



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BOTÂNICA



Bruno Ayron de Souza Aguiar

**RELAÇÃO ENTRE DISPONIBILIDADE DE ÁGUA E ASPECTOS  
VEGETATIVOS E REPRODUTIVOS DE HERBÁCEA DA CAATINGA**

RECIFE (PE), 2017

Bruno Ayron de Souza Aguiar

**RELAÇÃO ENTRE DISPONIBILIDADE DE ÁGUA E ASPECTOS  
VEGETATIVOS E REPRODUTIVOS DE HERBÁCEA DA CAATINGA**

Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós - Graduação em Botânica – UFRPE,  
como um dos requisitos para a obtenção do  
título de Mestre em Botânica

**Orientadora:**

Dra. Elcida de Lima Araújo

**Co-orientadores:**

Dr. André Maurício Melo Santos - UFPE

Dr. Jefferson Thiago de Souza - UNEAL

RECIFE (PE), 2017

BRUNO AYRON DE SOUZA AGUIAR

Relação entre disponibilidade de água e aspectos vegetativos e reprodutivos de  
herbácea da caatinga

Dissertação defendida em: 08/02/2017

**Presidente da Banca/Orientadora:**

---

Dra. Elcida de Lima Araújo (UFRPE)

**Examinadores:**

Titulares:

---

Dra. Jarcilene Silva de Almeida-Cortez (UFPE)

---

Dr. Kleber Andrade da Silva (UFPE)

---

Dra. Ana Virgínia de Lima Leite (UFRPE)

Suplente:

---

Dra. Elba Maria Nogueira Ferraz (IFPE)

RECIFE (PE), 2017



## SUMÁRIO

Lista de tabelas.....	9
Lista de figuras.....	10
Resumo.....	11
Abstract.....	12
<b>1. Introdução.....</b>	<b>13</b>
<b>2. Revisão bibliográfica.....</b>	<b>14</b>
2.1. Respostas fenológicas vegetativas e reprodutivas de espécies vegetais frente às variações temporais pluviométricas em florestas secas.....	14
2.2. Respostas ecofisiológicas de espécies vegetais em função das variações hídricas em ambientes naturais e manejados.....	18
<b>4. Referencias Bibliográficas.....</b>	<b>21</b>
<b>Manuscrito:</b> Respostas vegetativas e reprodutivas de <i>Talinum paniculatum</i> (Jacq.) Gaertn à redução de disponibilidade de água.....	32
Resumo.....	32
Introdução.....	33
Material e métodos.....	35
Resultados.....	39
Discussão.....	42
Agradecimentos.....	47
Referência bibliográfica.....	47
<b>3. Considerações Finais.....</b>	<b>62</b>
Anexos.....	63

Dedico a você Mãe,

Pelo carinho, amor, companheirismo...  
pelos ensinamentos e por guiar meus passos nos caminhos do Senhor...

Em todos os momentos foi uma vitoriosa,  
mesmo passando por sofrimentos,  
transparecia sempre segurança e fortaleza.

“Mulher virtuosa, quem acharás?

O seu valor muito excede ao de rubis”

“O amor tudo sofre, tudo crê, tudo espera, tudo suporta.  
Havendo profecias, estas serão aniquiladas;  
havendo línguas, estas cessarão; havendo ciência, desaparecerá,  
mas o amor continuará para sempre.”

*1 Coríntios 13:7,8*

## **Agradecimentos**

*Com todo amor e carinho que agradeço,*

Primeiramente a Deus por ter me proporcionado a vida, por renovar a minhas forças todos os dias para continuar lutando, pelo socorro bem presente na hora da angústia, pelo o seu grande amor por mim e por ter me proporcionado a Salvação.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e ao Programa de Pós-graduação em Botânica (PPGB-UFRPE) que proporcionou a oportunidade de uma pós-graduação e que contribuiu significativamente para minha vida acadêmica e profissional.

À minha mãe, Maria das Neves de Souza Aguiar, por seu imenso amor, dedicação, carinho por mim e pelo seu investimento diário na minha educação.

Ao meu pai, Francisco Geomar Aragão Aguiar, que me ensinou a lutar pelos meus objetivos e a vencer todos os dias as dificuldades acreditando sempre na vitória.

A minha noiva que tanto amo, Elda Simone dos Santos Soares, por fazer parte da minha vida todos os dias, nos momentos de alegrias, tristezas, nas lutas e vitórias. Que este amor continue eternamente!

A minha orientadora, Elcida de Lima Araújo, que tem me dado forças todos os dias, como exemplo de vida, para continuar nesta luta acadêmica, sempre com palavras de ânimos e incentivo.

Aos meus queridos amigos do Laboratório de Ecologia Vegetal de Ecossistemas Naturais (LEVEN), por todos as brincadeiras e momentos alegres que passamos juntos, além de serem peças fundamentais para alavancar a pesquisa e conclusão deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelo apoio financeiro aos projetos e bolsa concedida.

Por fim. Todos os amigos e familiares que acreditaram na minha capacidade e futuro profissional.

## Lista de tabelas

### Manuscrito

Tabela 1. Análise de GLM (modelo linear generalizado) mostrando a influência das variações hídricas nas estruturas vegetativas, reprodutivas e na fenologia de *Talinum paniculatum*. (DF: grau de liberdade; SS: soma dos quadrados;  $SS_{total}$ : soma dos quadrados total; Error: valor do erro; MS: Média dos quadrados; F: Teste Fisher; P: <0.05-diferenças significativas;  $R^2$ : Percentual explicativo)..... 60

## Lista de Figuras

### Manuscrito

- Figura 1. Efeito da disponibilidade hídrica nos aspectos morfométricos vegetativos de *Talinum paniculatum* mantidas nos tratamentos de alta (100%cp), média (50%cp) e baixa (25%cp) disponibilidade hídrica. Letras distintas entre as variações hídricas denotam diferenças significativas pelo teste de *Tukey a posteriori*. (cp=capacidade de pote)..... 56
- Figura 2. Efeito da disponibilidade hídrica na produção de folhas, flores, frutos e sementes de *Talinum paniculatum* nos tratamentos de alta (100%cp), média (50%cp) e baixa (25%cp) disponibilidade hídrica. Letras distintas entre as variações hídricas denotam diferenças significativas pelo teste de *Tukey a posteriori*. (cp=capacidade de pote)..... 57
- Figura 3. Efeito da disponibilidade hídrica nos aspectos morfométricos reprodutivo de *Talinum paniculatum* nos tratamentos de alta (100%cp), média (50%cp) e baixa (25%cp) disponibilidade hídrica. Letras distintas entre as variações hídricas denotam diferenças significativas pelo teste de *Tukey a posteriori*..... 58
- Figura 4. Gráficos circulares evidenciando o efeito da disponibilidade hídrica no ritmo fenológico vegetativo e reprodutivo de *Talinum paniculatum*. (A: 100%cp; B: 50%cp; C: 25%cp; cp = capacidade de pote)..... 59

