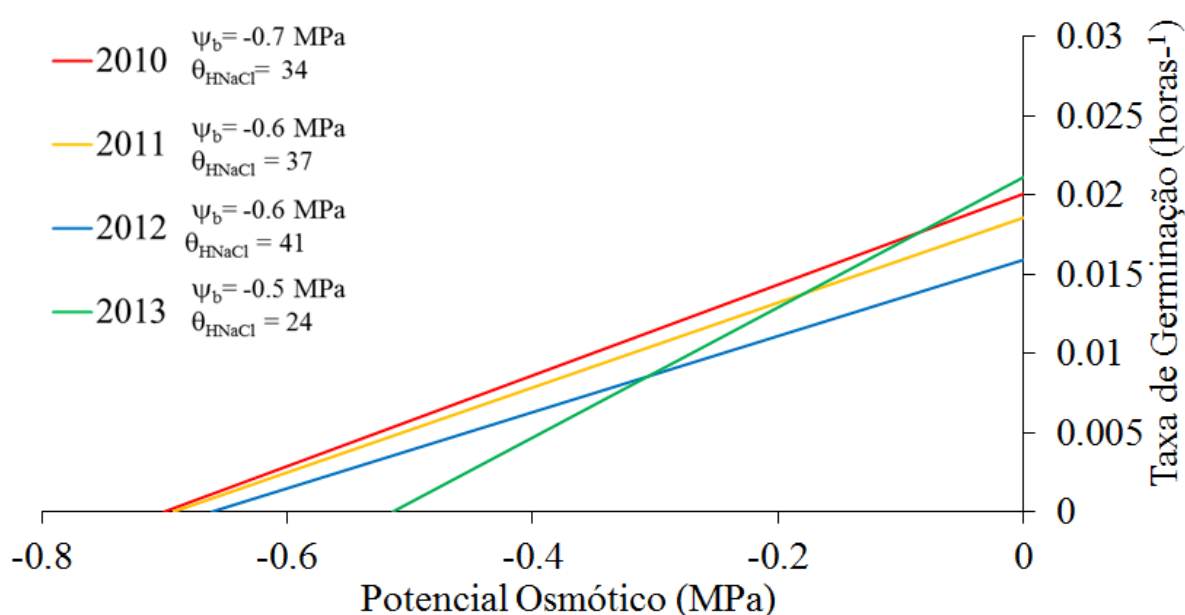


Figura 10. Taxa de germinação, limites e requerimentos osmóticos de sementes de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) coletadas em diferentes anos e submetidas a diferentes potenciais osmóticos produzidos com soluções de cloreto de sódio (NaCl). ψ_b corresponde ao potencial osmótico base para germinação ponto em que regressões interceptam o eixo x; θ_{HNaCl} corresponde ao tempo hídrico, obtido pela função recíproca do ângulo da regressão.

O desenvolvimento da habilidade de germinar sob condições extremas permite a distribuição geográfica e temporal da espécie, otimizando a sua sobrevivência (OLIVEIRA et al., 2017). Assim, o sucesso da sobrevivência de espécies em ambientes heterogêneos fundamenta-se na plasticidade

(LIMA et al., 2010), capacidade evidenciada na avaliação de lotes de *M. urundeuva* em relação às diferentes condições ambientais. A resposta dessa espécie a essas condições está associada às suas diferentes estratégias de adaptação ao ambiente (GUEDES et al., 2013).

Previsão da germinação em clima futuro

A soma térmica foi estimada, a partir dos dados climáticos, apenas quando a precipitação semanal foi superior à quantidade mínima de 20 mm de precipitação por semana, pois esse volume de chuva mantém a umidade do solo da Caatinga apropriada para germinação por aproximadamente uma semana (SANTOS et al., 2011). No clima atual, a soma térmica para a germinação das sementes dos lotes mais antigos (2010 a 2012) foi entre 35 e 40 °Cd e de 25 °Cd para as sementes mais novas (2013). Em clima futuro, mesmo com mais energia térmica no ambiente, a soma térmica estimada foi semelhante àquela obtida em clima atual (Figura 11). Além disso, a temperatura média do ambiente nunca será mais alta que a temperatura teto para germinação dessa espécie (Figura 4), indicando que a temperatura não restringirá a germinação dessas sementes.

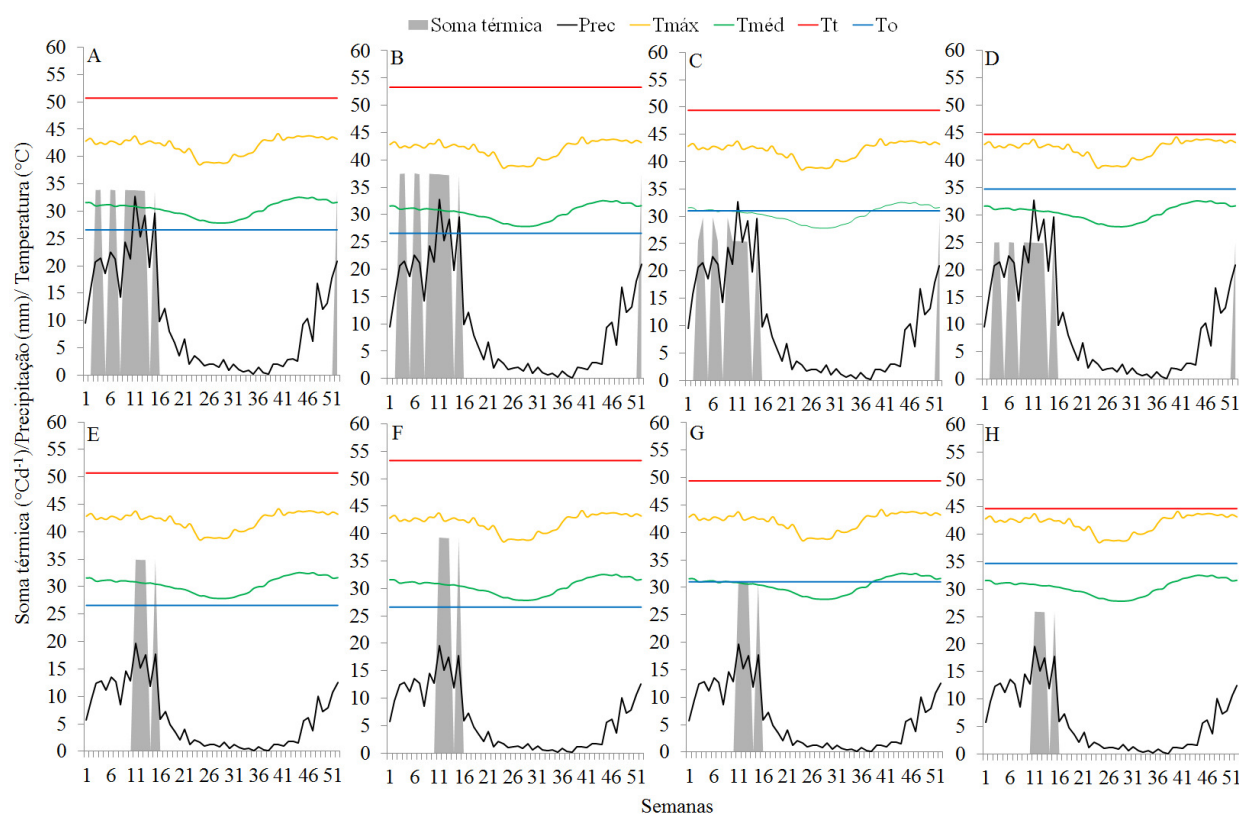


Figura 11. Soma térmica necessária para eventos de germinação de sementes de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) dos lotes de 2010 (A, E), 2011 (B, F), 2012 (C, G) e 2013 (D, H) em cenários climáticos atual (A, B, C e D) e de mudanças climáticas RCP 8.5 (E, F, G e H) previstos pelo quinto relatório do Painel Internacional de Mudanças Climáticas- IPCC/AR5 (IPCC, 2014).

Por outro lado, a redução em 40% no volume de precipitação, baseado no cenário RCP 8,5, resultará na diminuição de semanas com disponibilidade hídrica para germinação das sementes e desenvolvimento inicial de plântulas de *M. urundeuva*, restringindo o recrutamento de plântulas. Essa tendência pode ser verificada nos últimos anos (2011-2017) de seca na região (MARENGO et al., 2016) e com eventos de chuva menores que 20 mm durante a estação chuvosa de 2016-2017, o que inibiu a emergência de plântulas de *M. urundeuva* em bancos de sementes (SILVA et al., 2017).

CONCLUSÕES

Sementes de *M. urundeuva* são tolerantes à ampla faixa de temperatura e potenciais osmóticos, no entanto, a tolerância é alterada conforme a qualidade fisiológica do lote;

A salinidade teve um efeito mais prejudicial à germinação de sementes de *M. urundeuva* do que a restrição hídrica;

Modelos climáticos permitem identificar as respostas germinativas de *M. urundeuva* em cenários futuros de mudanças climáticas.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 171 15/2014; Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil (CNPq) - Código de Financiamento REF423143/2016-6; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Brasil (Embrapa) - Código de Financiamento 03.12.12.004.00.00.

REFERÊNCIAS

- ARANA, M. V.; GONZALEZ-POLO, M.; MARTINEZ-MEIER, A.; GALLO, L. A.; BENECH-ARNOLD, R. L.; SÁNCHEZ, R. A.; BATLLA, D. Seed dormancy responses to temperature relate to *Nothofagus* species distribution and determine temporal patterns of germination across altitudes in Patagonia. *New Phytologist*, v. 209, p. 507–520, 2016.
- BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K. J.; HILHORST, K. H. W. M.; NONOGAKI, H. *Seeds: Physiology of development germination and dormancy*. New York: Springer, 2013, 392p.
- BRADFORD, K. Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed science*, Washington, v. 50, 2002, p. 248-260.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Regras para análise de sementes*. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA, SDA, 2009. 395p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Instruções para análise de sementes florestais*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2013. 97p.
- CARLINI, E. A.; DUARTE-ALMEIDA, J. M.; RODRIGUES, E.; TABACH, R. Antiulcer effect of the pepper trees *Schinus terebinthifolius* Raddi (aroeira-da-praia) and *Myracrodruon urundeuva* Allemão, Anacardiaceae (aroeira-do-sertão). *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v. 20, p. 140-146, 2010.
- CASTILLO-LORENZO, E.; FINCH-SAVAGE, W. E.; SEAL, C. E.; PRITCHARD, H. W. Adaptive significance of functional germination traits in crop wild relatives of Brassica. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 264, p. 343–350, 2019.
- CHAVES, M. M. FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*, v. 103, p. 551-560, 2009.
- CNCFlora Centro Nacional de Conservação da Flora. *Myracrodruon urundeuva* in Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2 Disponível em: <http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Myracrodruon%20urundeuva> Acesso em: 17 fev. 2018.
- COVELL, S.; ELLIS, R. H.; ROBERTS, E. H.; SUMMERFIELD, R. J. The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes I. A comparison of chickpea, lentil, soyabean and cowpea at constant temperatures. *Journal of Experimental Botany*, v. 37, p. 705–715, 1986.
- ELLIS, R. H.; COVELL, S.; ROBERTS, E. H.; SUMMERFIELD, R. J. The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. II. Intraspecific variation in chickpea (*Cicer arietinum* L.) at constant temperatures. *Journal of Experimental Botany*, v. 37, p. 1503-1515, 1986.
- FLORES, A. V.; BORGES, E. E. L.; GUIMARÃES, V. M.; GONÇALVES, J. F. C.; ATAÍDE, C. M.; BARROS, D. P. Atividade enzimática durante a germinação de sementes de *Melanoxylon brauna* Schott sob diferentes temperaturas. *Cerne*, v.20, n.2, p.401-408, 2014.
- FREITAS, A. R.; LOPES, J. C.; MATHEUS, M. T.; MENGARDA, L. H. G.; VENANCIO, L. P. CALDEIRA, M. V. W. Superação da dormência de sementes de jatobá. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 33, p. 01-05, 2013.

- GONDIM, T. M. S.; CAVALCANTE, L. F.; BELTRAO, N. E. M. Aquecimento global: salinidade e consequências no comportamento vegetal. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibras*, v.14, p.37-54, 2010.
- GRIZ, L. M. S.; MACHADO, I. C. S. Fruiting phenology and seed dispersal syndromes in caatinga, a tropical dry forest in the northeast of Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, v. 17, p. 303-321, 2001.
- GUEDES, R. S.; ALVES, E. U.; GONÇALVES, E. P.; COLARES, P. N. Q.; MEDEIROS, M. S.; VIANA, J. S. Germinação e vigor de sementes de *Myracrodruon urundeuva* Allemão em diferentes substratos e temperaturas. *Revista Árvore*, v. 35, n. 5, p.975-982, 2011.
- GUEDES, R. S.; ALVES, E. U.; VIANA, J. S.; GONÇALVES, E. P.; LIMA, C. R.; SANTOS, S. R. N. Germinação e vigor de sementes de *Apeiba tibourbou* submetidas ao estresse hídrico e diferentes temperaturas. *Ciência Florestal*, v.23, p.45-53, 2013.
- GUMMERSON, R. J. The effect of constant temperatures and osmotic potentials on the germination of sugar beet. *Journal of Experimental Botany*, v.37, n.6, p.729-741, 1986.
- HARDEGREE, S. P. Predicting Germination Response to Temperature. I. Cardinal-temperature Models and Subpopulation-specific Regression. *Annals of Botany*, v.97, p.1115–1125. 2006.
- IPCC. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (eds Core Writing Team, R. K. Pachauri, L. A. Meyer), IPCC, Geneva. 151 pp.
- KIILL, L. H. P.; MARTINS, C.; SILVA, P. Biologia reprodutiva de duas espécies de Anacardiaceae da caatinga ameaçadas de extinção. In: MOURA, A.N.; ARAÚJO, E.L.; ALBUQUERQUE, U.P. (eds) Biodiversidade, potencial econômico e processos ecofisiológicos em ecossistemas nordestinos. Embrapa Semiárido, p. 305–332, 2010.
- KNOWLES, N.; CAYAN, D. Potential effects of global warming on the Sacramento/San Joaquin watersheds and the San Francisco estuary. *Geophysical Research Letters*, v.29, p. 38-1-38-4, 2002.
- LIMA, A. L. S.; ZANELLA, F.; CASTRO, L. D. M. Crescimento de *Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee et Lang e *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Leguminosae) sob diferentes níveis de sombreamento. *Acta Amazônica*, Manaus – AM, v. 40, p. 43-48, 2010.
- LIMA, B.; TORRES, S. Estresses hídrico e salino na germinação de sementes de *Zizyphus joazeiro* Mart. (Rhamnaceae). *Revista Caatinga*, v.22, p. 93-99, 2009.
- MAGUIRE, J. D. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling and vigour. *Crop Science*, v.2, p.176-177, 1962.
- MARAGHNI, M.; GORAI, M.; NEFFATI, M. Seed germination at different temperatures and water stress levels, and seedling emergence from different depths of *Zizyphus lotus*. *South African Journal of Botany*, v. 76, p.453–459, 2010.
- MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; ALVES, L. M. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. *Climanálise*, v. 3, p. 1-6, 2016.

- MATIAS, J. R.; OLIVEIRA, G. M.; DANTAS, B. F. Colheita e beneficiamento de algumas espécies da Caatinga. *Informativo ABRATES*, v.24, p.23-27, 2014.
- MOSS, D. N.; HOFFMAN, G. J. Analysis of crop salt tolerance data. In: SHAIN, I.; SHALHEVET, J. *Soil salinity under irrigation: process and management*. Berlin: Ecological, 1977. p. 258-271.
- NOGUEIRA, N. W.; TORRES, S. B.; FREITAS, R. M. O.; CASTRO, T. H. S.; SÁ, F. V. S. 'Jurema-de-embira' seed germination under water stress and at different temperatures. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.21, p.244-248, 2017.
- NUNES, Y. R. F.; FAGUNDES, M.; ALMEIDA, H. S.; VELOSO, M. D. M. Aspectos ecológicos da aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão - Anacardiaceae): fenologia e germinação de sementes. *Revista Árvore*, v.32, p.233-243, 2008.
- OLIVEIRA, A. K. M.; SOUZA, J. S.; CARVALHO, J. M. B.; OJEDA, P. T. A. Temperatura e substrato na germinação de sementes e no crescimento inicial de plântulas de *Sapindus saponária* (Sapindaceae). *Gaia Scientia*, v. 11, p. 131-143, 2017.
- PBMC. 2013. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Sumário Executivo GT1. PBMC, Rio de Janeiro, Brasil. 24 p.
- SALIMON, C.; ANDERSON, L. How strong is the relationship between rainfall variability and caatinga productivity? A case study under a changing climate. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.90, p. 2121-2127, 2018.
- SANTOS, C. A.; SILVA, N. V.; WALTER, L. S.; SILVA, E. C. A.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Germinação de sementes de duas espécies da Caatinga sob deficit hídrico e salinidade. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 36, p. 219- 224, 2016.
- SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, D. D. Umidade do solo no semiárido pernambucano usando-se reflectometria no domínio do tempo (TDR). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, p. 670–679, 2011.
- SEAL, C. E.; BARWELL, L. J.; FLOWERS, T. J.; MERRETT WADE, E.; PRITCHARD, H. W. Seed germination niche of the halophyte *Suaeda maritima* to combined salinity and temperature is characterised by a halothermal time model. *Environmental and Experimental Botany*, v.155, p.177–184, 2018.
- SEAL, C. E.; DAWS, M. I.; FLORES, J.; ORTEGA-BAES, P.; GALÍNDEZ, G.; LEÓN-LOBOS, P.; SANDOVAL, A.; STUVA, A. C.; BULLÓN, N. R.; DÁVILA-ARANDA, P.; ORDOÑEZ-SALANUEVA, C. A.; YÁÑEZ-ESPINOSA, L.; ULIAN, T.; AMOSSO, C.; ZUBANI, L.; BILBAO, A. T.; PRITCHARD, H. W. Thermal buffering capacity of the germination phenotype across the environmental envelope of the Cactaceae. *Global Change Biology*, v. 23, p. 5309–5317, 2017.
- SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. *African Journal of Agricultural Research*, v.11, p. 3733-3740, 2016.
- SILVA, F. F. S.; OLIVEIRA, G. M.; ARAÚJO, M. N.; ANGELOTTI, F.; MOURA, M. S. B.; DANTAS, B. F. Rainfall events, high CO₂ concentration and germination seeds of Caatinga. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v. 2, p. 258–265, 2017.

SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B.; SEDIYAMA, G. C.; SILVA T. G. F. Carbon exchange in a caatinga area during an unusually drought year. *Agrometeoros*, v.25, p.37-45, 2017.

VILLELA, F. A.; DONI FILHO, L.; SEQUEIRA, E. L. Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietilenoglicol 6000 e da temperatura. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.26, p.1957-1968, 1991.

VIRGENS, I. O.; CASTRO, R. D.; FERNANDEZ L. G.; PELACANI C. R. Comportamento Fisiológico de sementes de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. (Anacardiaceae) submetidas a fatores abióticos. *Ciência Florestal*, v. 22, p. 681-692, 2012.

VIVIAN, R.; SILVA, A. A.; GIMENES, J. M.; FAGAN, E. B.; RUIZ, S. T.; LABONIA, V. Dormência em sementes de plantas daninhas como mecanismo de sobrevivência – Breve revisão. *Planta Daninha*, v. 26, p. 695-706, 2008.

VOIGT, E. L.; ALMEIDA, T. D.; CHAGÁSICOS, R. M.; PONTE, L. F. A.; VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. Source-sink regulation of cotyledonary reserve mobilization during cashew (*Anacardium occidentale*) seedling establishment under NaCl salinity. *Journal of Plant Physiology*, v. 166, p. 80-89, 2009.

CAPÍTULO II

ESTRESSES AMBIENTAIS COMBINADOS E REQUERIMENTO HIDROTÉRMICO PARA A GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE *Myracrodruon urundeuva* Allemão (ANACARDIACEAE)

**Estresses ambientais combinados e requerimento hidrotérmico para a
germinação de sementes de *Myracrodruon urundeuva* Allemão
(Anacardiaceae)**

Gilmara Moreira de Oliveira¹, Claudineia Regina Pelacani Cruz¹, Bárbara França Dantas²

¹ Universidade Estadual de Feira de Santana, ² Embrapa Semiárido

RESUMO

Modelos ecofisiológicos são desenvolvidos com a finalidade de descrever a interação entre temperatura e potencial osmótico visando, principalmente, os cenários futuros de mudanças climáticas globais. O objetivo do presente trabalho foi testar o modelo hidrotérmico na germinação de sementes e formação de plântulas de *M. urundeuva*, assumindo-se a hipótese que a temperatura base, a temperatura teto e o potencial base são dependentes para calcular o tempo hidrotérmico. Foram testadas as temperaturas constantes de 25 a 40 °C e potenciais osmóticos de 0 a -0,6 MPa (usando-se polietileno glicol 6000 e cloreto de sódio). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com quatro repetições de 50 sementes em esquema fatorial (temperatura x estresse abiótico). Os dados de germinação foram analisados utilizando modelos de tempo hídrico e hidrotérmico. A temperatura de 30 °C inferiu uma maior porcentagem de germinação para as sementes em soluções preparadas com PEG. As temperaturas de 25 e 30 °C e os potenciais de 0 e -0,2 MPa_{PEG} inferiram uma porcentagem acima de 70% de plântulas de *M. urundeuva*. Os maiores valores de plântulas submetidas às soluções com NaCl foram de 79 e 87% nas temperaturas mais baixas de 25 e 30 °C, respectivamente. Ocorreu uma redução linear da germinação com a redução do potencial osmótico no meio, tanto induzido por PEG como por NaCl nas temperaturas testadas. A tolerância de plântulas apresentou resultados semelhantes, pois a medida que reduziu do potencial osmótico do meio, houve também uma redução nos valores de plântulas normais. A temperatura interferiu na resposta germinativa das sementes de *M. urundeuva* sob diferentes potenciais osmóticos. A germinação e a formação plântulas de *M. urundeuva* foram afetados negativamente pela redução do potencial osmótico preparados com PEG e NaCl. A temperatura de 30 °C proporcionou uma maior tolerância à restrição hídrica e/ou salinidade. A germinação de sementes de *M. urundeuva* pode ser avaliada por meio de modelos baseados no conceito de tempo hídrico e tempo hidrotérmico.

Palavras-chave: aroeira-do-sertão, temperatura, potencial hídrico, salinidade.

Combined environmental stresses and hydrothermal requirements for the germination of *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) seeds

ABSTRACT

Ecophysiological models are developed in order to describe the interaction between temperature and osmotic potential, mainly aiming at future scenarios of global climate change. The objective of the present study was to test the hydrothermal model in seed germination and *M. urundeuva* seedlings formation, assuming that the base temperature, ceiling temperature and base potential are dependent to calculate the hydrothermal time. Constant temperatures from 25 to 40 °C and osmotic potentials from 0.0 to -0.6 MPa were tested (using polyethylene glycol 6000 and sodium chloride). The experiment was conducted according to a completely randomized design, with four replicates of 50 seeds in a factorial scheme (harvest year x abiotic stress). The temperature of 30 °C inferred a higher germination percentage for the seeds in solutions prepared with PEG. Temperatures of 25 and 30 °C and potentials of 0 and -0.2 MPa_{PEG} inferred a percentage above 70% of *M. urundeuva* seedlings. The highest values of seedlings submitted to NaCl solutions were 79 and 87% at lower temperatures of 25 and 30 °C, respectively. There was a linear reduction germination with osmotic potential reduction in the environment, induced by both PEG and NaCl at the temperatures tested. Seedling tolerance showed similar results, as the measure that reduced the osmotic potential of the medium, there was also a reduction in seedling values. Temperature interfered with the germination response of *M. urundeuva* seeds under different osmotic potentials. Germination and formation of *M. urundeuva* seedlings were negatively affected by reduced osmotic potential prepared with PEG and NaCl. The temperature of 30 °C provided a higher tolerance to water restriction and/or salinity. The germination of *M. urundeuva* seeds can be evaluated by means of models based on the concept of water time and hydrothermal time.