## Resumo

Em ambientes semiáridos o desenvolvimento e a sobrevivência das plantas são controlados principalmente pela heterogeneidade temporal e espacial do regime pluviométrico. Nestes ambientes, o efeito prolongado de escassez hídrica pode ser determinante para afetar negativamente o ritmo fenológico, limitar o crescimento das plantas e provocar declínio nos processos reprodutivos. Assim, visando compreender as possíveis mudanças no funcionamento das florestas de ambientes semiáridos, este trabalho tem por hipótese que ocorrem reduções no crescimento vegetativo e reprodutivo e atrasos no ritmo fenológico à medida que ocorre redução na disponibilidade de água, utilizando a geófita *Talinum paniculatum* como modelo para avaliar o efeito da deficiência hídrica nas respostas do crescimento das plantas. Especificamente, intenta-se responder neste estudo as seguintes questões: (i) o que ocorre com os crescimentos vegetativo e reprodutivo da planta mediante a redução de 50% e 75% da disponibilidade hídrica? (ii) Quanto das variações quantitativa na produção de estruturas vegetativas/reprodutivas e na fenologia pode ser explicado pela redução da disponibilidade de água? (iii) o ritmo fenológico das plantas reflete a redução da disponibilidade hídrica? O experimento de deficiência hídrica foi conduzido durante seis meses em casa de vegetação utilizando 150 indivíduos desde o estágio de plântulas, transplantadas após dez dias da germinação, até completa maturação, distribuídas de igual modo nos tratamentos em diferente capacidade de pote (cp): T1: 100% (cp-controle), T2: 50% (cp) e T3: 25% (cp). Foram selecionadas 30 plantas (por tratamento) para quantificar semanalmente o crescimento vegetativo e diariamente a produção de flores, frutos e sementes, bem como, monitorar o comportamento fenológico. Outras 20 plantas (por tratamento) para medidas morfométricas de flores e frutos. As diferenças entre os tratamentos e o poder explicativo das reduções hídricas foram avaliadas pela análise de GLM, incorporando ANOVA, com teste *Tukey* a posteriori. Os atributos vegetativos de *T. paniculatum* diferiram significativamente entre os tratamentos, porém o diâmetro e produção acumulada de folhas não apresentaram diferenças entre T1 e T2, mas diferiram de T3. Houve diferenças significativas na produção de flores, fruto e sementes e em todas as aferições morfométricas de flores e frutos. O ritmo fenológico da senescência foliar e abscisão foliar não diferiram significativamente entre os tratamentos, mas o brotamento no T3 diferiu dos demais, cessando gradativamente a atividade a partir da 17ª semana. O ritmo fenológico da floração, frutificação e deiscência dos frutos diferiu entre os tratamentos, não havendo floração para T3 e atrasos na produção em T2. O poder explicativo da água apresentou ampla faixa de variação, sendo de 21 a 71% para o crescimento vegetativo, de 41 a 97% para o crescimento reprodutivo e de 5 a 61% no ritmo fenológico. Reduções na disponibilidade de água influenciaram negativamente a fenologia, crescimento vegetativo e reprodutivo de *T. paniculatum*, com as mais drásticas reduções quantitativas no tratamento que simulou maior déficit hídrico. Assim, os dados deste estudo sinalizam que as consequências da redução da disponibilidade de água no solo das florestas podem gerar danos significativos na cobertura de herbáceas, reduzindo a produção de sementes que renova anualmente o estoque do banco do solo das florestas.

**Palavras-chave:** ritmo fenológico, semiárido, disponibilidade hídrica.

## Abstract

In semi-arid environments the development and survival of the plants are mainly controlled by the temporal and spatial heterogeneity of the pluviometric regime. In these environments, the prolonged effect of water scarcity can be determinant to adversely affect the phenological rhythm, limit plant growth and cause decline in reproductive processes. Thus, in order to understand the possible changes in the functioning of forests in semi-arid environments, this paper hypothesizes that reductions in vegetative and reproductive growth and delays in the phenological rhythm occur as water availability is reduced, using the geophyte *Talinum paniculatum* as a model. To evaluate the effect of water deficiency on plant growth responses. Specifically, we try to answer the following questions in this study: (i) what happens to vegetative and reproductive growth of the plant by reducing 50% and 75% of water availability? (ii) How much of the quantitative variations in the production of vegetative / reproductive structures and phenology can be explained by the reduction of water availability? (iii) does the phenological rhythm of plants reflect the reduction of water availability? The water deficiency experiment was conducted during six months in a greenhouse using 150 individuals from the seedling stage, transplanted after ten days of germination until complete maturation, distributed equally in the treatments in different pot capacity (cp): T1 : 100% (cp-control), T2: 50% (cp) and T3: 25% (cp). Thirty plants (per treatment) were selected to quantify weekly vegetative growth and daily flower, fruit and seed production, as well as to monitor phenological behavior. Another 20 plants (per treatment) for morphometric measurements of flowers and fruits. The differences between the treatments and the explanatory power of the water reductions were evaluated by GLM analysis, incorporating ANOVA, with Tukey a posteriori test. The vegetative attributes of *T. paniculatum* differed significantly between treatments, but the diameter and accumulated leaves production did not show differences between T1 and T2, but differed from T3. There were significant differences in the production of flowers, fruit and seeds and in all morphometric measurements of flowers and fruits. The phenological rhythm of leaf senescence and foliar abscission did not differ significantly between treatments, but the budding in T3 differed from the others, with a gradual cessation of activity from week 17. The phenological rhythm of flowering, fruiting and dehiscence of fruits differed between treatments, with no flowering for T3 and delayed T2 production. The explanatory power of water presented a wide range of variation, from 21 to 71% for vegetative growth, from 41 to 97% for reproductive growth and from 5 to 61% for phenological rhythm. Reductions in water availability negatively influenced the phenology, vegetative and reproductive growth of *T. paniculatum*, with the most drastic quantitative reductions in the treatment that simulated higher water deficit. Thus, data from this study indicate that the consequences of reduced water availability on forest soil can lead to significant damage to herbaceous cover, reducing seed production annually to replenish forest soil stock.

**Keywords:** Phenological rhythm, semi-arid, water availability.

## 1. Introdução

Em ambientes áridos e semiáridos o desenvolvimento das plantas é controlado por pulsos estocásticos no tempo e espaço do regime hídrico (GARIGLIO et al., 2010; ALBUQUERQUE et al., 2012; MIRANDA et al., 2014; ZEPPEL et al., 2014), os quais afetam diretamente a capacidade das plantas para se adaptar e sobreviver (ASBJORNSEN et al., 2011). Nestes ambientes, o efeito prolongado de escassez e reduzida disponibilidade hídrica pode ser determinante para afetar o ritmo fenológico (WILLIAMS-LINERA e MEAVE, 2002; MORELLATO et al., 2013; RICHARDSON et al., 2013; ZEPPEL et al., 2014), limitar o crescimento das plantas (MIRANDA et al., 2009; BERNAL et al., 2011; MULLER et al., 2011; TARDIEU et al., 2011; TARDIEU, 2014) e provocar declínio ou acelerar os processos reprodutivos (ARAÚJO et al., 2007; PÉREZ et al., 2006; BECERRA, 2014; YOUSFI et al., 2015). Todavia, muitas espécies possuem adaptações e ajustes para sobreviver em meio a estas condições com recursos limitados, adotando estratégias positivas e eficientes para economia de água (CARVALHO e SARTORI, 2015; JONGEN et al., 2015; XIE et al., 2016).