Keywords: aroeira-do-sertão, temperature, water potential, salinity.

INTRODUÇÃO

Os cenários futuros de mudanças climáticas globais preveem um aumento da temperatura ambiental, além de mudanças na frequência de inundações e secas (IPCC, 2014). Precipitação e temperatura são os principais fatores ambientais que têm impacto nas características das plantas e das sementes (DORNBOS e MULLEN, 1991; BASKIN e BASKIN, 1998; ACKERLY et al., 2000; PEÑUELAS et al., 2004; PORTER, 2005; MENZEL et al., 2006; FRANKS et al., 2007;).

Uma das fases mais sensíveis de uma planta às mudanças ambientais é da germinação de sementes até o estabelecimento de plântulas (KIMBALL et al., 2010). Consequentemente, os efeitos da precipitação e da temperatura na taxa de germinação (CÉSPEDES et al., 2012), germinação final (GARECA et al., 2012) e estabelecimento de plântulas (COCHRANE et al., 2015) têm sido amplamente explorados. Com esses resultados, modelos ecofisiológicos são desenvolvidos sob a finalidade de descrever a interação entre temperatura e potencial osmótico.

O baixo potencial osmótico do meio pode resultar em embebição incompleta das sementes. Além disso, os íons contidos em soluções salinas se acumulam nas sementes de algumas espécies, os quais podem ser altamente tóxicos para processos metabólicos. É comum observar a interação da salinidade com a temperatura durante a germinação, de tal forma que em uma espécie pode existir diferenças na germinação em condições de salinidade dependendo da época do ano (FLOWERS et al., 2015).

A disponibilidade hídrica, expressa pelo potencial de água do solo, e a temperatura podem ser utilizadas como ferramentas para prever a germinação de muitas espécies de plantas, principalmente daquelas que compõem o banco de sementes do solo. Nos últimos anos, a germinação tem sido quantificada usando modelos de tempo térmico, tempo hídrico e hidrotérmico, para descrever respostas à temperatura, ao potencial osmótico ou à combinação de ambos, respectivamente. Originalmente desenvolvidos em espécies de culturas agronômicas, esses modelos matemáticos descrevem a germinação de uma população de sementes (GARCIA-HUIDOBRO et al., 1982; COVELL et al., 1986; ELLIS et al., 1986; GUMMERSON, 1986). Esses modelos podem ser usados para prever a germinação e emergência de plântulas em campo, desde plantas herbáceas até arbóreas (FINCH-SAVAGE e PHELPS 1993; BATLLA e BENECH-ARNOLD, 2006), o que, no caso de plantas nativas, pode ser uma informação importante visando sua conservação.

O modelo conceitualmente definido como hidrotérmico (traduzido de *hidrotermal*) propõe que a taxa de germinação é proporcional ao valor pelo qual a temperatura e o potencial osmótico excedem o valor base (limiar) encontrado no ambiente. Esse modelo descreve a mudança linear na taxa de germinação sob diferentes condições e permitem a estimativa de limiares para a resposta de

germinação. Além disso, também geram constantes de tempo hidrotérmico que indicam como a taxa de germinação muda com a combinação da temperatura com o potencial osmótico ao longo do tempo, sendo, assim, um atributo de vigor das sementes. Uma vantagem desse modelo é a definição de toda a gama de requisitos da germinação, tornando-os particularmente úteis em estudos comparativos entre espécies e também para prever respostas de espécies a diferentes cenários de mudanças climáticas (ORRÛ et al., 2012; STEVENS et al., 2014; FERNÁNDEZ-PASCUAL et al., 2015; ORDOÑEZ-SALANUEVA et al., 2015; SEAL et al., 2017).

O conhecimento das possíveis condições em que as espécies nativas germinam, principalmente em ambientes como o bioma Caatinga, caracterizado por altas temperaturas, intensa evapotranspiração e baixas precipitações (BRILHANTE et al., 2007), é de extrema relevância para o seu uso bem-sucedido em programas de restauração (CASTILLO-LORENZO et al., 2018). Entre as espécies nativas da Caatinga, destaca-se a *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae), que possui relevante valor socioeconômico devido às suas características como planta madeireira, ornamental e medicinal (ANDRADE et al., 2000). A literatura reporta diversos trabalhos sobre a germinação de sementes dessa espécie, incluindo os efeitos osmótico e térmico (SILVA et al., 2002; CARDOSO et al., 2012; VIRGENS et al., 2012).

Dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi testar o modelo hidrotérmico na germinação de sementes e formação de plântulas de *M. urundeuva*, assumindo-se a hipótese de que a temperatura base (T_b), a temperatura teto (T_t) e o potencial base (Ψ_b) são dependentes para calcular o tempo hidrotérmico (θ_{HT}) e os modelos de simulação que interagem com essas variáveis podem ser usados, por exemplo, na tomada de decisão sobre medidas de sobrevivência.

MATERIAL E MÉTODOS

Colheita e beneficiamento de sementes

Os diásporos de *M. urundeuva* foram colhidos diretamente das árvores matrizes localizadas em Lagoa Grande - PE ($8^{\circ}34'13.1''S$, $40^{\circ}11'02.2''W$), entre agosto e setembro de 2016. O beneficiamento foi realizado através de uma pré-limpeza (retirando manualmente as alas e galhos) e, posteriormente, foram submetidos ao soprador de sementes para a separação de impurezas. Antes de iniciar os testes, foi realizada assepsia dos diásporos com detergente neutro por cinco minutos e, posteriormente, foram retirados manualmente o exocarpo e o mesocarpo dos diásporos em água corrente, com auxílio de uma peneira de aço. Após esse procedimento, as sementes foram desinfestadas superficialmente com água sanitária comercial por três minutos e com fungicida Captan (3mL L^{-1}) por mais três minutos.

Germinação de sementes e formação de plântulas

O experimento foi realizado no Laboratório de Análise de Sementes da Embrapa Semiárido, situado na cidade de Petrolina-PE. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial com quatro temperaturas constantes (25, 30, 35 e 40 °C) e seis potenciais osmóticos (0,0; -0,2; -0,3; -0,4; -0,5 e -0,6 MPa) preparados com polietileno glicol 6000 (PEG6000) e cloreto de sódio (NaCl), com quatro repetições de 50 sementes cada. As sementes foram semeadas em duas camadas de papel mata borrão dentro de caixas acrílicas do tipo “gerbox” (11x11x3cm), umedecidas com água destilada e as soluções na proporção de 2,5 vezes o peso do papel (BRASIL, 2009). O papel mata borrão foi trocado sempre que necessário. As sementes foram incubadas durante 14 dias, em 12 horas de fotoperíodo, nas temperaturas citadas.

As observações foram realizadas diariamente, avaliando-se a germinação (1 mm de raiz visível) e as características de plântulas normais.

Análise dos dados

As porcentagens de germinação e plântulas para cada potencial osmótico (ψ) estudado foram plotadas em função do tempo e a análise de regressão linear foi realizada para calcular a interceptação no eixo x, dando estimativas do potencial osmótico base (ψ_b), abaixo do qual a taxa de germinação (TG) é igual a zero (GUMMERSON, 1986). Respostas na germinação de sementes e formação de plântulas em relação ao potencial osmótico foram também descritas em uma escala de tempo hídrico (θ_H) que foi calculado para cada tratamento de estresse hídrico e salino (GUMMERSON, 1986; BRADFORD, 2002), como:

$$\theta_H = (\psi - \psi_b) t \quad (\text{equação 1}).$$

Em que ψ é o potencial hídrico, ψ_b potencial hídrico base e t o tempo desde o início da embebição.

Usando estimativas de temperatura base (T_b), temperatura teto (T_t) e ψ_b médios para cada tratamento, o tempo hidrotérmico (θ_{HT}) foi calculado usando as seguintes equações:

$$\theta_{HT} = (T - T_b) (\psi - \psi_b) t \quad (\text{equação 2})$$

$$\theta_{HT} = (T_t - T) (\psi - \psi_b) t \quad (\text{equação 3})$$

Em que T é temperatura de germinação, T_b é temperatura base, T_t é temperatura teto e t é o tempo desde o início da embebição (COVELL et al., 1986). A T_b e T_t foram de 9 e 45 °C, respectivamente. (OLIVEIRA et al., 2019)

Os dados de ψ_b , θ_H , e θ_{HT} para germinação e formação de plântulas normais de *M. urundeuva* nas temperaturas e potenciais osmóticos preparados com PEG e NaCl foram submetidos a análise de

variância e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$) no Software AgroEstat (BARBOSA e MALDONADO JUNIOR, 2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A germinação máxima de *M. urundeuva* em diferentes temperaturas e submetidas às soluções preparadas com PEG ocorreu no potencial osmótico de $-0,3 \text{ MPa}_{\text{PEG}}$ para as temperaturas de 25 e 35 °C, com 84 e 89% de germinação final, respectivamente (Figura 1A e 1C). A germinação máxima que ocorreu na temperatura de 30 °C foi de 90% no potencial osmótico de $-0,2 \text{ MPa}_{\text{PEG}}$. Observou-se um comportamento diferente na temperatura de 40 °C, em que a germinação máxima foi de 12% em água destilada (0,0 MPa). O potencial osmótico de $-0,6 \text{ MPa}_{\text{PEG}}$, em todas as temperaturas, não proporcionou a germinação das sementes. No entanto, a germinação final no potencial osmótico de $-0,5 \text{ MPa}_{\text{PEG}}$ nas temperaturas de 30 e 35 °C foi de 4 e 11%, respectivamente, e nas demais temperaturas (25 e 40 °C) a germinação nesse potencial osmótico foi nula (Figura 1).

Na ausência de outros fatores limitantes, a germinação ocorre em uma faixa relativamente ampla de temperatura, cujos extremos dependem de fatores como a espécie e características genéticas (MARCOS FILHO, 2005), e no processo germinativo, é necessário que as sementes sejam hidratadas ao ponto de ocorrer a reativação dos seus processos metabólicos para o crescimento do eixo embrionário e o estabelecimento das plântulas (CARVALHO e NAKAGAWA, 2012). Os fatores de temperatura e água podem interferir tanto na dinâmica da absorção de água, como nos limites dos processos fisiológicos que determinam o processo germinativo. No presente trabalho, o efeito dos potenciais osmóticos preparados com PEG, para simular restrição hídrica, e com NaCl, para simular salinidade do substrato, foi avaliado paralelamente ao efeito da temperatura durante a germinação das sementes de *M. urundeuva*.

A temperatura de 30 °C inferiu uma maior porcentagem de germinação para as sementes em soluções preparadas com PEG e os valores de germinação final se mantiveram altos com a elevação da temperatura até 35 °C. Em trabalhos com diferentes safras e tempos de armazenamento de sementes de *M. urundeuva*, a germinação se manteve alta em uma ampla faixa de temperatura de 20-35 °C e a T_0 variou entre 26,6 e 34,7 °C (DANTAS et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2019). Essa mesma resposta foi verificada em *Amburana acreana* (Ducke) A.C. Smith (Fabaceae), uma leguminosa adaptada às condições tropicais amazônicas (BELLO et al., 2008).

O início da germinação das sementes em soluções preparadas com PEG ocorreu em um dia após a embebição para todas as temperaturas testadas. Nas temperaturas de 30 e 35 °C o início da

germinação ocorreu mais rapidamente nos potenciais de $-0,3 \text{ MPa}_{\text{PEG}}$ (12% de germinação) e $-0,4 \text{ MPa}_{\text{PEG}}$ (1% de germinação), respectivamente (Figura 1).

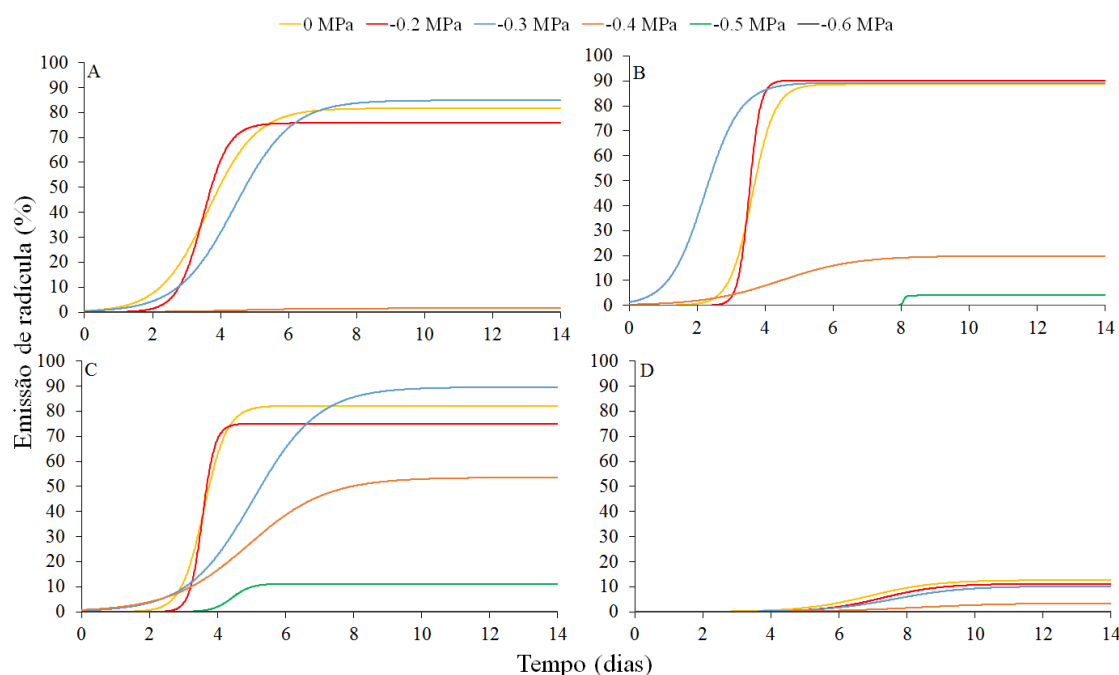


Figura 1. Curva de germinação (porcentagem de emissão de radícula) de sementes de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) nas temperaturas de 25 °C (A), 30 °C (B), 35 °C (C) e 40 °C (D) após ajuste não linear segundo o modelo sigmoidal de Boltzmann em função de diferentes potenciais osmóticos preparados com polietilo glicol 6000 (PEG6000).

A avaliação da formação de plântulas durante os 14 dias de embebição das sementes permitiu verificar que os valores em porcentagem de plântula nos potenciais osmóticos de 0,0 e $-0,2 \text{ MPa}_{\text{PEG}}$, em todas as temperaturas, foram superiores aos demais potenciais osmóticos testados. Observa-se, ainda, que as temperaturas mais baixas (25 e 30 °C) e os potenciais de 0,0 e $-0,2 \text{ MPa}_{\text{PEG}}$ inferiram uma porcentagem acima de 70% de plântulas de *M. urundeuva* (Figura 2). A tolerância das sementes de *M. urundeuva* em soluções com PEG6000 é mais acentuada nas temperaturas próximas a T_o (30 e 35 °C), encontradas por Oliveira et al. (2019). Assim, nas condições naturais da Caatinga, onde a temperatura média é 27 °C, as sementes de *M. urundeuva* apresentam vantagens ecológicas em comparação à outras espécies que são sensíveis à seca (REGO et al., 2011). Entre as vantagens ecológicas, destaca-se a capacidade das espécies de se desenvolverem em solos de regiões áridas e semiáridas, o que garante uma ampla distribuição geográfica da espécie se estabelecendo no clima que melhor se adapta (BORGHETTI e FERREIRA 2004).

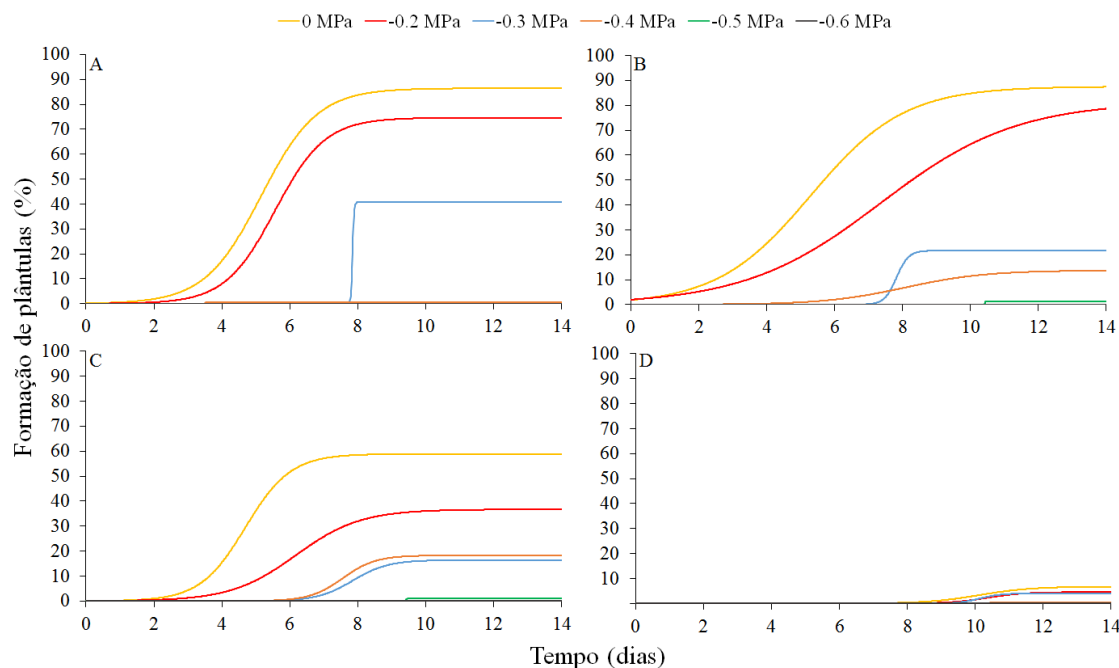


Figura 2. Curva de formação de plântulas (porcentagem de plântulas) de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) nas temperaturas de 25 °C (A), 30 °C (B), 35 °C (C) e 40 °C (D) após ajuste não linear segundo o modelo sigmoidal de Boltzmann em função de diferentes potenciais osmóticos preparados com polietileno glicol 6000 (PEG6000).

A germinação máxima de *M. urundeuva* em diferentes temperaturas e submetidas em soluções preparadas com NaCl ocorreu em água destilada (0,0 MPa) para as temperaturas de 25, 30 e 40 °C, com valores de germinação final de 81, 88 e 12%, respectivamente (Figura 2A, 2B e 2D). Na temperatura de 35 °C, a germinação máxima de 84% ocorreu quando as sementes foram submetidas ao potencial de -0,2 MPa_{NaCl} (Figura 2C). No potencial osmótico de -0,6 MPa_{NaCl}, a germinação em todas as temperaturas testadas foi nula e, no potencial de -0,5 MPa_{NaCl}, houve germinação somente nas temperaturas de 25 a 35 °C, com valores finais de 21, 19 e 20%, respectivamente.

A germinação das sementes de *M. urundeuva* diminuiu com a redução do potencial osmótico do substrato e, na natureza, o estresse hídrico pode atuar de forma positiva no estabelecimento das espécies, provocando um atraso significativo no tempo de germinação das sementes (FANTI e PEREZ, 2004). Assim, a germinação é distribuída no tempo e espaço e as espécies podem se estabelecer ao encontrar condições favoráveis para esse processo (BEWLEY e BLACK, 1994).

O início da germinação de sementes de *M. urundeuva* em diferentes temperaturas e potenciais osmóticos preparados com NaCl ocorreu mais rapidamente quando as sementes foram semeadas em água destilada (0,0 MPa) nas temperaturas de 25, 35 e 40 °C com respectivos valores de germinação final de 3; 0,03 e 0,03%. A temperatura de 35 °C proporcionou um mais rápido início de germinação no potencial osmótico de -0,3 MPa_{NaCl} com 5% de sementes germinadas (Figura 2).

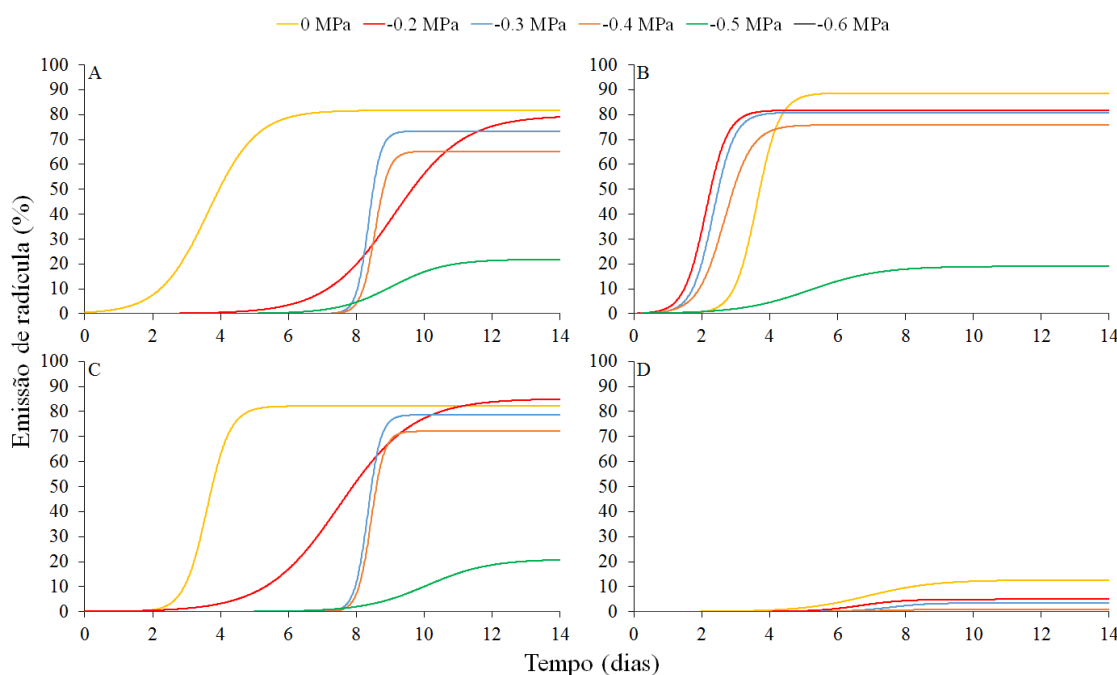


Figura 3. Curva de germinação (porcentagem de emissão de radícula) de sementes de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) nas temperaturas de 25°C (A), 30°C (B), 35°C (C) e 40°C (D) após ajuste não linear segundo o modelo sigmoidal de Boltzmann em função de diferentes potenciais osmóticos preparados com cloreto de sódio (NaCl).

Nas sementes submetidas ao potencial osmótico de $-0,5 \text{ MPa}_{\text{NaCl}}$ observou-se uma amplitude de tolerância maior (25 a 35 °C) quando comparado ao potencial osmótico preparado com PEG6000 (30 a 35 °C). Esses resultados demonstraram que a associação dos fatores de temperatura e estresse hídrico prejudicou de forma mais intensa a amplitude de tolerância aos potenciais osmóticos preparados com PEG6000 das sementes nas diferentes temperaturas. As sementes submetidas às soluções com NaCl apresentaram maiores valores de plântulas no potencial de 0,0 MPa, em todas as temperaturas testadas, sendo os maiores valores foram de 79 e 87% nas temperaturas mais baixas de 25 e 30 °C, respectivamente (Figura 4).

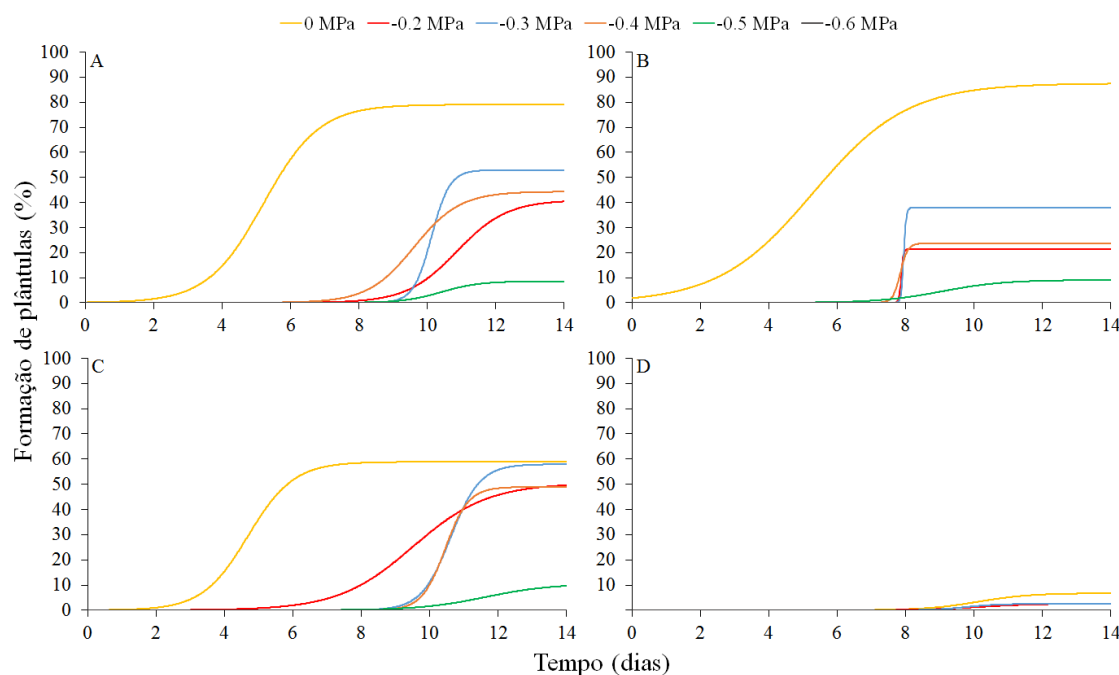


Figura 4. Curva de formação de plântulas (porcentagem de plântulas) de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) nas temperaturas de 25 °C (A), 30 °C (B), 35 °C (C) e 40 °C (D) após ajuste não linear segundo o modelo sigmoidal de Boltzmann em função de diferentes potenciais osmóticos preparados com cloreto de sódio (NaCl).

A taxa de germinação ($1/t_{50}$) das sementes em diferentes temperaturas e submetidas aos potenciais osmóticos preparados com PEG6000 variaram de 0,17 a 0,33 dias⁻¹ (Figura 3A). A resposta da taxa de germinação quando as sementes foram submetidas a soluções osmóticas preparadas com NaCl variou de 0,17 a 0,44 dias⁻¹ (Figura 3B). A taxa de plântulas para os potenciais preparados com PEG6000 e diferentes temperaturas variou de 0,11 a 0,22 dias⁻¹ (Figura 3C) e, para os potenciais preparados com NaCl, foi de 0,11 a 0,19 dias⁻¹ (Figura 3D). Considerando a taxa de germinação como a recíproca do tempo médio de germinação (CARDOSO, 2011), observa-se uma redução linear com a redução do potencial osmótico no meio, tanto induzido por PEG6000 como por NaCl nas temperaturas testadas. A tolerância de plântulas apresentou resultados semelhantes, pois a medida que reduziu do potencial osmótico do meio, houve também uma redução nos valores de plântulas. A germinação e formação plântulas sobre os potenciais osmóticos e diferentes temperaturas apontam para distintos valores de Ψ e consequente alteração no θ_H .

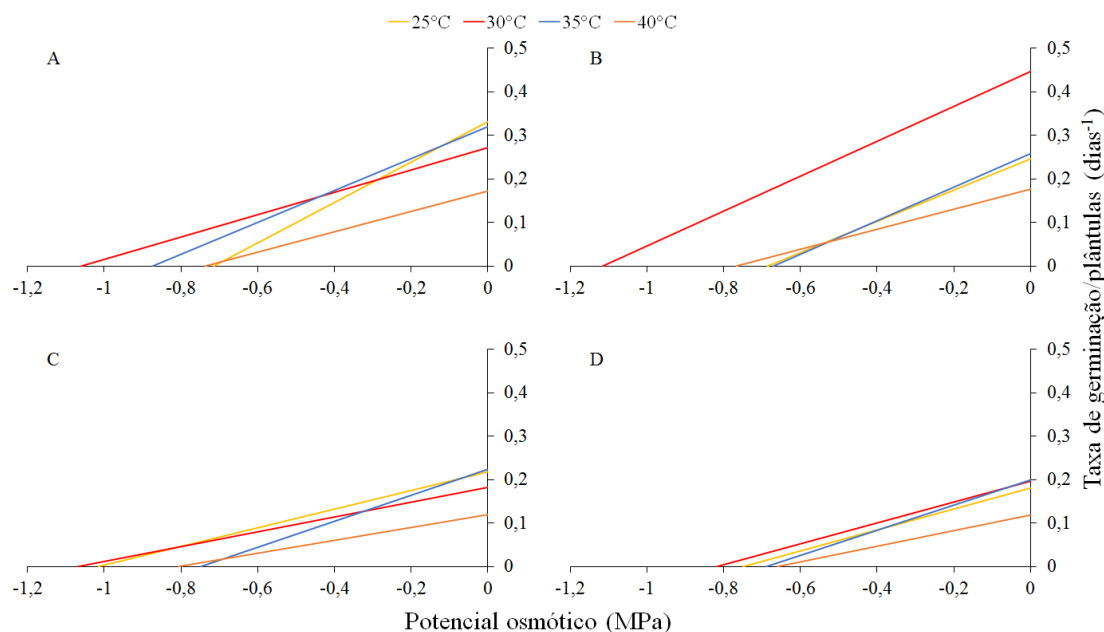


Figura 5. Taxa de germinação (A, B) e plântulas (C, D) de sementes de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) em diferentes temperaturas e diferentes potenciais osmóticos, preparados com polietileno glicol 6000 (PEG6000) (A, C) e com cloreto de sódio (NaCl) (B, D).

A recíproca da inclinação de cada uma dessas retas representa a constante θ_H , ao passo que o intercepto com o eixo das abscissas indica o Ψ_b para a fração percentual considerada. Os valores médios de Ψ_b para a germinação das sementes variaram de -0,6 a -1,1 e -0,6 a -1,0 MPa, respectivamente para os potenciais preparados com PEG6000 e NaCl. Observa-se também que, o maior Ψ_b foi verificado na temperatura de 30 °C, para os dois agentes osmóticos utilizados. Os valores de θ_H para a germinação de sementes variaram de 1,9 a 3,8 e 2,3 a 2,8 MPa d⁻¹, para os potenciais preparados com PEG6000 e NaCl, respectivamente.

A temperatura de 30 °C foi aquela que proporcionou a maior tolerância de *M. urundeuva* à restrição hídrica e salinidade impostas durante a germinação das sementes ($\Psi_b = < -1,1$ MPa) e o desenvolvimento inicial das plântulas ($\Psi_b = -0,8$ MPa). A tolerância ao estresse hídrico é definida por um limite de potencial crítico abaixo do qual não ocorre germinação, sendo que cada espécie possui um limite específico (CARVALHO, 2005). Verificou-se, com os resultados deste estudo, que o limite de tolerância para a germinação e formação de plântulas de *M. urundeuva* não foi reduzido com o aumento da temperatura. Esses resultados corroboram como os encontrados em estudo com sementes de pau-de-jangada (*Apeiba tibourbou* Aubl – Fabaceae) (GUEDES et al., 2013).

Essa tendência também foi observada para a formação de plântulas. Os valores de Ψ_b variaram de -0,5 a -0,8 MPa_{PEG6000} e -0,6 a -0,8 MPa_{NaCl} quando as sementes foram submetidas às soluções com PEG6000 e NaCl, respectivamente. Assim como para a germinação, a temperatura de 30 °C induziu os maiores valores referentes às variáveis citadas. Os valores de θ_H variaram 2,7 a 5,1 e 3,5 a

5,6 MPa d⁻¹ para soluções preparadas com PEG6000 e NaCl, respectivamente. Observa-se que, para o θ_H , a temperatura de 40 °C proporcionou os valores mais altos, diferindo estatisticamente das demais temperaturas testadas (Tabela 1). Para cada combinação de temperatura e potencial osmótico na germinação das sementes, foi estimado o θ_{HT} em que é possível observar que as temperaturas de 25 e 30 °C proporcionaram um maior tempo hidrotérmico, tanto para a germinação, como para a formação de plântulas (Tabela 1).

Os resultados da tolerância das sementes de *M. urundeuva* na temperatura de 30 °C associados a diferentes potenciais osmóticos foram semelhantes tanto para soluções preparadas com PEG6000, quanto com NaCl. Nessa temperatura, observou-se uma maior tolerância hídrica para a germinação de sementes e formação de plântulas. Esses resultados diferiram dos trabalhos realizados por Dantas et al. (2019) e Oliveira et al. (2019), pois esses autores submeteram as sementes de *M. urundeuva* a diferentes potenciais osmóticos na temperatura de 25 °C, obtendo valores de Ψ_b bastante inferiores aos encontrados no presente trabalho. Esse resultado são um indicativo de que as sementes possuem uma tolerância maior ao estresse hídrico em condições de temperaturas mais elevadas, próximas àquelas encontrados em seu ambiente natural.

Tabela 1. Estimativas dos parâmetros dos modelos de tempo hídrico e tempo hidrotérmico da germinação de sementes de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) em diferentes potenciais osmóticos e temperaturas. Ψ_b corresponde ao potencial osmótico base para germinação; θ_H corresponde ao tempo hídrico; θ_{HT} corresponde ao tempo hidrotérmico.

Emissão de radícula						
Temperatura (°C)	Ψ_b (MPa)		θ_H (MPa d ⁻¹)		θ_{HT} (MPa°C d ⁻¹)	
	PEG	NaCl	PEG	NaCl	PEG	NaCl
25	-0,6 aB	-0,6 aB	1,9 aA	2,8 aA	31,9 aA	46,3 aA
30	-1,1 aA	-1,0 aA	3,8 aA	2,3 aA	61,8 aA	36,9 aA
35	-0,8 aB	-0,6 aB	2,5 aA	2,6 aA	25,9 aB	26,2 aB
40	-0,7 aB	-0,6 aB	4,4 aA	3,4 aA	22,1 aB	17,1 aB
CV (%)	32,1		42,0		46,5	
Plântulas						
Temperatura (°C)	Ψ_b (MPa)		θ_H (MPa d ⁻¹)		θ_{HT} (MPa°C d ⁻¹)	

	PEG	NaCl	PEG	NaCl	PEG	NaCl
25	-0,5 aB	-0,7 aB	2,7 aA	4,1 aA	44,4 aA	66,9 aA
30	-0,8 aA	-0,8 aA	4,3 aA	4,1 aA	70,1 aA	66,4 aA
35	-0,7 aB	-0,6 aB	3,2 aA	3,5 aA	32,1 aB	35,1 aB
40	-0,6 aB	-0,6 aB	5,1 aB	5,6 aB	25,5 aB	28,1 aB
CV (%)	20,9		26,1		35,3	

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Sckott-Knott a 5%.

O modelo do tempo hidrotérmico utilizado para as sementes de *M. urundeuva* descreveu o tempo de germinação e o percentual entre todas as temperaturas e potenciais osmóticos, nos quais a germinação poderá ocorrer. Dessa forma, os parâmetros desse modelo têm relevância fisiológica, fornecendo informações sobre como os fatores fisiológicos e ambientais interagem para regular o comportamento de germinação das sementes (BRADFORD, 2002).

CONCLUSÕES

A temperatura interferiu na resposta germinativa das sementes de *M. urundeuva* sob diferentes potenciais osmóticos;

A germinação e a formação plântulas de *M. urundeuva* foram afetados negativamente pela redução do potencial osmótico preparados com PEG6000 e NaCl;

A temperatura de 30 °C proporcionou uma maior tolerância à restrição hídrica e/ou salinidade;

A germinação de sementes de *M. urundeuva* pode ser avaliada por meio de modelos baseados no conceito de tempo hídrico e tempo hidrotérmico.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 171 15/2014; Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil (CNPq) - Código de Financiamento REF423143/2016-6; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Brasil (Embrapa) - Código de Financiamento 03.12.12.004.00.00.

REFERÊNCIAS

- ACKERLY, D. D.; DUDLEY, S. A.; SULTAN, S. E.; SCHMITT, J.; COLEMAN, J. S.; LINDER, C. R.; SANDQUIST, D. R.; GEBER, M. A.; EVANS, A. S.; DAWSON, T. E.; LECHOWICZ, M. J. The evolution of plant ecophysiological traits: recent advances and future directions: new research addresses natural selection, genetic constraints, and the adaptive evolution of plant ecophysiological traits. *BioScience*, 50, 979–995, 2000.
- ALEXANDER, H. M., WULFF, R. D. Experimental ecological genetics in *Plantago*. X. The effects of maternal temperature on seed and seedling characters in *P. lanceolata*. *The Journal of Ecology*, v. 73, p. 271–282, 1985.
- ANDRADE, M. W.; LUZ, J. M. Q.; LACERDA, A. S.; MELO, P. R. A. Micropropagação da Aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All.). *Ciência e Agrotecnologia*, v. 24, p. 174-180, 2000.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JUNIOR, W. AgroEstat – Sistema de análises estatísticas de ensaios agrônomicos [AgroEstat - analysis system for statistics of agronomic trials]. Versão 1.0. Jaboticabal, Brazil: UNESP, 2012.
- BASKIN, C. C.; BASKIN, J. M. Second Edition. Seeds: ecology, biogeography and evolution of dormancy and germination. Academic Press, San Diego, 2014.
- BATLLA, D.; BENECH-ARNOLD, R.L. The role of fluctuations in soil water content on the regulation of dormancy changes in buried seeds of *Polygonum aviculare*. *Seed Science and Research*, v. 16, p. 47-59, 2006.
- BELLO, E.; ALBUQUERQUE, M. C. F.; GUIMARÃES, S. C.; MENDONÇA, E. D. Germinação de sementes de *Amburana acreana* (Ducke) AC Sm. submetidas a diferentes condições de temperatura e de estresse hídrico. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 30 p. 16-24, 2008.
- BEWLEY, J. D.; BLACK, M. Seeds: Physiology of Development and Germination. New York: Plenum Press, 1994, 445 p.
- BORGHETTI, F.; FERREIRA A. G. Interpretação de resultados de germinação. In: FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. (Eds.), Germinação: do básico ao aplicado. Porto Alegre: Artmed, 2004, p. 209-222.
- BRADFORD, K. Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed science*, Washington, v. 50, 2002, p. 248-260.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA, SDA, 2009. 395p.
- BRILHANTE, J. C.; SILVEIRA, J. A.; ROCHA, I. M.; MORAIS, D. L.; VIÉGAS, R. A. Influência do tempo de aclimação na resposta do cajueiro à salinidade. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 11, p. 173-179, 2007.
- CARDOSO, N. S. N.; OLIVEIRA, L. M.; FERNANDEZ, L. G.; PELACANI, C. R.; SOUZA, C. L. M.; OLIVEIRA, A. R. M. F. Osmocondicionamento na germinação de sementes, crescimento inicial e conteúdo de pigmentos de *Myracrodruon urundeuva* Fr. Allemão. *Revista Brasileira de Biociências*, v. 10, p. 457-461, 2012.
- CARDOSO, V. J. M. Parâmetros termo-hídricos da germinação de sementes de *Astronium fraxinifolium* Schott e aspectos ecofisiológicos. *Heringeriana*, v. 9, p. 13-23, 2015.

CARVALHO, C. J. R. Respostas de plantas de *Schizolobium amazonicum* [*S. parahyba* var. *amazonicum*] e *Schizolobium parahyba* [*Schizolobium parahybum*] à deficiência hídrica. *Revista Árvore*, v. 29, p. 907-914, 2005.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. Sementes: ciência, tecnologia e produção. 4.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012. 590p.

CASTILLO-LORENZO, E.; PRITCHARD, H. W.; FINCH-SAVAGE, W. E.; SEAL, C. E. Comparison of seed and seedling functional traits in native *Helianthus* species and the crop *H. annuus* (sunflower). *Plant Biology*, 2018.

CÉSPEDES, B.; TORRES, I.; URBIETA, I. R.; MORENO, J. M. Effects of changes in the timing and duration of the wet season on the germination of the soil seed bank of a seederdominated Mediterranean shrubland. *Plant Ecology*, v. 213, p. 919–931, 2012.

CLAUSS, M. J.; VENABLE, D. L. Seed germination in desert annuals: an empirical test of adaptive bet hedging. *The American Naturalist*, v. 155, p. 168–186, 2000.

COCHRANE, J. A., HOYLE, G. L., YATES, C. J., WOOD, J., NICOTRA, A. B. Climate warming delays and decreases seedling emergence in a Mediterranean ecosystem. *Oikos*, v. 124, p. 150–160, 2015.

COVELL, S.; ELLIS, R. H.; ROBERTS, E. H.; SUMMERFIELD, R. J. The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes: I. A comparison of chickpea, lentil, soyabean and cowpea at constant temperatures. *Journal of Experimental*, v. 37, p. 705–715, 1986.

DANTAS, B. F.; MOURA, M. S. B.; PELACANI, C. R.; ANGELOTTI, F.; TAURA, T. A.; OLIVEIRA, G. M.; BISPO, J. S., MATIAS, J. R.; SILVA, F. F. S.; PRITCHARD, H. W.; SEAL, C. E. Rainfall, not soil temperature, will limit the seed germination of Caatinga dry forest species with climate change. *Oecologia*, 2019.

DORNBOS, D.L.; MULLEN, R.E. Influence of stress during soybean seed fill on seed weight, germination and seedling growth rate. *Canadian Journal of Plant Science*, v. 71, p. 373–383, 1991.

ELLIS, R. H.; COVELL, S.; ROBERTS, E. H.; SUMMERFIELD, R. J. The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes: II. Intraspecific variation in chickpea (*Cicer arietinum* L.) at constant temperatures. *Journal of Experimental*, v. 37, p. 1503–1515, 1986.

FANTI, S. C.; PEREZ, S. C. J. G. A. Processo germinativo de sementes de paineira sob estresses hídrico e salino. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, p. 903-909, 2004.

FAY, P. A.; SCHULTZ, M. J. Germination, survival and growth of grass and forb seedlings: effects of soil moisture variability. *Acta Oecologica*, v. 35, p. 679–684, 2009.

FERNÁNDEZ-PASCUAL, E.; SEAL, C. E.; PRITCHARD, H. W. Simulating the germination response to diurnally alternating temperatures under climate change scenarios: comparative studies on *Carex diandra* seeds. *Annals of Botany*, v. 115, p. 201–209, 2015.

FINCH-SAVAGE, W.E.; PHELPS, K. Onion (*Allium cepa* L.) seedling emergence patterns can be explained by the influence of soil temperature and water potential on seed germination. *Journal of Experimental Botany*, v. 44, p. 407-414, 1993.

FLOWERS, T. J., MUNNS, R., COLMER, T. D. Sodium chloride toxicity and the cellular basis of salt tolerance in halophytes. *Annals of Botany*, v. 115, p. 419–431, 2015.

- FRANKS, S. J.; SIM, S.; WEIS, A. E. Rapid evolution of flowering time by an annual plant in response to climate fluctuation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 104, p. 1278–1282, 2007.
- GARCIA-HUIDOBRO, J.; MONTEITH, J. L.; SQUIRE, G. R. Time, temperature and germination of pearl millet (*Pennisetum typhoides* S. & H.). *Journal of Experimental*, v. 33, p. 288–296, 1982.
- GARECA, E. E.; VANDELOOK, F.; FERNANDEZ, M.; HERMY, M.; HONNAY, O. Seed germination, hydrothermal time models and the effects of global warming on a threatened high Andean tree species. *Seed Science. Research*, v. 22, p. 287–298, 2012.
- GUEDES, R. S.; ALVES, E. U.; VIANA, J. S.; GONÇALVES, E. P.; LIMA, C. R.; SANTOS, S. R. N. Germinação e vigor de sementes de *Apeiba tibourbou* submetidas ao estresse hídrico e diferentes temperaturas. *Ciência Florestal*, v. 23, p. 45-53, 2013.
- GUMMERSON, R. J. The effect of constant temperatures and osmotic potentials on the germination of sugar beet. *Journal of Experimental*, v. 37, p. 729–741, 1986.
- GUTTERMAN, Y. Maternal effects on seeds during development. In: Fenner, M. (Ed.), *Seeds: the ecology of regeneration in plant communities*. CAB International, p. 27–59, 2000.
- IPCC. 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (eds Core Writing Team, R. K. Pachauri, L. A. Meyer), IPCC, Geneva. 151 p.
- JUMP, A. S.; PEÑUELAS, J.; RICO, L.; RAMALLO, E.; ESTIARTE, M.; MARTÍNEZ-IZQUIERDO, J. A.; LLORET, F. Simulated climate change provokes rapid genetic change in the Mediterranean shrub *Fumana thymifolia*. *Global Change Biology*, v. 14, p. 637–643, 2008.
- KIMBALL, S.; ANGERT, A. L.; HUXMAN, T. E.; VENABLE, D. L. Contemporary climate change in the Sonoran Desert favors cold-adapted species. *Global Change Biology*, v. 16, p. 1555–1565, 2010.
- LEVINE, J. M.; MCEACHERN, A. K.; COWAN, C. Rainfall effects on rare annual plants. *Journal of Ecology*, v. 96, p. 795–806, 2008.
- LLORET, F.; PEÑUELAS, J.; ESTIARTE, M. Experimental evidence of reduced diversity of seedlings due to climate modification in a Mediterranean-type community. *Global Change Biology*, v. 10, p. 248–258, 2004.
- MARCOS FILHO, J. *Fisiologia de sementes de plantas cultivadas*. Piracicaba: FEALQ, 2005. 495p.
- MENZEL, A.; SPARKS, T. H.; ESTRELLA, N.; KOCH, E.; AASA, A.; AHAS, R.; KERSTIN, A.; BISSOLLI, P.; BRASLAVSKÁ, O.; BRIEDE, A.; CHMIELEWSKI, F. M.; CREPINSEK, Z.; CURNEL, Y.; DAHL, A.; DEFILA, C.; DONNELLY, A.; FILELLA, Y.; JATCZAK, K.; MÅGE, F.; MESTRE, A.; NORDLI, O.; PEÑUELAS, J.; PIRINEN, P.; REMIŠOVÁ, V.; SCHEIFINGER, H.; STRIZ, M.; SUSNIK, A.; VLIET, A. J. H. V.; WIELGOLASKI, F.; ZACH, S.; ZUST, A. European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology*, v. 12, p. 1969–1976, 2006.
- MEYER, S. E.; MONSEN, S. B.; MCARTHUR, E. D. Germination response of *Artemisia-tridentata* (Asteraceae) to light and chill - patterns of between-population variation. *Botanical Gazette*, v.151, p. 176–183, 1990.
- OLIVEIRA, G. M.; SILVA, F. F. S.; ARAUJO, M. N.; COSTA, D. C. C.; GOMES, S. E. V.; MATIAS, J. R.; ANGELOTTI, F.; CRUZ, C. R. P.; SEAL, C. E.; DANTAS, B. F. Environmental

stress, future climate, and germination of *Myracrodruon urundeuva* seeds. Journal of Seed Science, v. 41, 2019.