As espécies vegetais presentes nestas regiões desenvolvem mecanismos categorizados em escape à seca ou tolerância como respostas de ajustes as condições do déficit hídrico (MORENO et al., 2008). Quando são tolerantes, as herbáceas podem evadir a seca através da dormência ou investir em raízes mais profundas, acelerar os processos de senescência e abscisão foliar, dentre outros. Já no escape ou fuga a seca, as espécies podem produzir um banco de sementes no período de maior pluviometria e concluir seu ciclo de vida, garantindo sua perpetuação na seca (CHAVES et al., 2002; ARAÚJO et al., 2005; XU et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2015; KOOYERS, 2015). Todavia, em ambientes semiáridos, independente da estratégia (tolerância e escape), a ocorrência das espécies pode pulsar no tempo, resultando em mudanças na densidade de suas populações entre anos (REIS et al., 2006; SILVA et al., 2015).

Estudos preditores mostram que o efeito das irregularidades e escassez hídrica podem se tornar cada vez mais negativo, em consequência de processos de aquecimento global, reforçando a severidade da seca nas regiões semiáridas para os próximos anos (RICHARDSON et al., 2013; VICENTE-SERRANO et al., 2013; DAI et al., 2013). Em adição, para entender o impacto das mudanças climáticas, alguns estudos fenológicos listados a seguir são indicadores da magnitude deste evento, dentre eles destacam-se os estudos fenológicos a longo prazo: a) uma série de estudos realizados por Lesica e

Kittelson (2010), no semiárido montanhoso dos Estados Unidos, no período de 1995 a 2008, constataram que 75% das 32 espécies herbáceas tiveram mudanças no ritmo fenológico reprodutivo antecipando gradativamente a floração por conta das variações anuais da pluviometria; b) uma extensa revisão com mais de 400 espécies vegetais em todo o mundo, em regiões temperadas e tropicais, revelou uma tendência para florescimento precoce em resposta à mudança climática (PARMESAN, 2006); c) resultados de um estudo fenológico da floração que se baseiam nas observações históricas entre 1910/1961 e recentes de 2007 a 2010, realizada na região de Dakota do Norte, EUA, constatou que 75% de 178 espécies de pradarias observadas apresentaram mudanças fenológicas em função das variações da temperatura ou precipitação. Aliás, cerca de 5% a 17% destas espécies apresentaram mudanças significativas na sua primeira época de floração, sendo mais cedo ou mais tarde em relação ao século anterior (DUNEEL e TRAVERS, 2010).

Em adição, alguns estudo de curto prazo, mostraram que na Caatinga, uma floresta seca brasileira, as herbáceas apresentaram reduzidas alturas e diâmetro (REIS, et al. 2006) e reduções na densidade (SILVA et al., 2015) e riqueza do banco de sementes (SANTOS et al., 2013), quando comparadas entre anos, sensivelmente influenciadas pelas variações e distribuição dos regimes de chuva.

Assim, o conhecimento das respostas comportamentais das espécies vegetais frente às variações das condições ambientais, são importantes para entender o comportamento reprodutivo e vegetativo e sua influência sobre a alimentação do banco de sementes anualmente (SANTOS et al., 2013), por seguinte, para entender os processos de recrutamento (PEÑUELAS et al., 2004) e as condições de sobrevivência das espécies vegetais (BERNARD e TOFT, 2007; MIRANDA et al., 2014). Desta forma, respostas comportamentais podem funcionar como indicador de impactos provocados por mudanças de origem climática ou decorrentes de ações antrópicas (RICHARDSON et al., 2013).

## **2. Revisão Bibliográfica**

### **2.1. Respostas fenológicas vegetativas e reprodutivas de espécies vegetais frente às variações temporais pluviométricas em florestas secas.**

Fenologia é o estudo das fases do ciclo de vida de plantas ou animais e sua ocorrência no tempo e espaço ao longo do ano (MORELLATO, 1995). O estudo

fenológico é importante para a compreensão da influência climática sobre a vegetação e para o entendimento das interações entre plantas e animais (BAWA, 1983; RICHARDSON et al., 2013; MORELLATO et al., 2013). Segundo Morellato et al. (2016) são necessários para elaboração de parâmetros indispensáveis à preservação e exploração do uso racional das espécies, conciliando aspectos econômicos e a sustentabilidade. Além disso, torna-se uma importante ferramenta para entender as possíveis alterações na biodiversidade, melhorando a gestão de sua conservação.

Em áreas tropicais com clima sazonal, onde as estações secas e chuvosas são bem definidas, o ritmo fenológico vegetativo e reprodutivo de espécies vegetais está relacionado diretamente à disponibilidade de água nestes ambientes (WILLIAMS-LINERA e MEAVE, 2002; MIRANDA et al., 2009, MORELLATO et al., 2013; RICHARDSON et al., 2013; ZEPPEL et al., 2014; MIRANDA et al., 2014). Este comportamento também é atribuído ao fator temperatura (MENZEL et al., 2006; SCHLEIP et al., 2008; VOLDER et al., 2013), bem como a umidade relativa do ar (SEGHIERI et al., 2009), fotoperíodo (TAKENO, 2016), dentre outros. Entretanto, em determinadas regiões semiáridas, como o Chaco brasileiro, o comportamento fenológico de espécies anuais e perenes podem ser contrastantes e não apresentar correlações aos fatores abióticos (CARVALHO e SARTORI, 2015). Em adição, o desempenho destas espécies podem ser ajustados e adaptados às mudanças de curto prazo, não afetando os processos fenológicos diante das variações temporais de chuva (JONGEN et al., 2015).

Especificamente, os estudos realizados com espécies vegetais de ambientes semiáridos, inferem que as mesmas se ajustam ao fator da variação da disponibilidade de água advinda da sazonalidade do regime climático, adotando estratégias positivas e eficientes para economia de água. Muitas espécies apresentam adaptações à caducifolia, onde a queda de folhas velhas e produção de uma nova folhagem tendem a coincidir com o início e o fim da estação seca (ARAÚJO et al., 2007; RICHARDSON et al., 2013).

Para melhor compreensão do impacto das mudanças climáticas no comportamento fenológico de espécies herbáceas, arbustivas e arbóreas, serão listados a seguir estudos em diferentes formações vegetacionais proveniente de regiões brasileiras e em outras partes do mundo. Na vegetação da caatinga as plantas lenhosas tendem a ajustar-se à variação adotando estratégias positivas e eficientes para economia de água, sincronizando a produção de folhas, floração, frutificação, dispersão, germinação, crescimento, acúmulo de água no caule, incremento e mortalidade populacional no

período chuvoso (MACHADO et al., 1997; ARAÚJO et al., 2007; SILVA et al., 2008; LIMA e RODAL, 2010; OLIVEIRA et al. 2015). Outro exemplo nestes ambientes são as espécies herbáceas terófitas, estrategicamente adaptadas a estas condições de semiaridez com ciclo de vida compreendido no período chuvoso na vegetação da caatinga (ARAÚJO et al., 2002; ARAÚJO et al., 2005). Enquanto as geófitas armazenam nutrientes em suas raízes e permanecem em latência no solo, suprimindo qualquer estrutura que contenha um meristema visível, finalizando os processos fenológicos no período de seca (CORNELISSEN et al., 2003; KHODOROVA e BOITEL-CONTI, 2013), podendo também ser considerada uma forma de evasão do estresse hídrico (MORENO, 2008). Ambas podem pulsar no tempo e apresentar mudanças na densidade entre anos, possivelmente correlacionado a irregularidades nos valores totais pluviométricos (REIS et al., 2006; SILVA et al., 2015).

Em estudos no cerrado, a alternância das estações climáticas definem os padrões de crescimento de espécies lenhosas e herbáceas, sendo os períodos chuvosos associados aos padrões da floração e frutificação (BATALHA e MARTINS, 2004; GOTTSBERGER e SILBERBAUER-GOTTSBERGER, 2006). Avaliando os eventos reprodutivos de 366 espécies de plantas do cerrado de microhabitats ciliares Silva et al. (2011) mostraram correlações positivas da disponibilidade de umidade do solo e variáveis climáticas, como a precipitação.

Estudos realizados com árvores em florestas semidecíduas no sudeste do Brasil afirmam que as espécies maximizam o ganho de carbono na estação chuvosa, através do desenvolvimento da copa, para ter ganhos com o florescimento e uma alta produtividade dos frutos, porém durante a estação seca perdem parcialmente as folhas como forma adaptativa ao déficit hídrico (PEDRONI et al., 2002).

Todavia, existem irregularidades na distribuição das chuvas dentro do período chuvoso destas regiões, apresentando mudanças na quantidade e número de eventos, com anos muitos secos ou muitos chuvosos (ARAÚJO et al., 2007; ALBUQUERQUE et al., 2012; ZEPPEL et al., 2014; SILVA et al., 2015) cujo efeito sobre os atributos vegetativos e reprodutivos de herbáceas anuais e perenes de ambientes semiáridos ainda são escassos e não compreendidos (MORENO et al., 2008). Em uma série de estudos de 1995 a 2008 envolvendo espécies herbáceas anuais e perenes em uma pastagem no semiárido montanhoso dos Estados Unidos, constatou que 75% das 32 espécies estudadas tiveram mudanças no ritmo fenológico reprodutivo, antecipando gradativamente o período de floração, influenciados pelas variações pluviométricas

(LESICA e KITTELSON, 2010). Em concordância, Parmesan (2006) realizando estudos com mais de 400 espécies vegetais nos diferentes hábitos em regiões temperadas e tropicais, revelou uma tendência para florescimento precoce em resposta à mudança climática. Em adição, Duneel e Travers (2010) realizaram estudos fenológicos durante quatro anos em conjunto com as observações históricas feitas na região de Dakota do Norte (EUA), relatando as primeiras datas de floração de espécies vegetais em todos os hábitos entre 1910 e 1961. Os mesmos constataram que 75% de 178 espécies observadas apresentaram mudanças fenológicas em função das variações da temperatura ou precipitação, sendo 5% a 17% destas espécies mudaram significativamente a sua primeira época de floração seja mais cedo ou mais tarde em relação ao século anterior.

De um modo geral, grupos de cientistas defendem o efeito das reduções hídricas como um fator que promove a floração e frutificação antecipadamente em herbáceas e subarbustos (MENZEL et al., 2006; MATESANZ et al., 2009; SHARP et al., 2009; KAZAN, 2016; TAKENO, 2016), enquanto outros relatam um retardamento em função da redução hídrica (PRIETO et al., 2008; CRIMMINS et al., 2010). Entretanto, a maior retenção de água no solo mediado pelo quantitativo de chuvas parece ser primordial para desencadear os processos reprodutivos e não a frequência das regas (MIRANDA, 2014). Em consequência disso, pode gerar vários impactos entre a data fenológica de plantas e o ciclo de vida de animais, afetando os processos de polinização (LESICA e KITTELSON, 2010) e efeitos negativos em herbívoros que dependem das espécies para a alimentação (STENSETH e MYSTERUD, 2002; SAAVEDRA et al., 2003) e que auxiliam na dispersão dos frutos. Todavia, sob algumas circunstâncias, alterar o tempo de floração pode ser vantajoso para muitas espécies, utilizando esta estratégia como forma de evitar o ataque de insetos (KAZAN, 2016).

Nos últimos anos é crescente o interesse nos estudos fenológicos de espécies vegetais, sendo reconhecida sua importância para a ciência como indicador de impactos provocados pelas mudanças climáticas e compreensão da variabilidade fenológica existente nos ecossistemas naturais e manejados. Assim, estes estudos permitem compreender as respostas fenológicas dos organismos frente às mudanças climáticas, as quais podem afetar o processo de regeneração natural e a estrutura das comunidades vegetais (RICHARDSON et al., 2013; MORELLATO et al., 2016).

## **2.2. Respostas ecofisiológicas de espécies vegetais em função das variações hídricas em ambientes naturais e manejados**

Segundo Lambers et al. (1998) a ecofisiologia é uma ciência integradora que envolve conhecimentos ecológicos, morfológicos, fisiológicos, genéticos, químicos e físicos, sendo avaliada pelas respostas comportamentais das plantas às condições ambientais. De acordo com Araújo et al. (2005), as respostas ecofisiológicas refletem os níveis de estresse bióticos e abióticos, aos quais as plantas estão sujeitas durante o seu ciclo de vida. Outro ramo de estudo recentemente difundido entre os cientistas é a ecologia que revela como padrões espaciais da vegetação exerce controles em gradientes horizontais e verticais na umidade do solo. O *feedback* pode afetar a dinâmica da vegetação através de seus efeitos sobre o estabelecimento e crescimento das plantas, bem como nos processos fenológicos (CHOLER et al., 2010), nas interações competitivas e nos processos sucessionais (ASBJORNSEN et al., 2011).