ORDOÑEZ-SALANUEVA, C. A.; SEAL, C. E.; PRITCHARD, H. W.; OROZCO-SEGOVIA, A.; CANALES-MARTÍNEZ, M.; FLORES-ORTIZ, C. M. Cardinal temperatures and thermal time in *Polaskia Backeb* (Cactaceae) species: effect of projected soil temperature increase and nurse interaction on germination timing. Journal of Arid Environments, v. 115, p. 73–80, 2015.

ORRÙ, M.; MATTANA, E.; PRITCHARD, H. W.; BACCHETTA, G. Thermal thresholds as predictors of seed dormancy release and germination timing: altitude-related risks from climate warming for the wild grapevine *Vitis vinifera* subsp. *sylvestris*. Annals of Botany, v. 110, p. 1651–1660, 2012.

PEÑUELAS, J.; FILELLA, I.; ZHANG, X.; LLORENS, L.; OGAYA, R.; LLORET, F.; COMAS, P.; ESTIARTE, M.; TERRADAS, J. Complex spatiotemporal phenological shifts as a response to rainfall changes. New Phytologist, v. 161, p. 837–846, 2004.

PORTER, J.R., Rising temperatures are likely to reduce crop yields. Nature, v. 436, p. 174– 174, 2005.

REGO, S. S.; FERREIRA, M. M.; NOGUEIRA, A. C.; GROSSI, F.; SOUSA, R. K.; BRONDANI, G. E.; ARAUJO, M. A.; SILVA, A. L. L. Estresse hídrico e salino na germinação de sementes de *Anadenanthera colubrina* (Veloso) Brenan. Journal of Biotechnology and Biodiversity, v.2, n.4, p.37-42, 2011.

SEAL, C. E.; DAWS, M. I.; FLORES, J.; ORTEGA-BAES, P.; GALÍNDEZ, G.; LEÓN-LOBOS, P.; SANDOVAL, A.; CERONI STUVA, A.; RAMÍREZ BULLÓN, N.; DÁVILA-ARANDA, P.; ORDOÑEZ-SALANUEVA, C. A.; YÁÑEZ-ESPINOSA, L.; ULIAN, T.; AMOSSO, C.; ZUBANI, L.; TORRES BILBAO, A.; PRITCHARD, H. W. Thermal buffering capacity of the germination phenotype across the environmental envelope of the Cactaceae. Global Change Biology, v. 23, p. 5309–5531, 2017.

SILVA, L. M. M.; RODRIGUES, T. J. D.; AGUIAR, I. B. Efeito da luz e da temperatura na germinação de sementes de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão). Revista Árvore, v.26, p. 691-697, 2002.

SMITH, S. E., RILEY, E., TISS, J. L., FENDENHEIM, D. M. Geographical variation in predictive seedling emergence in a perennial desert grass. Journal of Ecology, v. 88, p. 139–149, 2000.

STEVENS, N.; SEAL, C. E.; ARCHIBALD, S.; BOND, W. Increasing temperatures can improve seedling establishment in arid-adapted savanna trees. Oecologia, v. 175, p. 1029–1040, 2014.

VIRGENS, I. O.; CASTRO, R. D.; FERNANDEZ, L. G.; PELACANI, C. R. Comportamento fisiológico de sementes de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. (Anacardiaceae) submetidas a fatores abióticos. Ciência florestal, v. 22, p. 681-692, 2012.

CAPÍTULO III

EFEITO DO CLIMA NA PRODUÇÃO DE SEMENTES DE *Myracrodruon urundeuva* ALLEMÃO (ANACARDIACEAE) DE ALTA QUALIDADE FISIOLÓGICA

Efeito do clima na produção de sementes de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) de alta qualidade fisiológica

Gilmara Moreira de Oliveira¹, Emanuel José Nascimento Marques², Bárbara França Dantas²

¹ Universidade do Estado da Bahia, ² Embrapa Semiárido

RESUMO

A qualidade fisiológica das sementes está frequentemente relacionada com as variações climáticas durante o seu desenvolvimento. Objetivou-se determinar a relação entre os fatores climáticos e a germinação de diferentes safras de sementes de *M. urundeuva*, assim como prever a germinação dessas sementes em cenários futuros de mudanças climáticas. Para determinar a influência das condições climáticas nas fases fenológicas de *M. urundeuva* foram utilizados os dados climáticos dos meses referentes à fase vegetativa, flores femininas e masculinas, e de frutificação. Foram utilizadas 14 safras e a germinação das sementes recém-colhidas foi realizada com 4 repetições de 50 sementes cada. Para ponderar as variáveis que mais influenciam a qualidade de sementes de *M. urundeuva*, utilizou-se correlação linear simples e o modelo de regressão linear múltipla. O modelo de calibração multivariada foi desenvolvido empregando-se a seleção prévia de variáveis pelo algoritmo das Projeções Sucessivas. A partir do modelo matemático realizou-se a previsão da germinação de sementes de *M. urundeuva* em cenários futuros de mudanças climáticas previstos pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas. Os resultados obtidos no teste de germinação mostraram haver diferenças significativas entre as safras. Por meio da correlação observou-se que a temperatura correlacionou negativamente em todas as fases fenológicas da *M. urundeuva*. Os coeficientes de regressão linear múltipla descritos na equação possibilitaram a predição da germinação. As previsões de germinação de *M. urundeuva* nos cenários RCP 2.6 e RCP 8.5 mostram uma redução da germinação baseadas na germinação das safras de 2005 a 2018. A qualidade das sementes de *M. urundeuva* produzidas está relacionada com as temperaturas máxima, média e mínima, umidades média e mínima, e com a precipitação. Em cenários futuros de mudanças climáticas, ocorrerá uma redução da qualidade fisiológica das sementes de *M. urundeuva* ocasionada por flutuações das variáveis de clima.

Palavras-chave: aroeira-do-sertão, mudanças climáticas, germinação.

Effect of climate on *Myracrodruon urundeuva* Allemão seed production of high physiological quality

ABSTRACT

The physiological quality of seeds is often related to climatic variations during their development. The objective was to determine the relationship between climatic factors and germination of different *M. urundeuva* seed harvests, as well as to predict the seeds germination in the future climate change scenarios. To determine influence of climatic conditions on the phenological phases of *M. urundeuva*, climatic data from the months of the vegetative phase, female and male flowers, and fructification were used. Fourteen harvests were used and the newly harvested seeds were germinated with four repetitions of 50 seeds each. To weight the variables that most influence the quality of *M. urundeuva* seeds, we used simple linear correlation and the multiple linear regression model. The multivariate calibration model was developed using the previous selection of variables by the Successive Projections algorithm. The mathematical model was used to predict the germination of *M. urundeuva* seeds in future climate change scenarios predicted by the Intergovernmental Panel on Climate Change. The results obtained in the germination test showed significant differences between harvests. Through the correlation it was observed that the temperature correlated negatively in all phenological phases of *M. urundeuva*. The multiple linear regression coefficients described in the equation enabled the prediction of germination. Germination predictions for *M. urundeuva* in scenarios CPR 2.6 and CPR 8.5 show a reduction in germination based on the germination of the 2005 to 2018 harvests. The quality of the *M. urundeuva* seeds produced is linked to the maximum, average and minimum temperatures, average and minimum humidity, and precipitation. In future climate change scenarios, there will be a reduction in the physiological quality of *M. urundeuva* seeds caused by fluctuations in climate variables.

Keywords: aroeira-do-sertão, climate change, germination.

INTRODUÇÃO

As condições climáticas exercem papel fundamental e estão frequentemente relacionadas à variabilidade na produção de sementes por espécies de plantas (MARCOS FILHO, 2015). Oscilações da temperatura podem inibir o crescimento das plântulas afetando todas as fases fenológicas que abrangem o crescimento e desenvolvimentos das plantas (CARVALHO et al., 2017). A temperatura, durante a produção de sementes, atua como um fator de sincronização (SCHAUBER et al., 2002), bem como um indicador para outros fatores que determinam a produção de sementes, como a umidade do solo (ABRAHAMSON e LAYNE 2003). A restrição hídrica afeta todo desenvolvimento das sementes. Quando ocorre na fase de divisões celulares, esta reduz o número de sementes produzidas por fruto e, quando na fase de transferência de assimilados, determina o decréscimo no potencial fisiológico (MARCOS FILHO, 2015).

Durante o desenvolvimento das sementes, ocorrem mudanças morfológicas, bioquímicas e fisiológicas que incluem um conjunto de etapas preparatórias para o processo de germinação, caracterizadas, essencialmente, pela síntese e acúmulo de reservas (NOGUEIRA e MEDEIROS 2007). O potencial fisiológico das sementes é representado por sua maturidade que ocorre a partir da fecundação do óvulo e termina com o acúmulo máximo de matéria seca pelas sementes (MARCOS FILHO, 2015).

Sementes com alto potencial fisiológico possuem maior velocidade no processo metabólico, proporcionando uma rápida e uniforme emissão da raiz primária no processo de germinação (MINUZZI et al., 2010). A influência das condições climáticas na produção de sementes é muito estudada para espécies agrícolas (SANTOS, 2005), porém, esses estudos são inexistentes para sementes de espécies florestais nativas da Caatinga.

O bioma Caatinga é o maior e um dos mais diversos núcleos das Florestas Tropicais Sazonalmente Secas (FTSS) com clima estacional representado por períodos de longa estiagem (OLIVEIRA-FILHO et al., 2013). A sazonalidade das chuvas é considerada um fator relevante nas variações e distribuição das populações de plantas da Caatinga (ANDRADE et al., 2009), além disso, as ações antropogênicas têm causado significativas alterações no clima (IPCC, 2014). Diversos modelos climáticos futuros aplicados por Marengo (2016) para o Nordeste brasileiro indicam que a região deve ser uma das mais afetadas pelas alterações no clima.

Dentre as espécies nativas da Caatinga, destaca-se *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) com grande importância econômica devido ao seu emprego muito difundido na construção rural, por possuir madeira resistente (LORENZI, 2010) e a utilização na farmacologia (GOMES et al., 2008). Entretanto, a exploração vem sendo feita de forma extrativista e desordenada,

com forte impacto sobre as populações naturais (MONTEIRO et al., 2005). Essa espécie possui plasticidade adaptativa, podendo ser encontrada em diferentes fitofisionomias brasileiras, desde ambientes úmidos a secos (MATIAS et al., 2017).

As interações dos diferentes componentes ambientais são responsáveis pela variabilidade na composição da vegetação e nos arranjos botânicos desses ambientes (SAMPAIO e RODAL, 2000; SILVA et al., 2000). No caso específico da Caatinga, essa grande heterogeneidade florística reflete adaptações da flora a condições locais de clima e solo (FERNANDES e QUEIROZ, 2018).

Dessa forma, foi testada a hipótese de que as condições do clima durante o desenvolvimento das espécies florestais são responsáveis pelas diferenças na qualidade fisiológica das safras de sementes produzidas. Assim, objetivou-se determinar a relação entre os fatores climáticos e a germinação de diferentes safras de sementes de *M. urundeuva*, bem como prever a germinação dessas sementes em cenários futuros de mudanças climáticas.

MATERIAL E MÉTODOS

Coleta de beneficiamento das sementes

Os diásporos de *M. urundeuva* foram colhidos diretamente das árvores matrizes localizadas em Lagoa Grande - PE (8°34'13.1"S, 40°11'02.2"W) nos anos de 2005 a 2018. O beneficiamento foi realizado através de uma pré-limpeza (retirando manualmente as alas e galhos) e, posteriormente, foram submetidos ao soprador de sementes para a separação de impurezas.

Germinação das sementes

O experimento foi conduzido no Laboratório de Análise de Sementes da Embrapa Semiárido, situado na cidade de Petrolina-PE. Foram realizados experimentos para avaliar a germinação de sementes de safras recém-colhidas de *M. urundeuva*. Foram utilizadas quatro repetições com 50 sementes cada. As sementes recém-colhidas foram semeadas em duas camadas de papel mata borrão dentro de caixas acrílicas do tipo "gerbox" (11x11x3cm) umedecidas com água destilada na proporção de 2,5 vezes o peso do papel (BRASIL, 2009). As sementes foram incubadas durante 14 dias em 12 horas de fotoperíodo, na temperatura de 25 °C (BRASIL, 2013).

Coleta dos dados climáticos

Para determinar a influência das condições climáticas das fases fenológicas de *M. urundeuva* em cada safra de produção (colheita-colheita), foram utilizados os dados climáticos dos meses referentes à fase vegetativa (novembro-maio), flores femininas (julho-agosto) e masculinas (junho-agosto) e de frutificação (setembro-outubro) (KILL et al., 2010).

Os dados climáticos, referentes aos anos de 2004 a 2018, foram coletados da Estação Agrometeorológica Automática de Bebedouro (W 40° 22' S 09° 09'), pertencente à Embrapa Semiárido, Petrolina – PE, a uma distância de 64,5 km das árvores matrizes. Foram coletados dados mensais de temperaturas média (Tmed), máxima (Tmax), e mínima (Tmin); umidades relativas média (URmed), máxima (URmax) e mínima (URmin); radiação global (RG); velocidade do vento (VV); precipitação (Prec) e evapotranspiração de referência (Eto).

A partir dos dados climáticos, foram selecionados eventos de temperatura e precipitação relacionado ao número de dias com: temperatura máxima acima de 35 °C (dTmax>35); temperatura mínima acima de 24 °C (dTmin>24); temperatura mínima acima de 20 °C (dTmin>20); temperatura média acima de 30 °C (dTmed>30); precipitação acima de 2 mm (dP>2); precipitação acima de 5 mm (dP>5); precipitação acima de 10 mm (dP>10). Além dessas variáveis, foram selecionadas semanas com precipitação abaixo de 20 mm (sP<20).

Análise dos dados obtidos

As avaliações de germinação (1 mm de raiz primária visível) foram realizadas ao final do período de embebição das sementes. Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias comparas pelo teste de Sckott-Knot ($P < 0,05$) no Software AgroEstat (BARBOSA e MALDONADO JUNIOR, 2012).

Foi realizada uma análise de correlação linear simples, em que os coeficientes de correlação de *Pearson* foram estimados entre os valores de germinação das safras de sementes com as variáveis de clima para cada fase fenológica nas quatro repetições estudadas (BARBOSA e MALDONADO JUNIOR, 2012).

A análise de regressão linear múltipla (MLR, do inglês *Multiple Linear Regression*), foi utilizada para analisar o comportamento da variável resposta (germinação) em relação às outras variáveis que são responsáveis pela variabilidade das observações (variáveis de clima). A finalidade da análise de regressão linear múltipla foi desenvolver uma equação (ou modelo matemático), afim de permitir estimar respostas de uma variável, considerando os valores de várias variáveis explicativas. O modelo matemático de uma regressão linear múltipla foi expresso por:

$$Y_j = B_0 + B_1X_{1j} + B_2X_{2j} + \dots + B_KX_{Kj} + \epsilon_j \quad (\text{equação 1})$$

Em que:

Y_j = representa a variável resposta;

X_{1j} = denotam as variáveis explicativas;

B_1 = denotam os parâmetros do modelo (ou coeficientes de regressão) a serem estimados;

ϵ_j = são os erros aleatórios do modelo suposto independente.

O parâmetro B_1 representa a variação esperada na resposta Y por unidade de variação em X_1 , quando todas as outras variáveis explicativas forem mantidas constantes (MONTGOMERY e RUNGER, 2008).

Modelo de calibração multivariada

O modelo de calibração multivariada foi desenvolvido empregando-se o método MLR com seleção prévia de variáveis. O desempenho preditivo do modelo foi avaliado na etapa de validação cruzada. Essa etapa é normalmente utilizada para avaliar a capacidade de generalização de um modelo, permitindo verificar de forma mais realista seu desempenho preditivo frente a um novo conjunto de dados.

Neste trabalho, foram selecionadas, pelo algoritmo das Projeções Sucessivas (SPA, do inglês *Successive Projections Algorithm*) (ARAÚJO et al., 2001), 10 variáveis de clima. O algoritmo SPA é um método iterativo de seleção de variáveis desenvolvido para minimizar efeitos de multicolinearidade (presença de um alto grau de correlação entre as variáveis), especificamente quando se utiliza MLR para a construção de modelos de calibração. Seu objetivo é selecionar um subconjunto representativo de variáveis espectrais cujo conteúdo de informação seja minimamente redundante.

A seleção de variáveis pelo algoritmo SPA foi realizada por meio do software MATLAB versão R2015a (Mathworks, Natick, USA) e da interface gráfica para MATLAB “SPA_GUI” (disponível em <http://www.ele.ita.br/~kawakami/spa/>). Os cálculos relacionados ao desenvolvimento do modelo de calibração multivariada foram realizados utilizando-se o software The Unscrambler X versão 10.5 (CAMO, Oslo, Noruega).

Germinação estimada para os cenários de mudanças climáticas

A partir da equação gerada (modelo matemático) realizou-se a previsão da germinação de sementes de *M. urundeuva* em cenários futuros de mudanças climáticas previstos pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas nos cenários climáticos futuros RCP 2.6 e RCP 8.5 (IPCC, 2014; PBMC, 2013). A partir das médias dos dados climáticos verificados durante os 14 anos de safras (2005 a 2018) foram estimadas as condições climáticas para cada cenário em 2100.

Esses cenários chamados RCPs (*Representative Concentration Pathways*) foram projetados de forma a acomodar uma gama de possibilidades de desenvolvimento econômico e social (TAYLOR et al., 2012; KHARIN et al., 2013). O número associado ao RCP é o valor do fluxo de calor ou radiativo ao final do século XXI em Watts/m^2 , o que equivale, respectivamente, a um nível de emissão

de CO₂ (VUUREN et al., 2011). Os impactos das emissões relativos à alteração no balanço de radiação no sistema terrestre, são representados pelo cenário mais otimista (RCP 2.6) e o mais pessimista (RCP 8.5) (IPCC, 2014).

O cenário RCP 2.6 prevê-se a manutenção, no período de 2080 a 2100, de aproximadamente 400 ppm de CO₂ na atmosfera, além de um aumento de temperatura de 1,0 °C e diminuição em 25% na precipitação. Entretanto, em um cenário RCP 8.5, estima-se que as concentrações de CO₂ fique acima de 720 ppm, ocorra um aumento da temperatura de 3,5 °C e 40% na diminuição da precipitação. A umidade relativa (UR) foi calculada para os cenários futuros de acordo com metodologia proposta por Silva et al. (2007) e Silva et al. (2009).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teste de germinação das sementes recém-colhidas de *M. urundeuva* mostraram que as safras de 2005 a 2018 possuem diferenças na qualidade fisiológica (Tabela 1). Os resultados obtidos no teste de germinação mostraram haver diferenças significativas entre as safras, classificando-as em diferentes níveis de qualidade.

Tabela 1. Média de germinação de diferentes safras de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae).

Safras de sementes	Germinação (%)
2005	79,5 b
2006	89,0 a
2007	73,0 c
2008	72,0 c
2009	64,0 c
2010	83,0 b
2011	89,0 a
2012	96,5 a
2013	82,5 b
2014	84,5 b
2015	85,0 b
2016	63,5 c
2017	68,0 c
2018	64,0 c
CV (%)	8,42

Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna, não diferem entre si pelo teste de Sckott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

As safras 2006, 2011 e 2012 possuem um maior nível de qualidade (germinação>85%). As safras 2005, 2010, 2013, 2014 e 2015 apresentaram-se em posição intermediária, com a germinação entre 75 e 85%. Por sua vez, as safras 2007, 2008, 2009, 2016, 2017 e 2018 classificaram-se em safras com menor qualidade fisiológica (germinação<75%) quando comparadas com as demais.

Os dados de clima das fases fenológicas vegetativa (vg), flores femininas (ff), masculinas (fm), e de frutificação (fr) de *M. urundeuva* foram correlacionados com a germinação de sementes recém-colhidas das 14 safras avaliadas (Tabela 2). A análise dos resultados sugere que, na fase vegetativa, as temperaturas têm uma correlação significativa e negativa com a germinação, ou seja, quanto maior a Tmed, Tmax e os eventos de dTmax>35 e dTmin>24, menor será o desempenho do crescimento vegetativo da espécie.

Na fase de formação de flores femininas, as temperaturas Tmed, Tmax continuam com correlação significativa e negativa, além da RG, Eto, dTmax>35, enquanto que a VV, Prec, dP>2 e dP>5 apresentam uma correlação significativa e positiva com a germinação nessa fase de desenvolvimento. Para as flores masculinas, a Tmed, Tmax, RG, ETo e dTmax>35 correlacionaram negativamente com a germinação, sendo que a VV proporcionou uma correlação positiva com a germinação. A produção de inflorescências da *M. urundeuva* aumenta com o incremento da precipitação, porém, elevadas temperaturas afetam a sua produção (NUNES et al., 2008).

Por fim, na frutificação, a Tmax, URmed, RG, dTmax>35 e todas as variáveis relacionadas com a precipitação (Prec, dP>2, dP>5 e dP>10) correlacionaram negativamente com a germinação, exceto sP<20 que correlacionou positivamente com a germinação de sementes (Tabela 2).

Tabela 2. Correlação da germinação de sementes de *Myracrodruon urundeuva* de diferentes safras com variáveis de clima durante as diferentes fases fenológicas da espécie.

Variáveis de clima	Fases fenológicas			
	Vegetativa	Flores femininas	Flores masculinas	Frutificação
Tmed	-0,28054^{a*} 0,0362^b	-0,4141^{**} 0,0015	-0,29860[*] 0,0254	-0,1882NS 0,1648
Tmax	-0,31543[*] 0,0179	-0,4726^{**} 0,0002	-0,4184^{**} 0,0013	-0,31310[*] 0,0188
Tmin	-0,0609NS 0,6556	-0,1897NS 0,1613	-0,0345NS 0,8005	-0,2088NS 0,1224
URmed	-0,2287NS 0,0900	-0,1944NS 0,1511	-0,2596NS 0,0534	-0,32614[*] 0,0142

URmax	-0,0566NS 0,6785	0,05641NS 0,6796	-0,0430NS 0,7531	0,02920NS 0,8308
URmin	-0,1234NS 0,3648	0,21053NS 0,1194	0,13536NS 0,3199	-0,1714NS 0,2066
RG	-0,2023NS 0,1349	-0,3877** 0,0032	-0,3757** 0,0043	-0,27513* 0,0401
VV	0,18287NS 0,1773	0,310754* 0,0198	0,276610* 0,0390	0,10104NS 0,4587
Prec	-0,0927NS 0,4970	0,38274** 0,0036	0,18796NS 0,1654	-0,4449** 0,0006
Eto	-0,1180NS 0,3866	-0,30194* 0,0237	-0,3547** 0,0073	-0,1126NS 0,4087
dTmax>35	-0,5705** < 0,0001	-0,32885* 0,0133	-0,4301** 0,0009	-0,3770** 0,0042
dTmin>24	-0,4704** 0,0003	-	-	-0,2323NS 0,0849
dTmin>20	-0,0582NS 0,6699	-0,0019NS 0,9887	-0,0129NS 0,9247	-0,1174NS 0,3890
dTmed>30	-0,5583** < 0,0001	-	-	-0,2197NS 0,1038
dP>2	-0,1144NS 0,4012	0,327558* 0,0137	0,26240NS 0,0507	-0,27397* 0,0410
dP>5	-0,1970NS 0,1457	0,299675* 0,0248	0,25065NS 0,0624	-0,28003* 0,0366
dP>10	-0,2593NS 0,0536	0,25659NS 0,0563	0,14875NS 0,2739	-0,4657** 0,0003
sP<20	0,21016NS 0,1200	0,10613NS 0,4363	-0,2130NS 0,1150	0,46566** 0,0003

^a Coeficiente de correlação; ^b probabilidade; NS correlação não significativa; * correlação significativa a 5%; correlação significativa a 1%.

A frutificação das árvores responde a estímulos ambientais como fotoperíodo, precipitação e temperatura (SPINA et al., 2001) e esses fatores afetam a formação dos frutos, a dispersão, a germinação das sementes e o estabelecimento dos indivíduos (ANTUNES e RIBEIRO, 1999). Os frutos da *M. urundeuva* desenvolvem-se nos meses com baixa precipitação e alta velocidade de vento, e essas condições climáticas são propícias à dispersão de seus propágulos, já que são dispersos pelo vento (anemocoria), facilitando uma posterior germinação e estabelecimento de plântulas na estação chuvosa (MORELLATO, 1992; NUNES et al., 2005). A frutificação dessa espécie normalmente ocorre no período onde a umidade relativa é baixa, sendo uma característica importante no processo na maturação das sementes (KILL et al., 2010).

Apesar da observação das variáveis correlacionadas à germinação das sementes de *M. urundeuva*, foi ajustado o modelo de regressão linear múltipla como ferramenta estatística para buscar

a previsão e uma variável dependente, quando esta apresenta correlação com diversas variáveis independentes.

Para elaboração da regressão foram selecionadas $T_{max\ vg}$, $T_{min\ vg}$, $Prec\ vg$, $UR_{med\ vg}$, $T_{med\ ff}$, $T_{min\ ff}$, $T_{min\ fm}$, $U_{min\ fm}$, $T_{min\ fr}$ e $Prec\ fr$ pelo algoritmo SPA. A avaliação da qualidade do modelo de regressão ajustado foi realizada pela verificação de possíveis afastamentos das suposições feitas para o modelo, bem como a existência de observações discrepantes com alguma interferência desproporcional ou inferencial nos resultados do ajuste. Na Figura 1 constata-se que não há indícios fortes de afastamentos da suposição de normalidade para os erros, ou seja, nota-se uma boa acomodação dos pontos dentro da regressão gerado para o modelo ajustado. Os valores do coeficiente de correlação do modelo ($R^2=0,80$) e da validação cruzada ($R^2=0,67$) são satisfatórios, indicando que o modelo é válido para estimar valores de germinação em cenários futuros de mudanças climáticas.

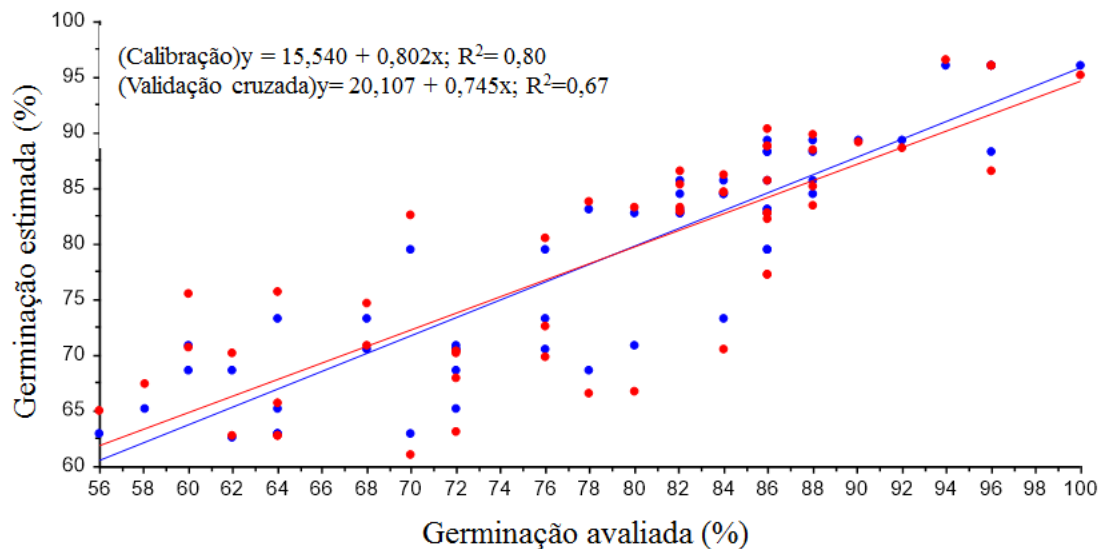


Figura 1. Relação entre os valores de porcentagem de germinação de sementes de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) avaliados (valores reais) e os valores previstos pelo modelo de calibração obtido, nas etapas de calibração (símbolos em azul) e validação cruzada (símbolos em vermelho).

O modelo matemático proposto é expresso pela equação:

$$Y = 73,590 + (-10,773 \times T_{max\ vg}) + (-1,952 \times T_{min\ vg}) + (4,75 \times 10^{-2} \times Prec_{vg}) + (-1,096 \times UR_{med\ vg}) + (29,393 \times T_{med\ ff}) + (-53,233 \times T_{min\ ff}) + (45,293 \times T_{min\ fm}) + (4,998 \times U_{min\ fm}) + (-13,673 \times T_{min\ fr}) + (-0,397 \times Prec_{fr}) \quad (\text{equação 2})$$

Em que, $T_{max\ vg}$ representa a temperatura máxima na fase vegetativa; $T_{min\ vg}$ a temperatura mínima na fase vegetativa, $Prec_{vg}$ a precipitação na fase vegetativa, $UR_{med\ vg}$ a umidade relativa na fase vegetativa, $T_{med\ ff}$ a temperatura média na fase de formação de flores femininas, $T_{min\ ff}$ a

temperatura mínima na fase de formação de flores femininas, $T_{min_{fm}}$ a temperatura mínima na fase de formação de flores masculinas, $U_{min_{fm}}$ umidade mínima na fase de formação de flores masculinas, $T_{min_{fr}}$ a temperatura mínima na frutificação e $Prec_{fr}$ a precipitação na frutificação. Os coeficientes de regressão linear múltipla descritos na equação, possibilitaram a predição da germinação em função das variáveis de clima.

Observou-se, pela equação do modelo matemático, que a temperatura obteve influência em todas as fases fenológicas de *M. urundeuva*. Na fase vegetativa (vg), além das temperaturas $T_{max_{vg}}$ e $T_{min_{vg}}$, a $UR_{med_{vg}}$ também influenciou negativamente na qualidade das safras de sementes, porém, a precipitação é uma variável de clima que influenciou positivamente nessa fase. Na fase reprodutiva, a temperatura mínima do ar ($T_{min_{ff}}$ e $T_{min_{fr}}$), assim como a precipitação possuem uma relação negativa.

As previsões de germinação de *M. urundeuva* simuladas no presente trabalho com diferentes cenários climáticos futuros para o ano de 2100 mostram uma redução da germinação nos dois cenários de mudanças climáticas baseadas na germinação das safras de 2005 a 2018 (Figura 2). Essa redução está diretamente relacionada com as variações de temperatura, precipitação e umidade que ocorrerão durante as diferentes fases fenológicas da *M. urundeuva*, influenciando diretamente a qualidade de sementes produzidas.

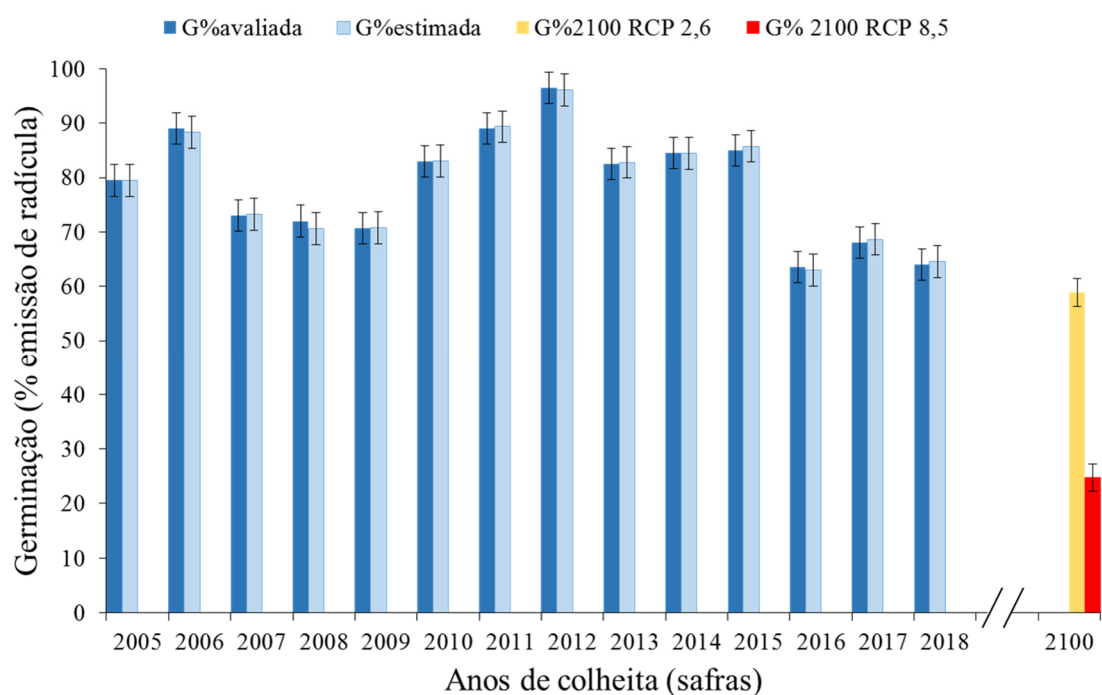


Figura 2. Germinação avaliada (real) e estimada para as safras avaliadas de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) e os cenários climáticos para 2100. Barras verticais representam o desvio padrão da média.

É provável que a seca, evento natural do clima da região em estudo, se intensifique durante os próximos anos (MARENGO et al., 2016), pois o Nordeste brasileiro encontra-se em situação de vulnerabilidade climática e os cenários globais e regionais de mudanças climáticas no futuro indicam que a região poderá ser afetada pela redução das chuvas e aumento da temperatura (VIEIRA et al. 2015).

Conforme Marengo et al. (2016), o impacto da seca no Nordeste atingiu a sua máxima intensidade durante o ano 2012-2013 e em 2015-2016, em razão da redução da precipitação, quando a seca voltou a impactar a produtividade vegetal. Esses resultados podem ser associados aos resultados encontrados no presente trabalho, em que sementes das safras 2013 e 2016 reduziram sua qualidade fisiológica em virtude das condições climáticas desfavoráveis durante o desenvolvimento das sementes (Tabela 1 e Figura 2).

A longa duração, bem como a recorrência dos períodos de baixa precipitação, umidade e elevadas temperaturas têm afetado a qualidade de sementes de *M. urundeuva*. Diante dos cenários de mudanças climáticas, mesmo aquele considerado como otimista (RCP 2.6), é notável que medidas de mitigação são necessárias, focando na redução da vulnerabilidade de *M. urundeuva*.

CONCLUSÕES

Espera-se baixa qualidade das sementes em um clima futuro (RCP 8.6) na Caatinga, para o qual se prevê aumento da temperatura de até 4,8 °C e redução de 40% no volume de chuvas até 2100.

Em cenários futuros de mudanças climáticas, ocorrerá uma redução da qualidade fisiológica das sementes de *M. urundeuva* ocasionada por flutuações das variáveis de clima.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 171 15/2014; Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil (CNPq) - Código de Financiamento REF423143/2016-6; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Brasil (Embrapa) - Código de Financiamento 03.12.12.004.00.00.

REFERÊNCIAS

- ABRAHAMSON, W. G.; LAYNE, J. N. Long-term patterns of acorn production for five oak species in xeric Florida uplands. *Ecology*, v. 84, p. 2476-2492, 2003.
- ANDRADE, M. V. M.; ANDRADE, A. P.; SILVA, D. S.; ALCÂNTARA BRUNO, R. L.; GUEDES, D. S. Levantamento florístico e estrutura fitossociológica do estrato herbáceo e subarbustivo em áreas de caatinga no Cariri paraibano. *Revista Caatinga*, v. 22, 2009.
- ARAÚJO, M. C. U.; SALDANHA, T. C. B.; GALVÃO, R. K. H.; YONEYAMA, T.; CHAME, H. C.; VISANI, V. The successive projections algorithm for variable selection in spectroscopy multicomponent analysis. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, v.57, p.65, 2001.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JUNIOR, W. AgroEstat – Sistema de análises estatísticas de ensaios agrônômicos [AgroEstat - analysis system for statistics of agronomic trials]. Versão 1.0. Jaboticabal, Brazil: UNESP, 2012.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JUNIOR, W. AgroEstat – Sistema de análises estatísticas de ensaios agrônômicos [AgroEstat - analysis system for statistics of agronomic trials]. Versão 1.0. Jaboticabal, Brazil: UNESP, 2012.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA, SDA, 2009. 395p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instruções para análise de sementes florestais. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2013. 97p.
- CARVALHO, J. N. S.; BEZERRA, J. A.; REIS, D. S.; GUIMARÃES, C. C.; SANTOS, I. E A. Simulação do efeito da variação da temperatura ambiente na germinação de variedades de milho. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v. 2, p. 266-273, 2017.
- FERNANDES, M. F.; QUEIROZ, L. P. Vegetação e flora da Caatinga. *Ciência e Cultura*, v. 70, p. 51-56, 2018.
- GOMES, E. C; BARBOSA, J; VILAR, F. C; PEREZ, J; VILAR, R; DIAS, T. Plantas da caatinga de uso terapêutico: levantamento etnobotânico. *Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia*, v. 5, 2008.
- IPCC. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (eds Core Writing Team, R. K. Pachauri, L. A. Meyer), IPCC, Geneva. 151 pp.
- KHARIN, H. V. V.; ZWIERS, F. W.; ZHANG, X; HEGERL, G. Changes in temperature and precipitation extremes in the IPCC ensemble of global coupled model simulations. *Journal of Climate*, v. 20, p. 1519-1444, 2007.
- KIILL, L. H. P.; MARTINS, C. D. V.; SILVA, P. P. Biologia reprodutiva de duas espécies de Anacardiaceae da caatinga ameaçadas de extinção. Embrapa Semiárido-Capítulo em livro científico (ALICE), 2010.

- LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 5ª ed. Nova Odessa, Instituto Plantarum, 2010, 384p.
- MARCOS FILHO, J. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. 2.ed. Piracicaba: FEALQ, 2015. 660p.
- MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; ALVES, L. M. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. *Climanálise*, v. 3, p. 1-6, 2016.
- MATIAS, R. A. M.; FERREIRA, B. S.; SOARES, T. S. Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono de indivíduos de aroeira em um fragmento de floresta estacional decidual. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*, v. 15, p. 651-657, 2017.
- MINUZZI, A.; BRACCINI, A. D. L.; RANGEL, M. A. S.; SCAPIM, C. A.; BARBOSA, M. C.; ALBRECHT, L. P. Qualidade de sementes de quatro cultivares de soja, colhidas em dois locais no Estado do Mato Grosso do Sul. Embrapa Agropecuária Oeste-Nota Técnica/Nota Científica (ALICE), 2010.
- MONTEIRO, J. M.; LINS NETO E. M. F.; AMORIM, E. L. C.; STRATTMANN, R. R.; ARAÚJO, E. L.; ALBUQUERQUE, U. P. Teor de taninos em três espécies medicinais arbóreas simpátricas da caatinga. *Revista Árvore*, v.29, p. 999-1005, 2005.
- MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- NOGUEIRA, A. C.; MEDEIROS, A. C. S. Coleta de sementes florestais nativas. Colombo: EMBRAPA. Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 2007 – (Circular técnica, 144)
- OLIVEIRA-FILHO, A. T.; CARDOSO, D.; SCHRIRE, B. D.; LEWIS, G. P.; PENNINGTON, R. T.; BRUMMER, T. J.; ROTELLA, J.; LAVIN, M. Stability structures tropical woody plant diversity more than seasonality: insights into the ecology of high legume-succulent-plant biodiversity. *South African Journal of Botany*, v. 89, p. 42-57, 2013.
- PBMC. 2013. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Sumário Executivo GT1. PBMC, Rio de Janeiro, Brasil. 24 p.
- REGO, S.S.; FERREIRA, M.M.; NOGUEIRA, A.C.; GROSSI, F. Influência de potenciais osmóticos na germinação de sementes de *Anadenanthera colubrina* (Veloso) Brenan (Angico-branco) – Mimosaceae. *Revista Brasileira de Biociências*, v.5, p.549-51, 2007.
- SAMPAIO, E.; RODAL, M. J. Fitofisionomias da caatinga. GT Estratégias para o uso sustentável da biodiversidade da caatinga. Seminário sobre Avaliação e Identificação de Ações Prioritárias para a Conservação, Utilização Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade do Bioma Caatinga. 2000. Petrolina: CPATSA/ EMBRAPA, 14p.
- SANTOS, J. W. M. C. Ritmo climático e sustentabilidade sócio-ambiental da agricultura comercial da soja no sudeste de Mato Grosso. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 17, p. 61-82, 2005.
- SCHAUBER, E. M.; KELLY D.; TURCHIN, P.; SIMON, C.; LEE, W. G.; ALLEN, R. B.; PAYTON, I. J.; WILSON, P. R.; COWAN, P. E.; BROCKIE, R. E. Masting by eighteen New Zealand plant species: the role of temperature as a synchronizing cue. *Ecology*, v. 83, p. 1214-1225, 2002.

SILVA, F. B. R.; SANTOS, J. C. P.; SOUZA NETO, N. C.; SILVA, A. B.; RICHE, G. R.; TONNEAU, J. P.; CORREIA, R. C.; BRITO, L. T. L.; SILVA, F. H. B. B.; SOUZA, L. G. M. C.; SILVA, C. P.; LEITE, A. P.; OLIVEIRA NETO, M. B. Zoneamento agroecológico do Nordeste do Brasil: diagnóstico e prognóstico. Recife: Embrapa Solos, Petrolina: Embrapa Semiárido, 2000.

SILVA, T. G. F.; ZOLNIER, S.; MOURA, M. S. B.; SEDIYAMA, G. C. Estimativa e espacialização da umidade relativa do ar para os estados de Alagoas, Bahia e Sergipe1. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 15, p. 1-11, 2007.

SILVA, T. G.; MOURA, M. S.; SÁ, I. I.; ZOLNIER, S.; TURCO, S. H.; JUSTINO, F.; CARMO, J. F. A.; SOUZA, L. S. Impactos das mudanças climáticas na produção leiteira do Estado de Pernambuco: análise para os cenários B2 e A2 do IPCC. Embrapa Semiárido-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2009.

TAYLOR, K. E.; STOUFFER, R. J.; MEEHL, G. A. An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 93, p. 485-498, Apr. 2012.

VUUREN, D. P.; EDMONDS, J.; KAINUMA, M.; RIAHI, K.; THOMSON, A.; HIBBARD, K.; ROSE, S. K. The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, v. 109, p. 5-31, 2011.

TERBORGH, J. Diversity and the tropicalrain forest. New York: Scientific AmericanLibrary, 1992. 242p.

NUNES, Y. R F. FAGUNDES, M.; ALMEIDA, H. D. S.; VELOSO, M. D. D. M. Aspectos ecológicos da aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão-Anacardiaceae): fenologia e germinação de sementes. *Revista Árvore*, v. 32, 2008.

SPINA, A. P.; FERREIRA, W. M.; LEITÃO FILHO, H. F. Floração, frutificação e síndromes dedispersão de uma comunidade de floresta de brejona região de Campinas (SP). *Acta BotanicaBrasilica*, v.15, p.349-368, 2001.

ANTUNES, N. B.; RIBEIRO, J. F. Aspectos fenológicosde seis espécies vegetais em Matas de Galeria doDistrito Federal. *Pesquisa AgropecuáriaBrasileira*, v.34, p.1517-1527, 1999.

MORELLATO, L. P. C. Sazonalidade e dinâmica deecossistemas florestais de uma área florestal nosudeste do Brasil. In: MORELLATO, L. P. C. (Org). *História natural da Serra doJapi: ecologia e preservação de uma área florestal no sudeste do Brasil*. Campinas: Universidade de Campinas, 1992. p. 98-110

Vieira RMSP, Tomasella J, Alvala RCS, Sestini MF, Affonso AG, Rodriguez DA, Barbosa AA, Cunha APMA,

VALLES G. F.; CREPANIE.; OLIVEIRA, S. B. P.; SOUZA M. S. B.; CALIL, P. M.; CARVALHO, M. A.; VALERIANO, D. M.; CAMPELLO, F. C. B.; SANTANA, M. O. Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian northeast. *Solid Earth*, V. 6, p. 347-360, 2015.

ANEXOS

Anexo A. Journal of Seed Science, v.41, n.1, p.032-043, 2019 <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v41n1191945>

Environmental stress, future climate, and germination of *Myracrodruon urundeuva* seeds¹

Gilmara Moreira de Oliveira², Fabricio Francisco Santos da Silva²,
Marcelo do Nascimento Araujo³, Danielle Carolina Campos da Costa⁴,
Samara Elizabeth Vieira Gomes⁴, Janete Rodrigues Matias⁵, Francislene Angelotti⁶,
Claudineia Regina Pelacani Cruz², Charlotte E. Seal⁷, Bárbara França Dantas^{6*}

ABSTRACT – *Myracrodruon urundeuva*, a native species from the Brazilian *Caatinga*, is widely distributed across its endemic region, where it also plays an essential socioeconomic role. The objective of this study was to evaluate the influence of environmental stress on the germination of *M. urundeuva* seeds harvested in different years (2010 to 2013). Seeds were germinated at constant temperatures between 10 to 40 °C, osmotic potentials from 0 to -0.8 MPa (in polyethylene glycol 6000 solutions), and from 0 to -0.5 MPa (in NaCl solutions). The experiment was conducted according to a completely randomized design, with three replicates of 50 seeds, in a factorial scheme (harvest year x stress intensity) for each environmental stress. Germination data were then analysed using thermal, hydro and halo time models, and future germination responses projected according to climate change scenarios. The germination thermal thresholds ranged from 7.4 to 53.3 °C. The germination base osmotic threshold (using polyethylene glycol) was -0.6 MPa and the base osmotic threshold in NaCl was -0.43MPa. Seeds from different harvest years showed distinct tolerance to environmental stresses. The thermal, hydro and halo-time models were efficient to describe the germinative response of seeds, and the climate models allowed to identify the germination responses of *M. urundeuva* in future climate. According to the models for future climate (RCP 8.5), the reduction of rainfall by 2100 will directly affect seed germination and seedling recruitment of *M. urundeuva*.

Index terms: *Caatinga*, forest seeds, osmotic potential, temperature.

Estresses ambientais, clima futuro e germinação de sementes de *Myracrodruon urundeuva*

RESUMO – *Myracrodruon urundeuva*, espécie nativa da *Caatinga* e de ampla distribuição geográfica, apresenta relevante valor socioeconômico. Objetivou-se avaliar a influência de estresses ambientais sobre a germinação de lotes de diferentes safras de *M. urundeuva*. Foram testadas as temperaturas constantes de 10 a 40 °C e potenciais osmóticos de 0 a -0,8 MPa (usando-se polietileno glicol 6000) e de 0 a -0,5 MPa (usando-se soluções de NaCl). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com três repetições de 50 sementes em esquema fatorial (safras x intensidade do estresse) para cada estresse abiótico. Os dados de germinação foram então analisados utilizando modelos de tempo térmico, hídrico, hálco (salino), projetando respostas de germinação em cenários climáticos futuros. Os limites térmicos para a germinação das sementes variaram entre 7,4 e 53,3 °C. O limite osmótico base para germinação de sementes em polietileno glicol foi de -0,6 MPa e em NaCl foi de -0,43 MPa. Segundo modelos de cenários futuros de mudanças climáticas, a redução de semanas com precipitação mínima afetará diretamente a germinação de sementes e o recrutamento de plântulas de *M. urundeuva*. Assim, conclui-se que sementes de *M. urundeuva* foram tolerantes aos estresses abióticos. Os modelos de tempo térmico, hídrico e hálco foram eficientes para descrever a resposta foram eficientes para descrever a resposta germinativa de sementes, e os modelos climáticos permitiram identificar as respostas germinativas de *M. urundeuva* em cenários futuros de mudanças climáticas. De acordo com os modelos para clima futuro (RCP 8.5), a redução da precipitação até 2100 afetará diretamente a germinação de sementes e recrutamento de plântulas de *M. urundeuva*.