As respostas da planta à escassez de água são complexas, envolvendo mudanças adaptativas e/ou efeitos deletérios. No campo, essas respostas podem ser sinergicamente ou antagonicamente modificadas pela superposição de outros estresses (CHAVES et al. 2002). Assim como em muitas espécies arbóreas, as herbáceas presentes nas regiões semiáridas desenvolvem mecanismos ou estratégias categorizadas em escape à seca ou tolerância como respostas de ajustes as condições do déficit hídrico (CHAVES et al., 2002; NOGUEIRA et al., 2005; ARAÚJO, 2005; MORENO et al., 2008; KOOYERS, 2015). No mecanismo de escape, as plantas herbáceas anuais apresentam ciclo reprodutivo curto, adaptadas à produção de um banco de sementes no período chuvoso, garantindo a perpetuação das espécies no período seco. Essa estratégia de fuga pode contar com a reprodução bem sucedida, ocorrendo uma maior taxa de crescimento, armazenamento eficiente e uso de reservas para produção de sementes (CHAVES et al., 2003; NOGUEIRA et al., 2005; MORENO et al., 2008; KOOYERS, 2015). Exemplos de herbáceas que apresentam estratégias de escape à seca são as espécies terófitas que completam todo seu ciclo de vida no período chuvoso (ARAÚJO et al., 2002; ARAÚJO et al., 2007).

No mecanismo de tolerância à seca em baixo potencial hídrico, as herbáceas podem manter ativos os processos biológicos armazenando nutrientes, permanecendo em latência no solo, suprimindo qualquer estrutura que contenha um meristema visível no período de seca, podendo também ser considerada uma forma de evasão do estresse

hídrico (MORENO et al., 2008). Dentre as herbáceas que apresentam estas estratégias estão as espécies perenes, no caso as geófitas, consideradas espécies dormentes (KHODOROVA e BOITEL-CONTI, 2013). No mecanismo de tolerância à seca com alto potencial hídrico, as plantas reduzem a transpiração, como economia hídrica, através do fechamento dos estômatos, mudanças na área foliar, senescências das folhas mais velhas e aumento da capacidade de absorção da água em regiões mais profundas do solo, investindo no prolongamento das raízes (CHAVES et al. 2002; XU et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2015).

De modo geral, em relação aos aspectos vegetativos, na maioria dos vegetais, um déficit hídrico durante as fases vegetativas podem ser refletidas em reduções drásticas do crescimento de tecidos em expansão (PEÑUELAS et al., 2004; MORENO et al., 2008; MIRANDA et al., 2009; BERNAL et al., 2011; MULLER et al., 2011; TARDIEU et al., 2011; TARDIEU, 2014), afetando a produtividade do vegetal (CORREIA et al., 2016; GIBSON-FORTY, 2016). Assim, apresentando menores valores em altura, redução nas características foliares e aceleração da maturidade física da população (YOUSFI et al., 2015; WANG et al., 2009). Na Caatinga, uma floresta seca brasileira, as herbáceas apresentaram reduzidas alturas e diâmetro, quando comparadas entre anos, influenciadas pelas variações na distribuição dos regimes de chuva (REIS et al., 2006; BECERRA, 2014). Desta forma, acredita-se que o menor quantitativo de chuva tem um efeito negativo maior do que a redução da frequência deste índice (GIBSON-FORTY, 2016).

Um das fortes explicações difundidas entre autores sobre a redução drástica do crescimento de herbáceas e arbustos nas condições de déficit hídrico é provocado pelo declínio das respostas estomáticas, gerando limites na absorção de CO<sub>2</sub> e por fim, redução da atividade fotossintética (CHAVES et al., 2002; XU, 2010; OSAKABE, 2014). Além disso, a produção dos hormônios etileno e hormônio ácido abscísico (ABA) são também responsáveis por regular as respostas das plantas ao déficit hídrico, controlando o crescimento de espécies vegetais em condições de seca (GOLLDACK, 2014).

Em relação às respostas reprodutivas, o efeito das variações temporais, bem como diferentes níveis de administração hídrica, podem provocar declínios na produção de flores, frutos e sementes em subarbustos e herbáceas perenes do semiárido tanto em ambientes naturais e quanto manejados (BORCHERT, 1994; PÉREZ et al., 2006; ARAÚJO et al., 2007; MORELLATO et al., 2013; BECERRA, 2014; ZEPPEL et al.,

2014; MIRANDA et al., 2014; YOUSFI et al., 2015). Todavia, em ambientes semiáridos, podem existir espécies vegetais adaptadas, que desenvolvem estratégias produzindo menor quantidade de flores e maior produção de sementes, conferindo maior sucesso reprodutivo, entretanto níveis críticos de aridez promovem redução em todos os atributos (XIE et al., 2016). Uma série de estudos realizados com pequenos arbustos no semiárido mediterrâneo, mantidos em déficit hídrico, mostrou reduções significativas na quantidade de flores produzidas, dentre eles, a espécie *Dorycnium pentaphyllum* Rchb apresentou redução de 40% a 44% na quantidade de flores produzidas; no caso de *E. multiflora*, foi constatada inflorescências com 15% a 23% em reduções na densidade de flores. (CHACO et al., 2013). Su et al. (2013) realizando estudos com *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. herbácea que vivem sob a limitação de água em regiões europeias e asiáticas, mostraram que a menor disponibilidade hídrica reduziu o número e tamanho das flores, comprimentos de órgãos florais, no comprimento dos estames e pistilos, bem como, anteras e o desenvolvimento do pólen foram afetados, resultando numa diminuição na produção de sementes. Corroborando com os dados apresentados, Sharp et al. (2009), afirmam que a permanência da deficiência hídrica durante o desenvolvimento das flores, pode antecipar a antese em botões prematuros.

Estudos simulando a redução hídrica, realizados em espécies com potenciais econômicos, como cereais, mostraram que as mesmas assimilam o carbono durante o alongamento e sua capacidade de armazenamento da haste floral é reduzida em estresse hídrico, e apontam que o número de grãos produzidos é altamente dependente das condições ambientais, antes e durante a formação da flor (SINCLAIR e JAMIESON, 2006). O estresse pode resultar também no aumento da esterilidade do pólen em cereais (BARNABÁS et al., 2008). Em estudos com milho, inferem que o estresse hídrico pode causar um atraso considerável no desenvolvimento dos órgãos do sexo feminino, enquanto a inflorescência masculina é menos afetada, devido ao aumento da produção de ácido abscísico (BLUM et al., 2000). Este estresse pode também inibir a divisão celular e prejudicar a flor, em seguida, o desenvolvimento da semente (YANG et al., 2001). A redução da disponibilidade de água pode também proporcionar à inibição do processo fotossintético, diminuição do fornecimento de nutrientes para os órgãos reprodutores, bloqueando assim, o desenvolvimento de estruturas reprodutivas e causando inclusive o aborto (MÄKELÄ et al., 2005). Em adição, pode ocorrer também a inibição do desenvolvimento dos grãos de pólen, que leva à esterilidade masculina, ou

então ocorrer à produção de grãos pólen mal desenvolvidos que apresentam dificuldades de adesão à superfície do estigma, impedindo o crescimento do tubo polínico (FRANCHI et al., 1996).