Termos para indexação: *Caatinga*, sementes florestais, potencial osmótico, temperatura.

¹Submitted on 02/22/2018. Accepted for publication on 10/02/2018.

²Departamento de Biologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, 44036-900 – Feira de Santana, BA, Brasil.

³Faculdade Uninassau, 56308-210 – Petrolina, PE, Brasil.

⁴Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais, Universidade do Estado da Bahia, 48.900-000 – Juazeiro, BA, Brasil.

⁵Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal Rural do Semiárido, 59.625-900 – Mossoró, RN, Brasil.

⁶Embrapa Semiárido, LASESA, 56302-970 – Petrolina, PE, Brasil.

⁷Department of Comparative Plant and Fungal Biology, Royal Botanic Gardens Kew, Wakehurst, West Sussex, UK. *Corresponding author <barbara.dantas@embrapa.br>

Introduction

Climate projections published in the Fifth Assessment Report by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) indicate increasing emission of greenhouse gases (GHG) as the primary cause for temperature changes. As an outcome, future climate scenarios include a increase of the average global temperature and a decrease in the precipitation levels (IPCC, 2014), which can alter the salinity of the soil (Knowles and Cayan, 2002; Gondim et al., 2010). In some areas more susceptible to the risks imposed by climate alterations, such as the *Caatinga* biome in Brazil's Northeastern region, the aridity may be intensified, which might even lead to desertification (Marengo et al., 2016) and increased soil salinity.

Climate change may have important consequences to all stages of plant development, from seed germination to growth and establishment of species (Maraghni et al., 2010). Germination is an ecophysiological process fundamental to plant diversity (Bewley et al., 2013), which depends on the environmental conditions to which seeds are subjected to. Thus, the capacity of seeds for germinating in a broad variety of conditions assures the survival and regeneration of species (Vivian et al., 2008).

The knowledge of the environmental conditions which interfere in production and germination of seeds is fundamental. Temperature influences germination by affecting the speed of water imbibition, and also on biochemical and enzymatic reactions ruling the entire process (Flores et al., 2014). Changes in the environmental temperature may also affect the permeability of membranes (Maraghni et al., 2010). Thus, germination only occurs within certain species-specific temperature limits (Bewley et al., 2013).

The germinative process depends on the availability of water and its movement through the tissues surrounding the seed. In this sense, the excess of salt in the substrate affects the availability of water to seeds, by inhibiting or slowing down its absorption (Chaves et al., 2009). Besides, the buildup of Na⁺ and Cl⁻ ions causes ruptures in seed tegument layers and has a toxic effect, which might lead to the death of seeds (Freitas et al., 2013). In the field, such conditions are naturally induced by low precipitation levels, soil salinization, and high temperatures, phenomena that can compromise the germination, initial development, and recruitment of plants, even of those that are well-adapted to hot-dry climates.

Myracrodruon urundeuva Allemão (Anacardiaceae), known as *aroeira-do-sertão*, is a species widely spread throughout the Brazilian territory, which also plays an essential socioeconomic role. Its bark is rich in phenolic compounds with cicatrizing and anti-inflammatory properties (Carlini et al., 2010). Also, its wood has considerable mechanical

resistance and does not putrefy easily, thus being largely used in construction and furniture. However, since its use is mostly connected to uncontrolled exploitation, its survival is critically under threat (CNCFlora, 2012).

Some studies have been conducted to better understand the germination behavior of *M. urundeuva* exposed to different environmental factors (Virgens et al., 2012; Guedes et al., 2011). However, there are no studies that predict germination in future climate scenarios, simultaneously considering seed lots obtained from different harvests, of varying physiological quality, and the response to alterations in temperature and water availability. This information is essential to appraise the adaptation capacity of this species (Seal et al., 2017).

The primary objective of this work was to evaluate the influence of environmental conditions on the germination of different lots of *M. urundeuva*. Thus, different temperatures (simulating thermal stress) and osmotic potentials, obtained with polyethylene glycol – PEG (simulating drought stress) and NaCl (simulating salt stress), were assessed. The hypothesis tested was that seeds with different physiological qualities respond differently to these environmental stresses. Besides that, thermal and osmotic limits were determined, based on thermal time, hydrotime and halotime models (Bradford, 2002; Seal et al., 2018). The goal was to evaluate the efficiency of those models and describe the germinative behavior of *M. urundeuva* seeds in adverse conditions. Lastly, current climate data and projections were used to predict how these seeds might germinate in future climate scenarios.

Material and Methods

Harvest and seed processing

Diaspores of *M. urundeuva* were collected directly from mother-plants in a partially human-degraded *Caatinga* area at the municipality of *Lagoa Grande*, Brazilian state of *Pernambuco* (8°34'13.1"S, 40°11'02.2"W). The harvests occurred between August and September of 2010, 2011, 2012, and 2013, from the same population. Seed processing included a manual pre-cleaning, in which diaspores had the wings detached, and branches were removed. Then, a seed blower was used to clean off any remaining dirt (Matias et al., 2014). The diaspores were packed in cloth bags (permeable) and placed inside a cold chamber (T=10 °C, RH=45%), where they remained until January 2014. The water content of *M. urundeuva* seed lots at the beginning of the germination experiments was of 9.47; 9.36; 10.02; and 10.04% for the lots harvested in 2010, 2011, 2012, and 2013, respectively (Brasil, 2009).

Previous and future climate data

Monthly data on air temperature and precipitation of the different harvests were gathered at the Automated Agro-meteorological Station of *Bebedouro*, at *Embrapa Semiárido*, based in *Petrolina*, state of Pernambuco (09°09' S, 40°22'W) within a distance of 64.5 km from the mother-trees (Figure 1). Historical average data (from 1970 to 2017), concerning the Meteorological Field Station of *Caatinga* and obtained by the Agro-meteorology Laboratory at *Embrapa Semiárido* (09°13'S, 40°29'W), were also used. The RCP 8.5 scenario was taken as a forecast, giving an average temperature rise of 3.5 °C (IPCC, 2014) and a precipitation reduction of 40% (PBMC, 2013) until 2100.

Germination of seeds at different temperatures and osmotic potentials

Prior to the germination experiments, the diaspores were submerged in neutral detergent for five minutes. Then, the seeds were extracted by manually removing the exocarp and mesocarp of the diaspores under running water, with the aid of a steel sieve. Next, the seeds were superficially disinfested by immersion in a commercial chlorine solution (bleach) for three minutes, and then they were treated with the fungicide Captan® (3 mL L⁻¹) for another three minutes.

The experimental design was completely randomized,

and three replicates of 50 seeds were used in every trial assessing the influence of environmental conditions on the germination of *M. urundeuva*. To evaluate the effect of temperature, a 7x4 factorial scheme was employed, which corresponded to seven constant temperatures (10, 15, 20, 25, 30, 35, and 40 °C) and the seed lots from four harvest-years (2010, 2011, 2012, and 2013). The effect of drought was analyzed using an 6x4 factorial scheme, with six osmotic potentials (0, -0.2, -0.4, -0.6, -0.7 e -0.8 MPa) using aqueous solutions of polyethylene glycol- PEG 6000 and the four seed lots. The effect of salinity was analyzed by using an 8x4 factorial scheme, with eight osmotic potentials obtained from NaCl solutions (0, -0.072, -0.144, -0.216, -0.288, -0.360, -0.432, and -0.504 MPa) and the four seed lots.

Myracrodruon urundeuva seeds from different lots were sown in acrylic boxes (dimensioned 11 x 11 x 3.5 cm), containing two blotting paper sheets as substrate. They had been moistened with distilled water or one of the solutions (NaCl or PEG6000) mentioned above, in a proportion of 2.5 times the dry paper weight (Brasil, 2009). Next, the seeds were incubated for 14 days, in a 12 h photoperiod, at constant temperatures of 10 to 40 °C (temperature effect) or 25 °C (osmotic or salinity effect). Germination was, considered as 1 mm of primary root visible, and was evaluated 12 h after setting the experiment,

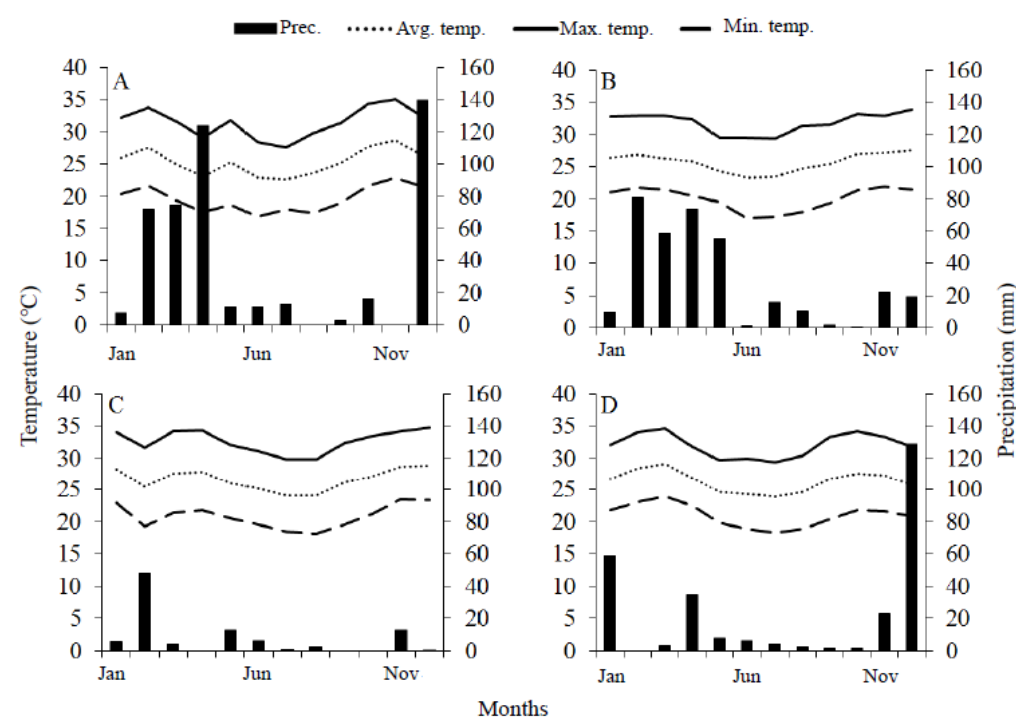


Figure 1. Total precipitation (prec) and average, maximum and minimum air (Avg. temp., Max. temp. and Min. temp., respectively) in 2010 (A), 2011 (B), 2012 (C), and 2013 (D), in the city of *Petrolina* – PE.

and then at every hour until its stabilization.

The physiological quality of the seeds was appraised by the final germination percentage (G%) after 14 days (Brasil, 2013) and by the germination speed index (GSI) (Maguire, 1962). The data were subject to analysis of variance with the software *Assistat*, and then submitted to regression analysis (Silva and Azevedo, 2016).

Obtaining thermal time and hydrotime of seeds

The cumulative germination was plotted as a function of time for each temperature, and then fitted to sigmoidal Boltzmann curves. The germination rate (GR) was calculated as a reciprocal function of the time necessary to reach 50% germination ($1/t_{50}$) (Covell et al., 1986). By knowing the GR values associated with each temperature, linear regression analysis was performed. They allowed the calculation of the interception on the x-axis, at the sub- and supra-optimum temperature ranges, generating estimates for the base temperature (T_b) and ceiling temperature (T_c). Below and above these values, respectively, the GR is equal to zero (Covell et al., 1986; Ellis et al., 1986). The interception between the two regression lines at the sub- and supra-temperatures was used to estimate the optimum temperature (T_o) (Hardegree, 2006).

The thermal time of the population that germinated at sub-optimum temperatures (θ_{Tsub}) and that of the population that germinated at supra-optimum (θ_{Tsupra}) temperatures were estimated using the following equations:

$$\theta_{Tsub} = (T - T_b) t \quad (\text{equation 1})$$

$$\theta_{Tsupra} = (T_c - T) t \quad (\text{equation 2})$$

Where T is the germination temperature; T_b is the base temperature; T_c is the ceiling temperature; and t is the time since the imbibition started (Covell et al., 1986).

The germination percentages corresponding to each osmotic potential (ψ) studied were graphically represented as a function of time. Then, a regression analysis was conducted, as above mentioned, to determine the interception on the x-axis, producing estimates of the base osmotic potential (ψ_b), below which the GR is null (Gummerson, 1986). Germination responses concerning the osmotic potential were also described according to the hydrotime (θ_H) or halotime (θ_{HNaCl}) scale, which was calculated for each osmotic and salt treatment as follows (Gummerson, 1986; Bradford, 2002; Seal et al., 2018):

$$\theta_H \text{ or } \theta_{HNaCl} = (\psi - \psi_b) t \quad (\text{equation 3})$$

Where ψ is the osmotic potential; ψ_b is the osmotic base potential; and t is the time since imbibition started.

Germination prediction for current and future climate

Previous climate data and the future RCP 8.5 scenario (IPCC, 2014) were used to calculate the environmental thermal sum and to predict seed germination, by using the parameters T_b , T_c , T_o , θ_T , ψ_b , and θ_H .

The heat sum was calculated weekly (as long as the precipitation of the week in analysis had reached a minimum level of 20 mm (Santos et al., 2011); according to the following equation:

$$\text{Heat sum} = (T_m - T_b) / t \text{ (} ^\circ\text{Cd}^{-1} \text{)} \quad (\text{equation 4})$$

Where T_m is the average week temperature; T_b is the base temperature, below which germination does not occur; and t is the number of days until reaching the thermal time for germination (θ_T).

Results and Discussion

Effects of the environmental stress on germination

All seed lots of *M. urundeuva* (2010, 2011, 2012, and 2013) showed germination rates above 70%, by the end of 14 days (336 h) of evaluations at temperatures between 20 to 35 °C (Figures 2, and 3A). In addition, the beginning of germination was earlier at temperatures from 25 °C to 35 °C. At this range, 24 h (lots 2010, 2011, and 2013) to 28 h (lot 2012) of imbibition were necessary for germination (Figure 2), and the maximum GSI value was obtained (Figure 3B). Seeds of the 2013 lot were more tolerant to high temperature, with a 40% germination rate, even when subjected to 40 °C. Such an outcome contrasts with the other lots, whose germination remained below 10% (Figures 2, and 3A). On the other hand, by the end of the evaluation period, the lots harvested in 2010 and 2013 showed germination values of 10 and 11%, respectively, when incubated at 10 °C (Figures 2, 3A).

The germination rate (GR) has commonly been used to obtain the germination limits of seeds of several species (Covell et al., 1986; Bradford, 2002; Arana et al., 2016; Seal et al., 2017, 2018; Castillo-Lorenzo et al., 2019) due to its linear relation with temperature (Covell et al., 1986). On account of that, the temperature limits, as well as the sub- and supra-optimum thermal times (Figure 4) could be calculated for germination of *M. urundeuva* seeds. All seed lots germinated at a wide thermal range, with base temperature (T_b) below 10 °C, except for the 2011 lot (10.3 °C). The values of ceiling temperature (T_c) of all seed lots studied were above 40 °C (Figure 4). About 5% germination of the 2010 seed occurred at 10 and 40 °C (Figure 3A), showing tolerance to a broader temperature range (7.4-50.7 °C) than the other lots (Figure 4), even after four years of storage.

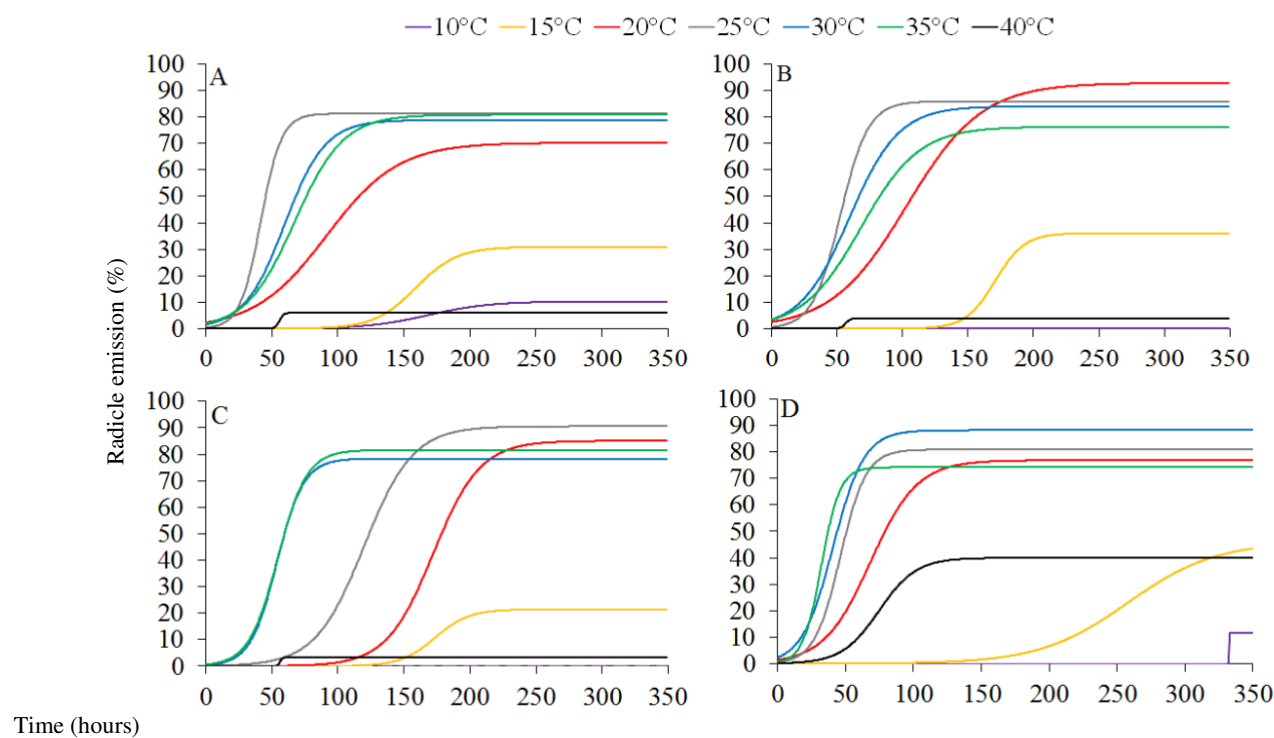


Figure 2. Germination curves (radicle emission percentage) of *Myracrodruon urundeuva* harvested in 2010 (A), 2011 (B), 2012 (C), and 2013 (D), after non-linear fitting, according to the Boltzmann sigmoidal model, as a function of different temperatures.

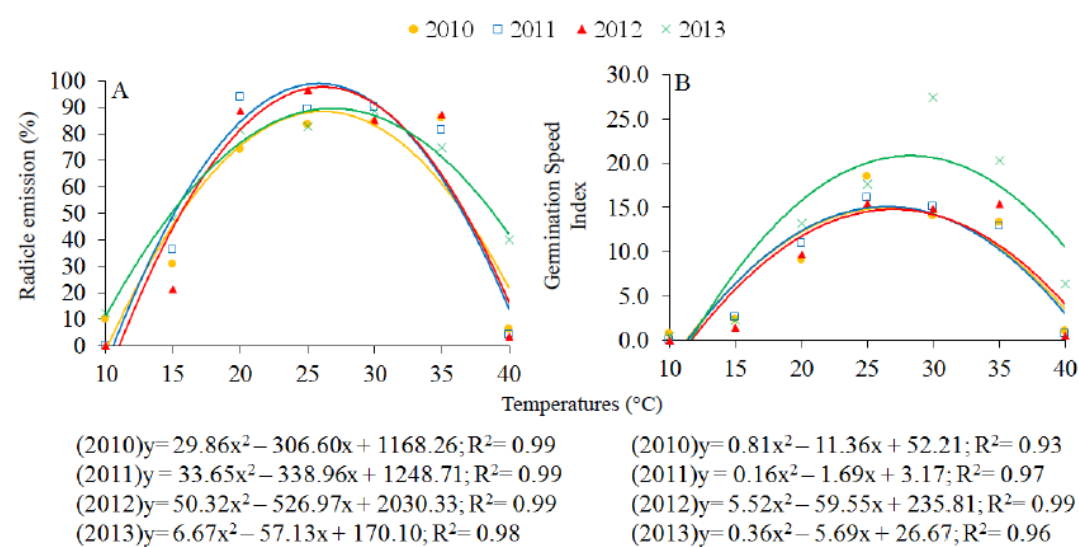


Figure 3. Germination (A) and average speed index (B) of *Myracrodruon urundeuva* seeds from different lots subjected to different temperatures

Fresh seeds of *M. urundeuva* collected in 2007 from the same population, exhibited maximum germination at 25 °C, and no germination at 40 °C (Virgens et al., 2012), while the

seeds from all lots collected between 2010 and 2013 showed some germination at 40 °C, and optimum temperature (T_o) varied between 26.6 to 34.7 °C (Figure 3)

These results indicate that lots from different harvests can respond differently to environmental conditions during the germination stage.

The adequate temperatures to evaluate *M. urundeuva* seeds are known to be 25 °C or 20-30 °C, based on seeds harvested from regions with milder temperatures than those studied in

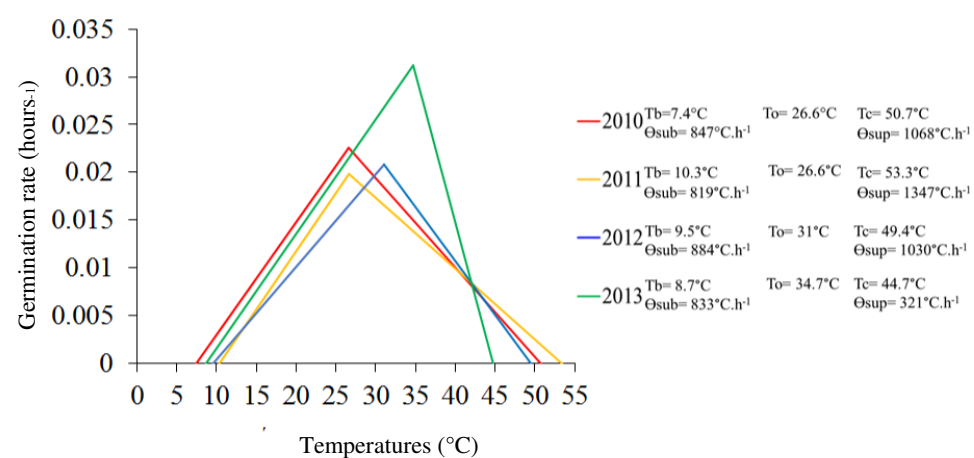


Figure 4. Germination rate (GR), thermal limits and requirements of *Myracrodruon urundeuva* seeds harvested in 2010, 2011, 2012, and 2013, and subjected to different temperatures. T_b and T_c correspond to base and ceiling temperatures for germination, respectively (the point on which the regression curves intercept the x-axis); T_o is the optimum temperature; θ_{sub} and θ_{supra} correspond respectively to the thermal time of the sub- and supra-optimum temperature ranges, obtained by the reciprocal function of the regression curve angle.

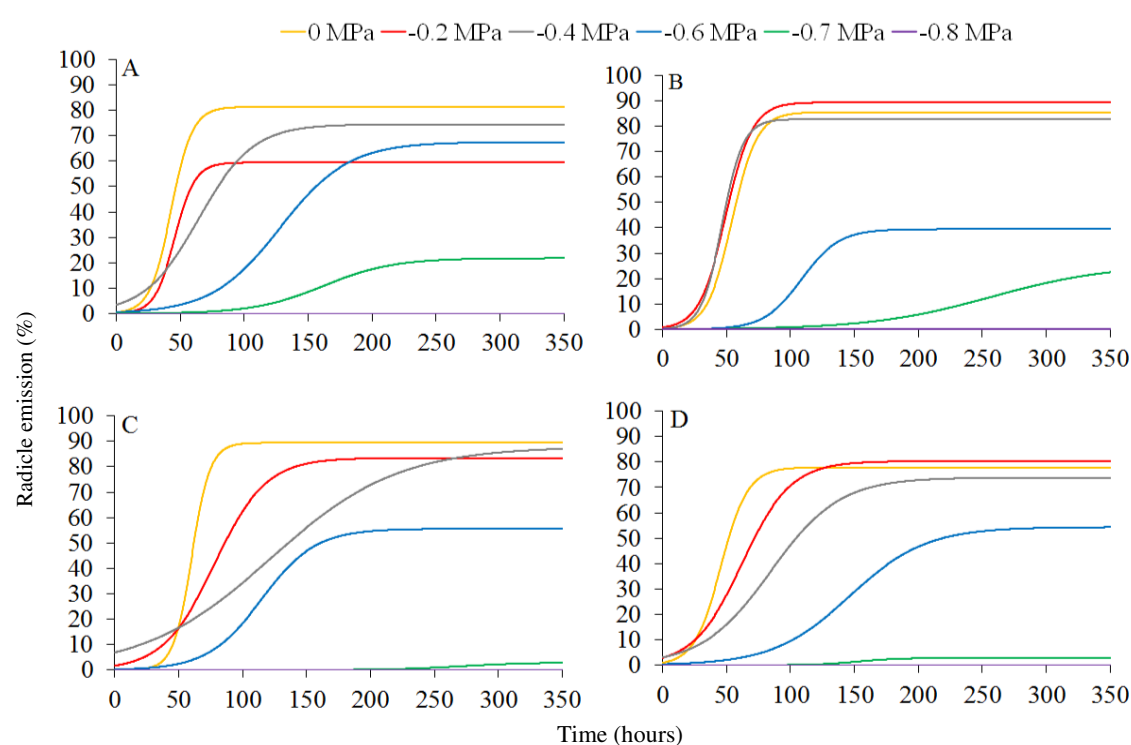


Figure 5. Cumulative germination of *Myracrodruon urundeuva* seeds harvested in 2010 (A), 2011 (B), 2012 (C), and 2013 (D), and fitted according to the Boltzmann sigmoidal model, as a function of different osmotic potentials produced from polyethylene glycol 6000.

this work (Brasil, 2013). Such a difference indicates that the surrounding conditions where the mother-plants are found can affect seeds responses to the environment (Bewley et al., 2013). Germination in all *M. urundeuva* seed lots was gradually reduced as the osmotic potential increased (Figures 5, 6). Seeds of the 2012 lot started to germinate after 28 h imbibition; while in those of 2011, 2012, and 2013 lots, the process only began after 40 h of imbibition (Figure 5). By the end of the evaluation period, the maximum germination was verified in all lots when seeds were submitted to up to -0.4 MPa. At -0.6 MPa, seeds of 2010 lot still germinated above 60% (Figure 6), but at -0.8

MPa, seeds of all lots failed to germinate. Other *Caatinga*-native species, such as *Zizyphus joazeiro* (Lima and Torres, 2009), *Mimosa ophthalmocentra* (Nogueira et al., 2017), *Cenostigma pyramidale* (sin. *Poincianella pyramidalis*), and *Anadenanthera colubrina* (Santos et al., 2016) showed the same behavior regarding water restriction.

The inclination of the regression curves for germination rate showed that the 2010 lot was the most vigorous and tolerant to water restrictions, reaching a base water potential (ψ_b) of -1.1 MPa (Figure 7). Seed vigour can be accounted for such a tolerance to negative osmotic potentials, since

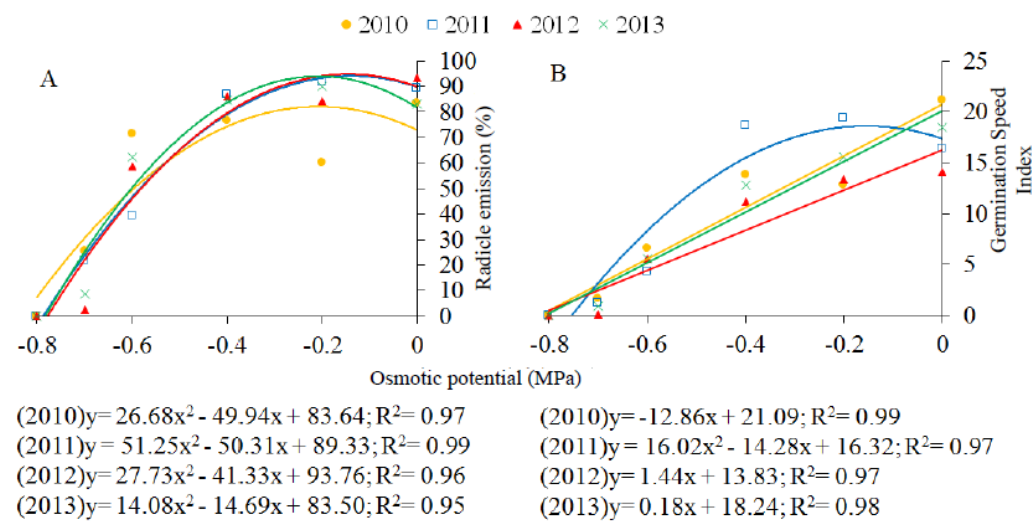


Figure 6. Germination (A) and germination speed index (B) of *Myracrodruon urundeuva* seeds subjected to water stress by different PEG-6000 osmotic potentials.

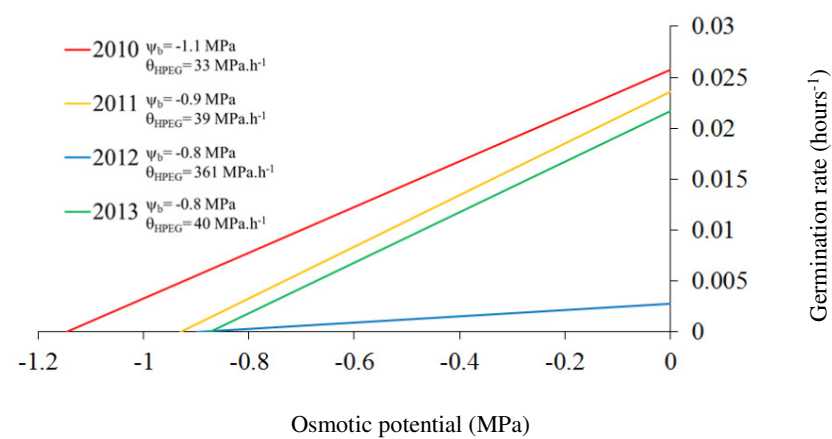


Figure 7. Germination rate, osmotic limits and requirements of *Myracrodruon urundeuva* seeds harvested in different years and subjected to different osmotic potentials produced from PEG-6000 solutions. ψ_b corresponds to the osmotic base potential for germination (the point on which the regression curves intercept the x-axis); θ_{HPEG} corresponds to the hydrotime, obtained by the reciprocal function of the regression curve angle.

2010 had higher rainfall volume than other harvests, during sprouting (October to June) and flowering of male and female individuals (June to September and July to August, respectively) (Kiill et al., 2010) producing bigger and more vigorous seeds. Studies on the phenophases of *M. urundeuva* in a semi-arid environment verified that fruitification occurs from August to November (Nunes et al., 2008). Variations in the precipitation levels were observed between different seed harvests (Figure 1), which affected the levels of activity and intensity of each phenophase. Water availability patterns during the phenophases, mostly during flowering and fruitification, is probably the main factor ruling plant reproduction in tropical regions, especially in dry tropical forests (Griz and Machado, 2001).

Seeds of the 2010, 2011, and 2013 harvests showed a germination rate relatively higher than those of the 2012 lot when there was no water restriction involved. Also, even though seeds harvested from 2011-2013 exhibited similar ψ_b (-0.8 to -0.9 MPa), the hydrotime (θ_{HPEG}) proved that 2012 seeds required more time to conclude their germination in water restriction. This response is in agreement with the low vigor of the lot, which, in its turn, might be linked to an unusually severe drought, with 65% less rainfall than the historical average

(Souza et al., 2017; Salimon and Anderson, 2018), mainly during the flowering season (Figure 1).

As for the effect of salinity on *M. urundeuva* seeds, in general, treatments with osmotic potential above -0.216 MPa commenced germination more quickly when compared to the other osmotic potentials tested (Figure 8). The maximum germination, by the end of 14 days (336 h) evaluation, was verified in seeds of all lots at osmotic potential above -0.072 MPa. Below -0.144 MPa, as the NaCl concentration increased, the germination percentage reduced significantly and gradually until its total inhibition at -0.504 MPa (Figure 9A). The germination speed index (GSI) of seeds of all lots showed higher values when in distilled water, rather than in the other treatments (Figure 9B). This is likely to be the consequence of both ionic toxicity and osmotic stress that can delay germination by affecting physiological and metabolic phenomena in the embryonic tissues (Voigt et al., 2009).

The models generated from *M. urundeuva* germination rates at different NaCl concentrations indicated that the 2010, 2011, and 2012 lots were more tolerant to salinity than the 2013 lot (Figure 10). The base osmotic potential (ψ_b) presented values between -0.5 to -0.7 MPa for the saline solutions assessed (Figure 10). Also, the reduction in osmotic

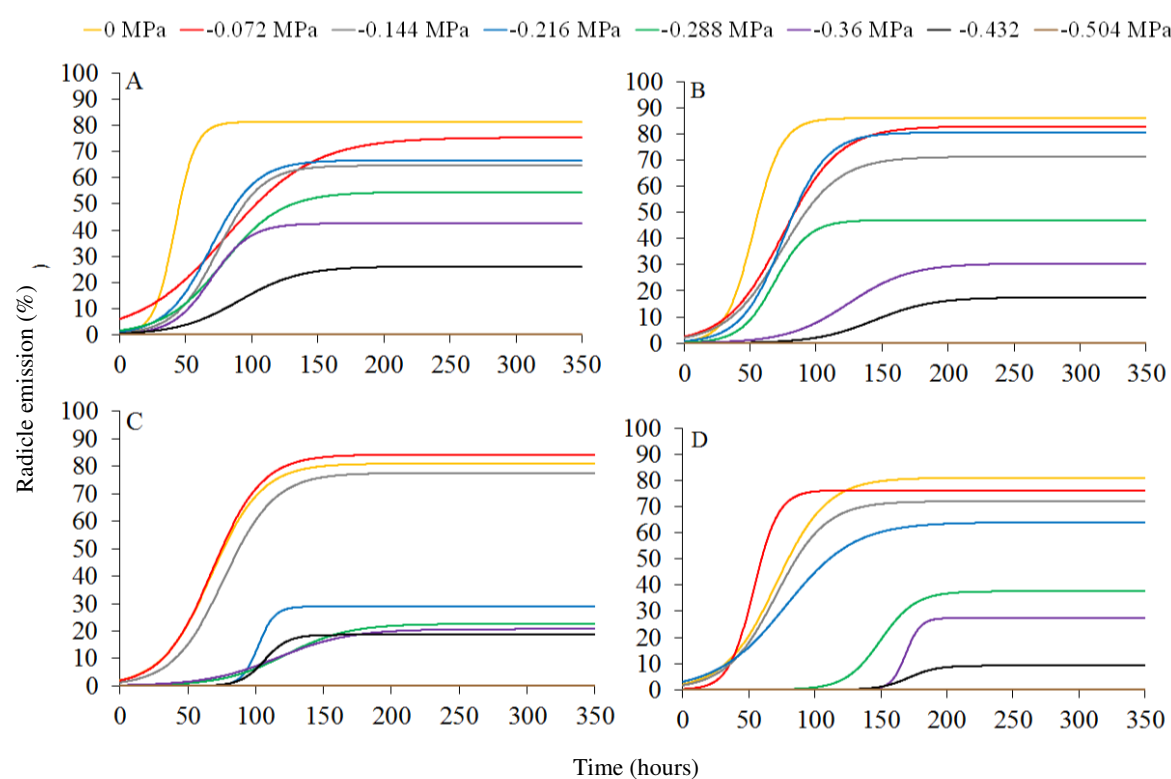


Figure 8. Cumulative germination of *Myracrodruon urundeuva* seeds harvested in 2010 (A), 2011 (B), 2012 (C), and 2013 (D), and fitted according to the Boltzmann sigmoidal model, as a function of different osmotic potentials obtained with NaCl.

potential induced by NaCl had a more detrimental effect on the germination rate than that produced by PEG6000 (Figures 8 and 10). This fact might be the outcome of the Na^+ buildup, which alters the ionic equilibrium and the availability of mineral nutrients, thus decreasing the cellular division and embryonic development (Moss and Hoffman, 1977). The values of halo-time (θ_{HNaCl}) were also different among the studied lots, and the 2012 lot required more time to complete germination in saline conditions (Figure 10).

The ability to germinate under extreme conditions allows the geographical and temporal distribution of a species, therefore optimizing its survival (Oliveira et al., 2017). So, the success of a species in heterogeneous environments relies on its plasticity (Lima et al., 2010). This capacity was evidenced in the present study by evaluating lots of *M. urundeuva* at different environmental conditions. The responses displayed by this species are associated with its diverse strategies to adapt to its surroundings (Guedes et al., 2013).

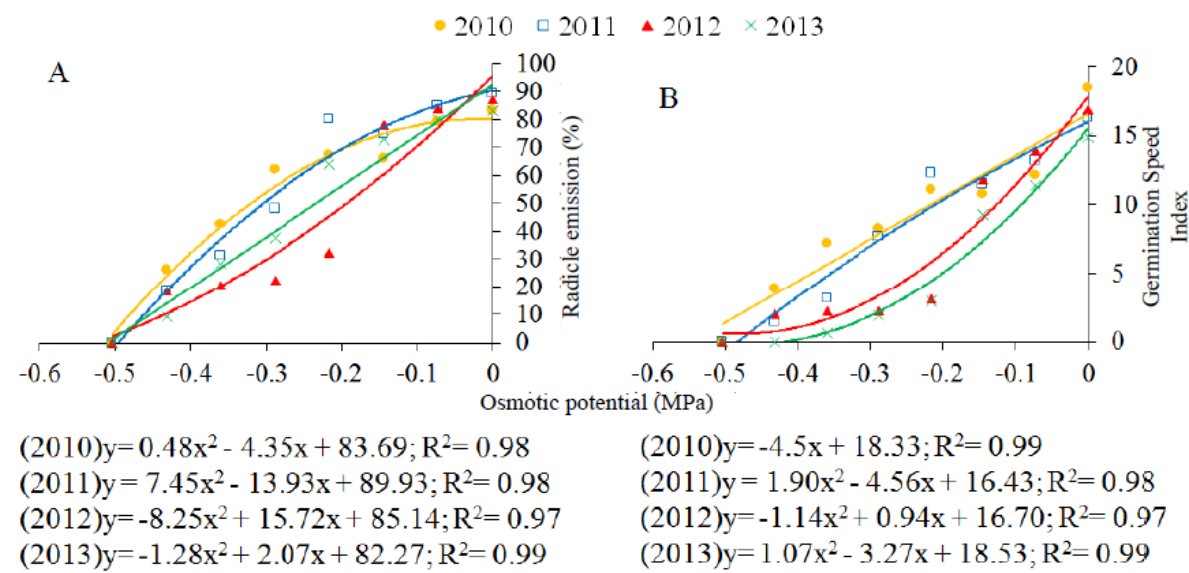


Figure 9. Germination (A) and germination speed index (B) of *Myracrodruon urundeuva* seeds subjected to salt stress at different NaCl osmotic potentials.

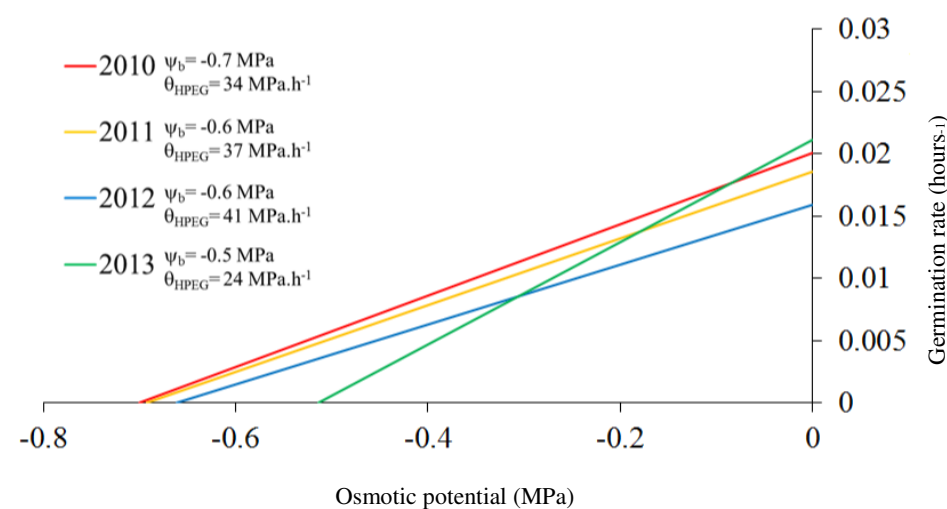


Figure 10. Germination rate, osmotic limits and requirements of *Myracrodruon urundeuva* seeds harvested in different years, and subjected to different osmotic potentials produced with NaCl solutions. ψ_b corresponds to the osmotic base potential for germination (the point on which the regression curves intercept the x-axis); θ_{HNaCl} corresponds to the hydrotime, obtained by the reciprocal function of the regression curve angle.

Predictions for germination in future climate conditions

The heat sum for seed germination was estimated based on the climate data and thermal threshold parameters (equation 4). However, only weeks in which the precipitation surpassed a minimum of 20 mm were taken into account, because this is the ideal rainfall volume to maintain the *Caatinga* soil moisture at adequate levels for germination for one week (Santos et al., 2011). For the current climate, the heat sum for germinating seeds of older lots (2010-2012) remained between 35 to 40 °Cd⁻¹, and for seeds of younger lots, it was 25 °Cd⁻¹. For the predictions of future climate conditions, even with more thermal energy existing in the environment, the estimated heat sum was similar to that of the current climate (Figure 11). Also, the average environmental temperature will never surpass the ceiling temperature (T_c) for this species germination (Figure 4), indicating that the future warming will not restrict the germination of these seeds.

On the other hand, a 40% reduction in the rainfall volume, as predicted by the RCP-8.5 scenario, will result a decrease in the number of weeks with enough available water for seed

germination and initial development of *M. urundeuva*, thus restraining the recruitment of seedlings. This trend can already be verified in the drought years of 2011 to 2017 (Marengo et al., 2016), as well as in the rainy season between 2016 and 2017, when the precipitation levels remained below 20 mm per week. In both cases, the emergence of seedlings of *M. urundeuva* from seed banks was compromised (Silva et al., 2017).

Conclusions

Myracrodruon urundeuva seeds are tolerant to a broad range of temperatures and osmotic potentials. Nevertheless, such a tolerance depends on the physiological quality of the lots.

Salinity had an effect more detrimental to *M. urundeuva* seed germination than water restriction.

Climate models allowed identifying *M. urundeuva* germinative responses in future climate scenarios, which indicate that the lack of rainfall will affect seed germination and initial development, regardless of temperature increase.

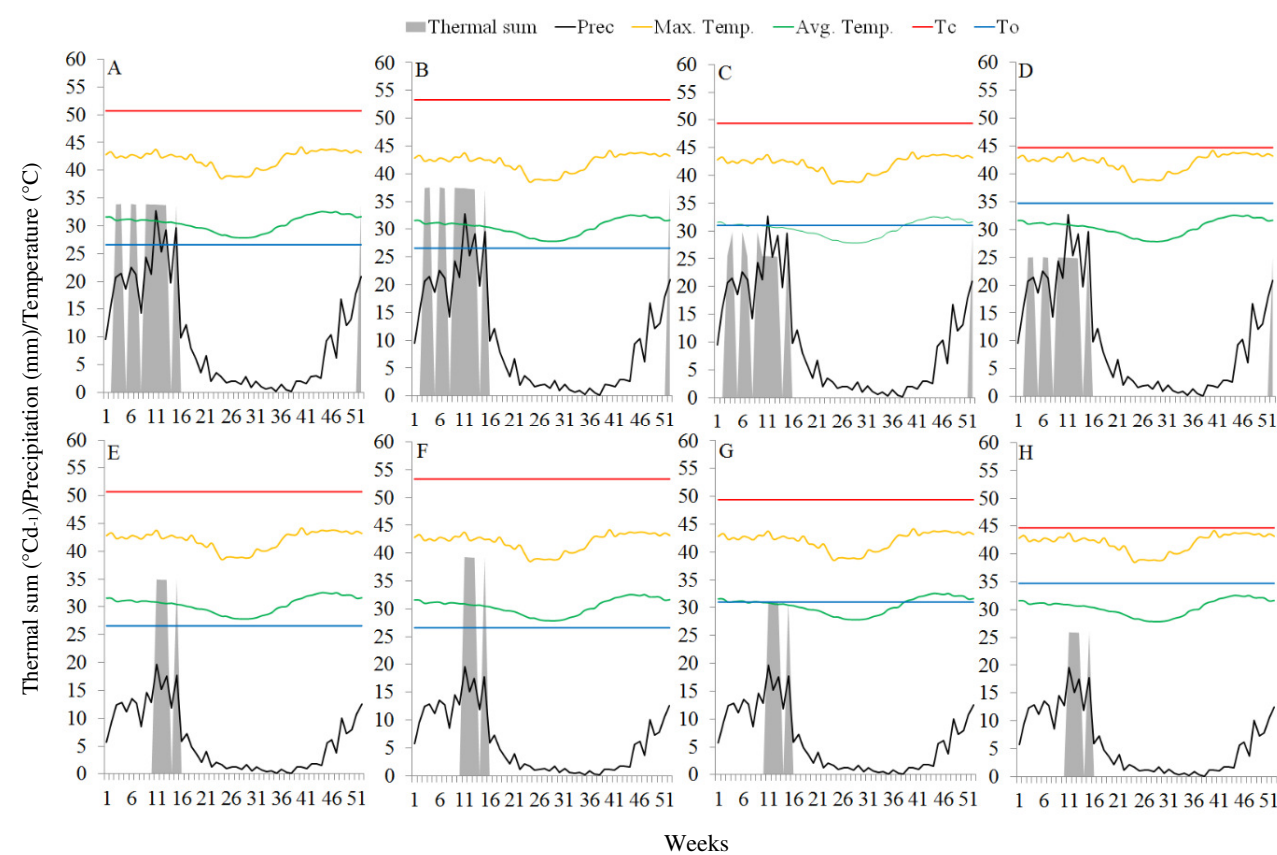


Figure 11. Thermal sum required for the germination events of *Myracrodruon urundeuva* seeds of the 2010 (A, E), 2011 (B, F), 2012 (C, G), and 2013 (D, H) lots, considering the current climate scenario (A, B, C, and D) and the RCP 8.5 climate prognosis (E, F, G, and H), stated by the Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC/AR5 (IPCC, 2014).