Assim, o conhecimento dos aspectos ecofisiológicos das plantas, avaliado pelas respostas comportamentais das espécies vegetais frente às variações das condições ambientais, são importantes para entender os seguintes aspectos: o comportamento reprodutivo e vegetativo; sua influência anual sobre a alimentação do banco de sementes (SANTOS et al., 2013); sobre os processos de recrutamento (PEÑUELAS et al. 2004) e as condições de sobrevivência das espécies vegetais (BERNARD e TOFT, 2007; MIRANDA et al., 2014). Desta forma, são imprescindíveis para o desenvolvimento de práticas de manejo, pois o padrão climático da região nordeste constitui um forte fator de influência nas condições de sobrevivência (ARAÚJO et al., 2005).

### **3. Referencias Bibliográficas**

ALBUQUERQUE, U.P.; ARAÚJO, E.L.; EL-DEIR, A.C.A.; LIMA, A.L.A.; SOUTO, A.; BEZERRA, B.M.; MOURA, G.J.B. Caatinga Revisited: Ecology and Conservation of an Important Seasonal Dry Forest. *The Scientific World Journal*, vol. 2012, p.1-18, 2012.

ARAGÓN, C.F.; ESCUDERO, A.; VALLADARES, F.. Stress-induced dynamic adjustments of reproduction differentially affect fitness components of a semi-arid plant. *Journal of Ecology*, v. 96, n. 1, p. 222-229, 2008.

ARAÚJO, E.L.; ALBUQUERQUE, U.P.; CASTRO, C.C. Dynamics of Brazilian caatinga - a review concerning the plants, environment and people. *Functional Ecosystems & Communities*, vol.1, p. 15-29, 2007.

ARAÚJO, E.L.; SILVA, K.A.; FERRAZ, E.M.N.; SAMPAIO, E.V.D.S.B.; SILVA, S.I. Diversidade de herbáceas em microhabitats rochoso, plano e ciliar em uma área de caatinga, Caruaru, PE, Brasil. *Acta bot. bras.*, v. 19, n. 2, p. 285-294, 2005.

ARAÚJO, E.L.; SILVA, S.L.; FERRAZ, E.M.N.. Herbáceas da Caatinga de Pernambuco. In: SILVA, J. M., TABARELLI, M. *Diagnóstico da biodiversidade do estado de Pernambuco*. SECTMA, Recife, pp.183-206, 2002.

ASBJORNSEN, H.; GOLDSMITH, G.R.; ALVARADO-BARRIENTOS, M.S.; REBEL, K.; VAN OSCH, F.P.; RIETKERK, M.; GOMEZ-TAGLE, A. Ecohydrological advances and applications in plant–water relations research: a review. *Journal of Plant Ecology*, v. 4, n. 1-2, p. 3-22, 2011.

BARNABÁS, B.; J., K.; FEHÉR, A. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant, cell & environment*, v. 31, n. 1, p. 11-38, 2008.

BATALHA, M. A.; MARTINS, F. R. Floristic, frequency, and vegetation life-form spectra of a cerrado site. *Brazilian Journal of Biology*, vol.64, n.2, p. 201-209, 2004.

BECERRA, J.A.B. Influence of the rainfall seasonal variability in the caatinga vegetation of ne Brazil by the use of time-series. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, v. 4, n. 1, p. 31-44, 2014.

BENARD, R.B.; TOFT, C.A. Effect of Seed Size on Seedling Performance in a Long-Lived Desert Perennial Shrub (*Ericameria nauseosa*: Asteraceae). *International Journal of Plant Sciences*, v. 168, n. 7, p. 1027-1033, 2007.

BERNAL, M.; ESTIARTE, M.; PEÑUELAS, J. Drought advances spring growth phenology of the Mediterranean shrub *Erica multiflora*. *Plant Biology*, v. 13, n. 2, p. 252-257, 2011.

BLUM, A. Towards standard assays of drought resistance in crop plants. *Production in Water-Limited Environments*, p. 29, 2000.

BORCHERT, R. Soil and stem water storage determine phenology and distribution of tropical dry forest trees. *Ecology*, v. 75, n. 5, p. 1437-1449, 1994.

CACHO, M.; PEÑUELAS, J.; LLORET, F. Reproductive output in Mediterranean shrubs under climate change experimentally induced by drought and warming. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, v. 15, n. 6, p. 319-327, 2013.

CACHO, M.; PEÑUELAS, J.; LLORET, F. Reproductive output in Mediterranean shrubs under climate change experimentally induced by drought and warming. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, v. 15, n. 6, p. 319-327, 2013.

- CARVALHO, F. S.; SARTORI, A. L. B. Reproductive phenology and seed dispersal syndromes of woody species in the Brazilian Chaco. *Journal of Vegetation Science*, v. 26, n. 2, p. 302-311, 2015
- CHAVES, M.M.; MAROCO, J.P.; PEREIRA, J.S. Understanding plant responses to drought—from genes to the whole plant. *Functional plant biology*, vol. 30, n. 3, p. 239-264, 2003.
- CHAVES, M.M.; PEREIRA, J.S.; MAROCO, J.; RODRIGUES, M.L.; RICARDO, C.P.P.; OSÓRIO, M.L.; PINHEIRO, C. How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth. *Annals of botany*, v. 89, n. 7, p. 907-916, 2002.
- CHERUTH, A.J.; KURUP, S.S.; SUBRAMANIAM, S. Variations in hormones and antioxidant status in relation to flowering in early, mid, and late varieties of date palm (*Phoenix dactylifera*) of United Arab Emirates. *The Scientific World Journal*, v. 2015, 2015.
- CHOLER, P. A; CHOLER, P.; SEA, W.; BRIGGS, P.; RAUPACH, M.; LEUNING, R. Simple ecohydrological model captures essentials of seasonal leaf dynamics in semi-arid tropical grasslands. *Biogeosciences*, v. 7, n. 3, p. 907-920, 2010.
- CORNELISSEN, J.H.C.; LAVOREL, S.; GARNIER, E.; DIAZ, S.; BUCHMANN, N.; GURVICH, D.E.; PAUSAS, J.G. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian journal of Botany*, v. 51, n. 4, p. 335-380, 2003.
- CORREIA, A.C.; COSTA-E-SILVA, F.; DUBBERT, M.; PIAYDA, A.; PEREIRA, J. S. Severe dry winter affects plant phenology and carbon balance of a cork oak woodland understorey. *Acta Oecologica*, v. 76, p. 1-12, 2016.
- CRIMMINS, T.M.; CRIMMINS, M.A.; DAVID BERTELSEN, C. Complex responses to climate drivers in onset of spring flowering across a semi-arid elevation gradient. *Journal of Ecology*, v. 98, n. 5, p. 1042-1051, 2010.
- DAI, A. Increasing drought under global warming in observations and models. *Nature Climate Change*, v. 3, n. 1, p. 52-58, 2013.

FRANCHI, G.G.; FRANCHI, G.G.; BELLANI, L.; NEPI, M.; PACINI, E. Types of carbohydrate reserves in pollen: localization, systematic distribution and ecophysiological significance. *Flora*, v. 191, p. 143-159, 1996.

GARIGLIO, M. A.; GARIGLIO, M.A.; SAMPAIO, E.D.S.; CESTARO, L.A.; KAGEYAMA, P.Y. *Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga. Serviço Florestal Brasileiro-SFB*, 2010.

GIBSON-FORTY, E.V.; BARNETT, K.L.; TISSUE, D.T.; POWER, S.A. Reducing rainfall amount has a greater negative effect on the productivity of grassland plant species than reducing rainfall frequency. *Functional Plant Biology*, v. 43, n. 4, p. 380-391, 2016.

GOLLDACK, D.; LI, C.; MOHAN, H.; PROBST, N. Tolerance to drought and salt stress in plants: unraveling the signaling networks. *Abiotic Stress: Molecular Genetics and Genomics*, p. 15, 2014.

GOTTSBERGER, G.; SILBERBAUER-GOTTSBERGER, I. Life in the Cerrado: a South American Tropical Seasonal Vegetation, Vol. II. *Pollination and seed dispersal*. Reta Verlag, Ulm, 2006.

HOSOKAWA, R.T.; MOURA, J.B.; CUNHA, U.S. *Introdução ao manejo e economia de florestas*. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1998.162p.

JONGEN, M.; HELLMANN, C.; UNGER, S. Species-specific adaptations explain resilience of herbaceous understorey to increased precipitation variability in a Mediterranean oak woodland. *Ecology and evolution*, v. 5, n. 19, p. 4246-4262, 2015.

KAZAN, K.; LYONS, R. The link between flowering time and stress tolerance. *Journal of experimental botany*, v. 67, n. 1, p. 47-60, 2016.

KHODOROVA, N.V.; BOITEL-CONTI, M. The role of temperature in the growth and flowering of geophytes. *Plants*, v. 2, n. 4, p. 699-711, 2013.

KOOYERS, N.J. The evolution of drought escape and avoidance in natural herbaceous populations. *Plant Science*, v. 234, p. 155-162, 2015.

LAMBERS, H.; CHAPIN, F. S.; PONS, T. L. *Plant physiological ecology*. New York: Springer-Verlag, 1998. 540p.

- LANDRUM, J.V. Four succulent families and 40 million years of evolution and adaptation to xeric environments: What can stem and leaf anatomical characters tell us about their phylogeny? *Taxon*, v. 51, n. 3, p. 463-473, 2002.
- LELIÈVRE, F.; SEDDAIU, G.; LEDDA, L.; PORQUEDDU, C.; VOLAIRE, F. Water use efficiency and drought survival in Mediterranean perennial forage grasses. *Field Crops Research*, v. 121, n. 3, p. 333-342, 2011.
- LESICA, P.; KITTELSON, P.M. Precipitation and temperature are associated with advanced flowering phenology in a semi-arid grassland. *Journal of Arid Environments*, v. 74, n. 9, p. 1013-1017, 2010.
- LIMA, A.L.A.; RODAL, M.J.N. The phenology and wood density of plants growing in the semi-arid region of northeastern Brazil. *Journal of Arid Environments*, v. 73, p. 1363-1373, 2010.
- LLORENS, L.; PENUELAS, J.; ESTIARTE, M.; BRUNA, P. Contrasting growth changes in two dominant species of a Mediterranean shrubland submitted to experimental drought and warming. *Annals of Botany*, v. 94, n. 6, p. 843-853, 2004.
- LU, N.; CHEN, S.; WILSKE, B.; SUN, G.; CHEN, J. Evapotranspiration and soil water relationships in a range of disturbed and undisturbed ecosystems in the semi-arid Inner Mongolia, China. *Journal of Plant Ecology*, v. 4, n. 1-2, p. 49-60, 2011.
- MACHADO, I.C.; BARROS, L.M.; SAMPAIO, E.V.S.B. Phenology of caatinga species at Serra Talhada, PE, Northeastern Brazil. *Biotropica*. vol. 29, p. 57-68, 1997.
- MÄKELÄ, P.; MCLAUGHLIN, J.E.; BOYER, J.S. Imaging and quantifying carbohydrate transport to the developing ovaries of maize. *Annals of Botany*, v. 96, n. 5, p. 939-949, 2005.
- MARTÍNEZ, J.P.; Lutts, S.; Schanck, A.; Bajji, M.; Kinet, J. M. Is osmotic adjustment required for water stress resistance in the Mediterranean shrub *Atriplex halimus* L? *Journal of plant physiology*, v. 161, n. 9, p. 1041-1051, 2004.
- MATESANZ, S.; ESCUDERO, A.; VALLADARES, F. Impact of three global change drivers on a Mediterranean shrub. *Ecology*, v. 90, n. 9, p. 2609-2621, 2009.

MENZEL, A.; SPARKS, T. H.; ESTRELLA, N.; KOCH, E.; AASA, A.; AHAS, R.; CHMIELEWSKI, F.M. European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global change biology*, v. 12, n. 10, p. 1969-1976, 2006.

MIRANDA, J.; JORQUERA, M.J.; PUGNAIRE, F. I. Phenological and reproductive responses of a semiarid shrub to pulsed watering. *Plant ecology*, v. 215, n. 7, p. 769-777, 2014.

MIRANDA, J.; PADILLA, F.M.; PUGNAIRE, F.I. Response of a Mediterranean semiarid community to changing patterns of water supply. *Perspectives in plant ecology, Evolution and Systematics*, v. 11, n. 4, p. 255-266, 2009.

MORELLATO, L.P.C. As estações do ano na floresta. in: LEITÃO FILHO, H.F. & MORELLATO, L.P.C. (Orgs.). *Ecologia e preservação de uma floresta tropical urbana: Reserva de Santa Genebra*. Campinas: UNICAMP, pp.187-192, 1995.

MORELLATO, L.P.C.; ALBERTON, B.; ALVARADO, S. T.; BORGES, B.; BUISSON, E.; CAMARGO, M. G.G.; MENDOZA, I. Linking plant phenology to conservation biology. *Biological Conservation*, v. 195, p. 60-72, 2016.

MORELLATO, L.P.C.; CAMARGO, M.G.G.; GRESSLER, E. A review of plant phenology in South and Central America. In: Phenology: An Integrative Environmental Science. *Springer Netherlands*, 2013. p. 91-113.

MORENO, M.; GULÍAS, J.; LAZARIDOU, M.; MEDRANO, H.; CIFRE, J. Ecophysiological strategies to overcome water deficit in herbaceous species under Mediterranean conditions. *Cahiers Options Méditerranèennes*, v. 79, p. 247-256, 2008.

MULLER, B.; PANTIN, F.; GÉNARD, M.; TURC, O.; FREIXES, S.; PIQUES, M.; GIBON, Y. Water deficits uncouple growth from photosynthesis, increase C content, and modify the relationships between C and growth in sink organs. *Journal of Experimental Botany*, v. 62, n. 6, p. 1715-1729, 2011.