References

- ARANA, M.V.; GONZALEZ-POLO, M.; MARTINEZ-MEIER, A.; GALLO, L.A.; BENECH-ARNOLD, R.L.; SÁNCHEZ, R.A.; BATLLA, D. Seed dormancy responses to temperature relate to Nothofagus species distribution and determine temporal patterns of germination across altitudes in Patagonia. *New Phytologist*, v.209, p.507-520, 2016. <https://doi.org/10.1111/nph.13606>
- BEWLEY, J.D.; BRADFORD, K.J.; HILHORST, K.H.W.M.; NONOGAKI, H. *Seeds: Physiology of development germination and dormancy*. New York: Springer, 2013. 392p.
- BRADFORD, K. Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Science*, v.50, p. 248-260, 2002. <https://www.cambridge.org/core/journals/weed-science/article/applications-of-hydrothermal-time-to-quantifying-and-modeling-seed-germination-and-dormancy/4C25559CD8877541424A6FFCC8E8F730>
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Regras para análise de sementes*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 395p. http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/2946_regras_analise__sementes.pdf
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Instruções para análise de sementes florestais*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2013. 97p. http://www.agricultura.gov.br/assuntos/laboratorios/arquivos-publicacoes-laboratorio/florestal_documento_pdf-ilovepdf-compressed.pdf
- CARLINI, E.A.; DUARTE-ALMEIDA, J.M.; RODRIGUES, E.; TABACH, R. Antiulcer effect of the pepper trees *Schinus terebinthifolius* Raddi (aroeira-da-praia) and *Myracrodruon urundeuva* Allemão, Anacardiaceae (aroeira-do-sertão). *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v.20, p.140-146, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-695X2010000200001>
- CASTILLO-LORENZO, E.; FINCH-SAVAGE, W.E., SEAL, C.E.; PRITCHARD, H.W. Adaptive significance of functional germination traits in crop wild relatives of Brassica. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.264, p.343-350, 2019. [doi:10.1016/j.agrformet.2018.10.014](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.10.014)
- CHAVES, M.M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*, v.103, p.551-560, 2009. <https://doi.org/10.1093/aob/mcn125>
- CNCFlora. Centro Nacional de Conservação da Flora. *Myracrodruon urundeuva* in *Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2*. <http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Myracrodruon%20urundeuva> Accessed on february 17th, 2018.
- COVELL, S.; ELLIS, R.H.; ROBERTS, E.H.; SUMMERFIELD, R.J. The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes I. A comparison of chickpea, lentil, soybean and cowpea at constant temperatures. *Journal of Experimental Botany*, v.37, p.705-715, 1986. <https://doi.org/10.1093/jxb/37.5.705>
- ELLIS, R.H.; COVELL, S.; ROBERTS, E.H.; SUMMERFIELD, R.J. The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. II. Intraspecific variation in chickpea (*Cicer arietinum* L.) at constant temperatures. *Journal of Experimental Botany*, v. 37, p. 1503-1515, 1986.
- FLORES, A.V.; BORGES, E.E.L.; GUIMARÃES, V.M.; GONÇALVES, J.F.C.; ATAÍDE, C.M.; BARROS, D.P. Atividade enzimática durante a germinação de sementes de *Melanoxylon brauna* Schott sob diferentes temperaturas. *Cerne*, v.20, n.2, p.401-408, 2014. <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-77602014000300009>
- FREITAS, A.R.; LOPES, J.C.; MATHEUS, M.T.; MENGARDA, L.H.G.; VENANCIO, L.P.; CALDEIRA, M.V.W. Superação da dormência de sementes de jatobá. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v.33, p.01-05, 2013. <https://doi.org/10.104336/2013.pfb.33.73.350>
- GONDIM, T.M.S.; CAVALCANTE, L.F.; BELTRAO, N.E.M. Aquecimento global: salinidade e consequências no comportamento vegetal. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibras*, v.14, n.1, p.37-54, 2010. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/862856/1/RBOF143754.pdf>
- GRIZ, L.M.S.; MACHADO, I.C.S. Fruiting phenology and seed dispersal syndromes in caatinga, a tropical dry forest in the northeast of Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, v.17, p.303-321, 2001. <https://sci-hub.tw/10.1017/S0266467401001201>
- GUEDES, R.S.; ALVES, E.U.; GONÇALVES, E.P.; COLARES, P.N.Q.; MEDEIROS, M.S.; VIANA, J.S. Germinação e vigor de sementes de *Myracrodruon urundeuva* Allemão em diferentes substratos e temperaturas. *Revista Árvore*, v.35, n.5, p.975-982, 2011. <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-67622011000600003>
- GUEDES, R.S.; ALVES, E.U.; VIANA, J.S.; GONÇALVES, E.P.; LIMA, C.R.; SANTOS, S.R.N. Germinação e vigor de sementes de *Apeiba tibourbou* submetidas ao estresse hídrico e diferentes temperaturas. *Ciência Florestal*, v.23, n.1, p.45-53, 2013. http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1980-50982013000100045&script=sci_abstract&tlng=pt
- GUMMERSON, R.J. The effect of constant temperatures and osmotic potentials on the germination of sugar beet. *Journal of Experimental Botany*, v.37, n.6, p.729-741, 1986. <https://doi.org/10.1093/jxb/37.6.729>
- HARDEGREE, S.P. Predicting germination response to temperature. I. Cardinal-temperature Models and Subpopulation-specific Regression. *Annals of Botany*, v.97, p.1115-1125, 2006. <https://academic.oup.com/aob/article/97/6/1115/207352>
- IPCC. *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (eds Core Writing Team, R. K. Pachauri, L. A. Meyer), IPCC, Geneva, 2014. 151p.
- KIILL, L.H.P.; MARTINS, C.; SILVA, P. Biologia reprodutiva de duas espécies de Anacardiaceae da caatinga ameaçadas de extinção. In: MOURA, A.N.; ARAÚJO, E.L.; ALBUQUERQUE, U.P. (eds) *Biodiversidade, potencial econômico e processos ecofisiológicos em ecossistemas nordestinos*. Embrapa Semiárido, 2010. p.305-332.
- KNOWLES, N.; CAYAN, D. Potential effects of global warming on the Sacramento/San Joaquin watersheds and the San Francisco estuary. *Geophysical Research Letters*, v.29, n.18, p. 38-1-38-4, 2002. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2001GL014339>
- LIMA, A.L.S.; ZANELLA, F.; CASTRO, L.D.M. Crescimento de *Hymenaea courbaril* L. var. stilbocarpa (Hayne) Lee et Lang e *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Leguminosae) sob diferentes níveis de sombreamento. *Acta Amazônica*, v.40, n.1, p.43-48, 2010. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672010000100006

- LIMA, B.; TORRES, S. Estresses hídrico e salino na germinação de sementes de *Zizyphus joazeiro* Mart. (Rhamnaceae). *Revista Caatinga*, v.22, n.4, p. 93-99, 2009. <https://www.redalyc.org/html/2371/237116334009/>
- MAGUIRE, J.D. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling and vigour. *Crop Science*, v.2, n.1, p.176-177, 1962. <https://dl.sciencesocieties.org/publications/cs/abstracts/2/2/CS0020020176>
- MARAGHNI, M.; GORAI, M.; NEFFATI, M. Seed germination at different temperatures and water stress levels, and seedling emergence from different depths of *Ziziphus lotus*. *South African Journal of Botany*, v.76, n.3, p.453-459, 2010. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0254629910001134>
- MARENGO, J.A.; CUNHA, A.P.; ALVES, L.M. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. *Climanálise*, v.3, p.1-6, 2016. <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/revista/pdf/30anos/marengoetal.pdf>
- MATIAS, J.R.; OLIVEIRA, G.M.; DANTAS, B.F. Colheita e beneficiamento de algumas espécies da Caatinga. *Informativo ABRATES*, v.24, n.3, p.23-27, 2014. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1011665/1/Barbara2014.pdf>
- MOSS, D.N.; HOFFMAN, G.J. Analysis of crop salt tolerance data. In: SHAIN, I.; SHALHEVET, J. *Soil salinity under irrigation: process and management*. Berlin: Ecological, 1977. p.258-271.
- NOGUEIRA, N.W.; TORRES, S.B.; FREITAS, R.M.O.; CASTRO, T.H.S.; SÁ, F.V.S. 'Jurema-de-embira' seed germination under water stress and at different temperatures. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.21, n.4, p.244-248, 2017. <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v21n4/1415-4366-rbeaa-21-04-0244.pdf>
- NUNES, Y.R.F.; FAGUNDES, M.; ALMEIDA, H.S.; VELOSO, M.D.M. Aspectos ecológicos da aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão - Anacardiaceae): fenologia e germinação de sementes. *Revista Árvore*, v.32, n.2, p.233-243, 2008. http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-67622008000200006&script=sci_abstract&tlng=pt
- OLIVEIRA, A.K.M.; SOUZA, J.S.; CARVALHO, J.M.B.; OJEDA, P.T.A. Temperatura e substrato na germinação de sementes e no crescimento inicial de plântulas de *Sapindus saponaria* (Sapindaceae). *Gaia Scientia*, v.11, p.131-143, 2017. <http://trabalhos.congrega.urcamp.edu.br/index.php/jpgp/article/view/961/987>
- PBMC. *Contribuição do Grupo de Trabalho 1 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas*. Sumário Executivo GT1. PBMC: Rio de Janeiro, Brasil, 2013. 24 p.
- SALIMON, C.; ANDERSON, L. How strong is the relationship between rainfall variability and caatinga productivity? A case study under a changing climate. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.90, p. 2121-2127, 2018. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0001-37652018000502121&lng=en&tlng=en
- SANTOS, T.E.M.; MONTENEGRO, A.A.A.; SILVA, D.D. Umidade do solo no semiárido pernambucano usando-se reflectometria no domínio do tempo (TDR). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.7, p.670-679, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000700004>
- SANTOS, C.A.; SILVA, N.V.; WALTER, L.S.; SILVA, E.C.A.; NOGUEIRA, R.J.M.C. Germinação de sementes de duas espécies da Caatinga sob deficit hídrico e salinidade. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v.36, p.219-224, 2016. <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/1017/512>
- SEAL, C.E.; BARWELL, L.J.; FLOWERS, T.J.; MERRETT WADE, E.; PRITCHARD, H.W. Seed germination niche of the halophyte *Suaeda maritima* to combined salinity and temperature is characterised by a halothermal time model. *Environmental and Experimental Botany*, v.155, p.177-184, 2018. doi:10.1016/j.envexpbot.2018.06.035
- SEAL, C.E.; DAWS, M.I.; FLORES, J.; ORTEGA-BAES, P.; GALÍNDEZ, G.; LEÓN-LOBOS, P.; SANDOVAL, A.; STUVA, A.C.; BULLÓN, N.R.; DÁVILA-ARANDA, P.; ORDOÑEZ-SALANUEVA, C.A.; YÁÑEZ-ESPINOSA, L.; ULIAN, T.; AMOSSO, C.; ZUBANI, L.; BILBAO, A.T.; PRITCHARD, H.W. Thermal buffering capacity of the germination phenotype across the environmental envelope of the Cactaceae. *Global Change Biology*, v.23, p.5309-5317, 2017. <https://doi.org/10.1111/gcb.13796>
- SILVA, F.A.S.; AZEVEDO, C.A.V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. *African Journal of Agricultural Research*, v.11, p.3733-3740, 2016. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11522>
- SILVA, F.F.S.; OLIVEIRA, G.M.; ARAÚJO, M.N.; ANGELOTTI, F.; MOURA, M.S.B.; DANTAS, B.F. Rainfall events, high CO₂ concentration and germination seeds of Caatinga. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v.2, n.3, p.258-265, 2017. <https://doi.org/10.24221/jeap.2.3.2017.1453.258-265>
- SOUZA, L.S.B.; MOURA, M.S.B.; SEDIYAMA, G.C.; SILVA, T.G.F. Carbon exchange in a caatinga area during an unusually drought year. *Agrometeoros*, v.25, n.1, p.37-45, 2017. <http://seer.sct.embrapa.br/index.php/agrometeoros/article/view/26265/13855>
- VIRGENS, I.O.; CASTRO, R.D.; FERNANDEZ, L.G.; PELACANI, C.R. Comportamento Fisiológico de sementes de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. (Anacardiaceae) submetidas a fatores abióticos. *Ciência Florestal*, v.22, p.681-692, 2012. <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1980-50982012000400681>
- VIVIAN, R.; SILVA, A.A.; GIMENES, J.M.; FAGAN, E.B.; RUIZ, S.T.; LABONIA, V. Dormência em sementes de plantas daninhas como mecanismo de sobrevivência – Breve revisão. *Planta Daninha*, v.26, n.3, p.695-706, 2008. <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-83582008000300026>
- VOIGT, E.L.; ALMEIDA, T.D.; CHAGÁSICOS, R.M.; PONTE, L.F.A.; VIÉGAS, R.A.; SILVEIRA, J.A.G. Source-sink regulation of cotyledonary reserve mobilization during cashew (*Anacardium occidentale*) seedling establishment under NaCl salinity. *Journal of Plant Physiology*, v.166, p.80-89, 2009. <http://editora.iftm.edu.br/index.php/sepit/article/view/319/172>



Anexo B. Equações referentes às curvas de germinação ajustadas ao modelo sigmoidal de Boltzmann em função de diferentes potenciais osmóticos preparados com PEG do Capítulo II.

25 °C

$$y(0 \text{ MPa}) = (0,75 - 40,74)/(1 + e^{((x - 3,65)/0,67)}) + 40,74; R^2 = 0,97^{**}$$

$$y(-0,2 \text{ MPa}) = (0 - 37,89)/(1 + e^{((x - 3,47)/0,37)}) + 37,89; R^2 = 0,98^{**}$$

$$y(-0,3 \text{ MPa}) = (0 - 42,44)/(1 + e^{((x - 4,41)/0,83)}) + 42,44; R^2 = 0,99^{**}$$

$$y(-0,4 \text{ MPa}) = (0 - 0,75)/(1 + e^{((x - 4,53)/1,11)}) + 0,75; R^2 = 0,97^{**}$$

30 °C

$$y(0 \text{ MPa}) = (0 - 44,82)/(1 + e^{((x - 5,74)/1,36)}) + 44,82; R^2 = 0,97^{**}$$

$$y(-0,2 \text{ MPa}) = (0 - 20,39)/(1 + e^{((x - 4,28)/0,96)}) + 20,39; R^2 = 0,99^{**}$$

$$y(-0,3 \text{ MPa}) = (12 - 45,91)/(1 + e^{((x - 2,40)/0,43)}) + 45,91; R^2 = 0,99^{**}$$

$$y(-0,4 \text{ MPa}) = (0 - 16,40)/(1 + e^{((x - 5,66)/1,65)}) + 16,40; R^2 = 0,92^{**}$$

$$y(-0,5 \text{ MPa}) = (0 - 4)/(1 + e^{((x - 8,07)/0,03)}) + 4; R^2 = 1^{**}$$

35 °C

$$y(0 \text{ MPa}) = (0 - 41,08)/(1 + e^{((x - 3,60)/0,33)}) + 41,08; R^2 = 0,99^{**}$$

$$y(-0,2 \text{ MPa}) = (0 - 37,50)/(1 + e^{((x - 3,55)/0,18)}) + 37,50; R^2 = 0,99^{**}$$

$$y(-0,3 \text{ MPa}) = (0 - 44,77)/(1 + e^{((x - 5,04)/0,96)}) + 44,77; R^2 = 0,99^{**}$$

$$y(-0,4 \text{ MPa}) = (0 - 26,78)/(1 + e^{((x - 4,90)/1,15)}) + 26,78; R^2 = 0,98^{**}$$

$$y(-0,5 \text{ MPa}) = (0 - 5,59)/(1 + e^{((x - 4,42)/0,28)}) + 5,59; R^2 = 0,99^{**}$$

40 °C

$$y(0 \text{ MPa}) = (0 - 6,33)/(1 + e^{((x - 6,88)/0,98)}) + 6,33; R^2 = 0,99^{**}$$

$$y(-0,2 \text{ MPa}) = (0 - 5,58)/(1 + e^{((x - 7,28)/0,86)}) + 5,58; R^2 = 0,99^{**}$$

$$y(-0,3 \text{ MPa}) = (0 - 5,09)/(1 + e^{((x - 7,63)/1,01)}) + 5,09; R^2 = 0,99^{**}$$

$$y(-0,4 \text{ MPa}) = (0 - 1,74)/(1 + e^{((x - 8,33)/1,34)}) + 1,74; R^2 = 0,99^{**}$$

Anexo C. Equações referentes às curvas de formação de plântulas ajustadas ao modelo sigmoidal de Boltzmann em função de diferentes potenciais osmóticos preparados com PEG do Capítulo II.

25 °C

$$y(0 \text{ MPa}) = (0 - 86,42)/(1 + e^{((x - 5,15)/0,83)}) + 86,42; R^2 = 0,99^{**}$$

$$y(-0,2 \text{ MPa}) = (0 - 74,63)/(1 + e^{((x - 5,56)/0,73)}) + 74,63; R^2 = 0,99^{**}$$

$$y(-0,3 \text{ MPa}) = (0 - 40,87)/(1 + e^{((x - 7,73)/0,01)}) + 40,87; R^2 = 0,99^{**}$$

$$y(-0,4 \text{ MPa}) = (0 - 0,5)/(1 + e^{((x - 3,49)/0,01)}) + 0,5; R^2 = 1^{**}$$

30 °C

$$y(0 \text{ MPa}) = (0 - 43,79)/(1 + e^{((x - 5,29)/1,38)}) + 43,79; R^2 = 0,98^{**}$$

$$y(-0,2 \text{ MPa}) = (0 - 40,81)/(1 + e^{((x - 7,36)/2,01)}) + 40,81; R^2 = 0,96^{**}$$

$$y(-0,3 \text{ MPa}) = (0 - 10,83)/(1 + e^{((x - 7,81)/0,17)}) + 10,83; R^2 = 0,99^{**}$$

$$y(-0,4 \text{ MPa}) = (0 - 6,86)/(1 + e^{((x - 8,07)/1,65)}) + 6,86; R^2 = 0,99^{**}$$

$$y(-0,5 \text{ MPa}) = (0 - 0,72)/(1 + e^{((x - 10,43)/0,003)}) + 0,72; R^2 = 0,99^{**}$$

35 °C

$$y(0 \text{ MPa}) = (0 - 29,44)/(1 + e^{((x - 4,68)/0,66)}) + 29,44; R^2 = 0,99^{**}$$

$$y(-0,2 \text{ MPa}) = (0 - 18,34)/(1 + e^{((x - 6,17)/0,95)}) + 18,34; R^2 = 0,99^{**}$$

$$y(-0,3 \text{ MPa}) = (0 - 8,20)/(1 + e^{((x - 7,85)/0,52)}) + 8,20; R^2 = 0,99^{**}$$

$$y(-0,4 \text{ MPa}) = (0 - 9,14)/(1 + e^{((x - 7,55)/0,48)}) + 9,14; R^2 = 0,99^{**}$$

$$y(-0,5 \text{ MPa}) = (0 - 0,48)/(1 + e^{((x - 9,14)/0,002)}) + 0,48; R^2 = 1^{**}$$

40 °C

$$y(0 \text{ MPa}) = (0 - 3,38)/(1 + e^{((x - 10,12)/0,76)}) + 3,38; R^2 = 0,98^{**}$$

$$y(-0,2 \text{ MPa}) = (0 - 2,28)/(1 + e^{((x - 10,35)/0,54)}) + 2,28; R^2 = 0,99^{**}$$

$$y(-0,3 \text{ MPa}) = (0 - 2,02)/(1 + e^{((x - 10,13)/0,30)}) + 2,02; R^2 = 0,99^{**}$$

$$y(-0,4 \text{ MPa}) = (0 - 0,24)/(1 + e^{((x - 10,43)/0,003)}) + 0,24; R^2 = 0,99^{**}$$

Anexo D. Equações referentes às curvas de germinação ajustadas ao modelo sigmoidal de Boltzmann em função de diferentes potenciais osmóticos preparados com NaCl do Capítulo II.

25 °C

$$y(0 \text{ MPa}) = (0,75 - 40,74)/(1 + e^{((x - 3,65)/0,67)}) + 40,74; R^2 = 0,97^{**}$$

$$y(-0,2 \text{ MPa}) = (0 - 39,82)/(1 + e^{((x - 9,11)/1,01)}) + 39,82; R^2 = 0,99^{**}$$

$$y(-0,3 \text{ MPa}) = (0 - 32,61)/(1 + e^{((x - 8,36)/0,17)}) + 32,61; R^2 = 0,98^{**}$$

$$y(-0,4 \text{ MPa}) = (0 - 32,61)/(1 + e^{((x - 8,54)/0,20)}) + 32,61; R^2 = 0,99^{**}$$

$$y(-0,5 \text{ MPa}) = (0 - 10,92)/(1 + e^{((x - 9,04)/0,79)}) + 10,92; R^2 = 0,99^{**}$$

30 °C

$$y(0 \text{ MPa}) = (0 - 44,31)/(1 + e^{((x - 3,62)/0,33)}) + 44,31; R^2 = 0,97^{**}$$

$$y(-0,2 \text{ MPa}) = (0,41 - 40,84)/(1 + e^{((x - 2,12)/0,31)}) + 40,84; R^2 = 0,99^{**}$$

$$y(-0,3 \text{ MPa}) = (1,90 - 40,36)/(1 + e^{((x - 2,37)/0,28)}) + 40,36; R^2 = 0,99^{**}$$

$$y(-0,4 \text{ MPa}) = (0 - 39,39)/(1 + e^{((x - 2,05)/1,16)}) + 39,39; R^2 = 0,95^{**}$$

$$y(-0,5 \text{ MPa}) = (0 - 9,53)/(1 + e^{((x - 5,18)/1,02)}) + 9,53; R^2 = 0,97^{**}$$

35 °C

$$y(0 \text{ MPa}) = (0 - 41,08)/(1 + e^{((x - 3,60)/0,33)}) + 41,08; R^2 = 0,99^{**}$$

$$y(-0,2 \text{ MPa}) = (0 - 42,58)/(1 + e^{((x - 7,51)/1,08)}) + 42,58; R^2 = 0,97^{**}$$

$$y(-0,3 \text{ MPa}) = (0 - 39,33)/(1 + e^{((x - 8,33)/0,19)}) + 39,33; R^2 = 0,99^{**}$$

$$y(-0,4 \text{ MPa}) = (0 - 36,05)/(1 + e^{((x - 8,43)/0,19)}) + 36,05; R^2 = 0,99^{**}$$

$$y(-0,5 \text{ MPa}) = (0 - 10,50)/(1 + e^{((x - 10,07)/0,92)}) + 10,50; R^2 = 0,99^{**}$$

40 °C

$$y(0 \text{ MPa}) = (0 - 6,33)/(1 + e^{((x - 6,88)/0,98)}) + 6,33; R^2 = 0,99^{**}$$

$$y(-0,2 \text{ MPa}) = (0 - 2,47)/(1 + e^{((x - 6,67)/0,64)}) + 2,47; R^2 = 0,99^{**}$$

$$y(-0,3 \text{ MPa}) = (0 - 1,73)/(1 + e^{((x - 7,53)/0,55)}) + 1,73; R^2 = 0,99^{**}$$

$$y(-0,4 \text{ MPa}) = (0 - 0,50)/(1 + e^{((x - 7,53)/0,73)}) + 0,50; R^2 = 0,97^{**}$$