NOGUEIRA, R.J.M.C. et al. Aspectos ecofisiológicos da tolerância à seca em plantas da caatinga. In: NOGUEIRA, R. J. M. C. et al. Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2005.500p.

OLIVEIRA, C.C.; ZANDEVALLI, R. B., LIMA, A. L. A., & RODAL, M. J. N. Functional groups of woody species in semi-arid regions at low latitudes. *Austral Ecology*, v. 40, n. 1, p. 40-49, 2015.

OLIVEIRA, C.C.; ZANDEVALLI, R.B.; LIMA, A.L.A.; RODAL, M.J.N. Functional groups of woody species in semi-arid regions at low latitudes. *Austral Ecology (Print)*, vol. 40, pp. 40-49, 2015.

OSAKABE, Y.; SHINOZAKI, K.; TRAN, L.S.P. Response of plants to water stress. *Frontiers in plant science*, v. 5, p. 86, 2014.

PARMESAN, C. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, p. 637-669, 2006.

PEDRONI, F.; SANCHEZ, M.; SANTOS, L.A.M. Fenologia da copaíba (*Copaifera langsdorffii* Desf. – Leguminosae, Caesalpinioideae) em uma floresta semi-decídua no sudeste do Brasil. *Revista Brasil. Bot.*, vol. 25, n.2, p.183-194, 2002.

PENUELAS, J.; GORDON, C.; LLORENS, L.; NIELSEN, T.; TIETEMA, A.; BEIER, C.; GORISSEN, A. Nonintrusive field experiments show different plant responses to warming and drought among sites, seasons, and species in a north–south European gradient. *Ecosystems*, v. 7, n. 6, p. 598-612, 2004.

PÉREZ, E.M.; MAR WEISZ, M.; LAU, P.; BULLA, L. Granivory, seed dynamics and suitability of the seed-dish technique for granivory estimations in a neotropical savanna. *Journal of Tropical Ecology*, v. 22, n. 03, p. 255-265, 2006.

PÉREZ-HARGUINDEGUY, N.; DÍAZ, S.; GARNIER, E.; LAVOREL, S.; POORTER, H.; JAUREGUIBERRY, P.; URCELAY, C. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of botany*, v. 61, n. 3, p. 167-234, 2013.

PRIETO, P. PEÑUELAS, J.; OGAYA, R.; ESTIARTE, M. Precipitation-dependent flowering of *Globularia alypum* and *Erica multiflora* in Mediterranean shrubland under experimental drought and warming, and its inter-annual variability. *Annals of botany*, v. 102, n. 2, p. 275-285, 2008.

REIS, A.M.S.; ARAÚJO, E.L.; FERRAZ, E.M.N.; MOURA, A.N. Inter-annual variations in the population structure of an herbaceous of caatinga vegetation in Pernambuco, Brazil. *Revista Brasileira de Botânica (Impresso)*, v.3, p.497-508, 2006.

RICHARDSON, A.D.; KEENAN, T. F., MIGLIAVACCA, M., RYU, Y., SONNENTAG, O.; TOOMEY, M. Climate change, phenology, and phenological control of vegetation feedbacks to the climate system . *Agricultural and Forest Meteorology*. vol. 169, p.156–173, 2013.

SAAVEDRA, F.; INOUE, D.W.; PRICE, M.V.; HARTE, J. Changes in flowering and abundance of *Delphinium nuttallianum* (Ranunculaceae) in response to a subalpine climate warming experiment. *Global Change Biology*, v. 9, n. 6, p. 885-894, 2003.

SANTOS, D.M.; SILVA, K.A.; ALBUQUERQUE, U.P.; SANTOS, J. M.F.F.; LOPES, C.G.R.; ARAÚJO, E.L. Can spatial variation and inter-annual variation in precipitation explain the seed density and species richness of the germinable soil seed bank in a tropical dry forest in north-eastern Brazil? *Flora* (Jena), p.on line, 2013a.

SANTOS, J.M.F.F.; SANTOS, D.M.; LOPES, C.G.R.; SILVA, K.A.; SAMPAIO, E.V.S.B.; ARAÚJO, E.L. Natural regeneration of the herbaceous community in a semiarid region in Northeastern Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment (Print)*. vol.185, p.1-16, 2013b.

SHARP, R.G.; ELSE, M.A.; CAMERON, R.W.; DAVIES, W.J. Water deficits promote flowering in *Rhododendron* via regulation of pre and post initiation development. *Scientia Horticulturae*, v. 120, n. 4, p. 511-517, 2009.

SILVA, K.A.; ANDRADE, J. R., SANTOS, J.M.F.F.D.; LOPES, C.G.R., FERRAZ, E.M.N., ALBUQUERQUE, U.P., ARAÚJO, E.L. Effect of temporal variation in precipitation on the demography of four herbaceous populations in a tropical dry forest area in Northeastern Brazil. *Revista de Biología Tropical*, v. 63, n. 4, p. 903-914, 2015.

SILVA, K.A.; LIMA, E.M.; SANTOS, J.M.F.F.; ANDRADE, J.R.; SANTOS, D.M.; SAMPAIO, E.V.S.B.; ARAÚJO, E.L. Dinâmica de gramíneas em uma área de caatinga de Pernambuco-Brasil pp. 105-129. 2008. In: MOURA, A.N.; ARAÚJO, E.L.; ALBUQUERQUE, U.P. (Eds.). *Biodiversidade, potencial econômico e processos eco-fisiológicos em ecossistemas nordestinos*. Recife: Editora Comunigraf.

SINCLAIR, T.R.; JAMIESON, P.D. Grain number, wheat yield, and bottling beer: An analysis. *Field Crops Res.*, vol. 98, pp. 60–67, 2006.

SOUZA, A.L.; SCHETTINO, S.; JESUS, R.M. Natural regeneration dynamics of a secondary dense ombrophylous forest, after vine cutting at Vale do Rio Doce S.A. Natural Reserve in Espírito Santo, Brazil. *Revista Árvore*, vol.26, n.4, p.411-419, 2002.

STENSETH, N.C.; MYSTERUD, A. Climate, changing phenology, and other life history traits: nonlinearity and match–mismatch to the environment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 99, n. 21, p. 13379-13381, 2002.

SU, Z.; MA, X.; GUO, H.; SUKIRAN, N.L.; GUO, B.; ASSMANN, S.M.; MA, H. Flower development under drought stress: morphological and transcriptomic analyses reveal acute responses and long-term acclimation in Arabidopsis. *The Plant Cell*, v. 25, n. 10, p. 3785-3807, 2013.

TAKENO, K. Stress-induced flowering: the third category of flowering response. *Journal of Experimental Botany*, v. 67, n. 17, p. 4925-4934, 2016.

TARDIEU, F. Plant response to environmental conditions: assessing potential production, water demand, and negative effects of water deficit. *Drought phenotyping in crops: From theory to practice*, p. 42, 2014.

TARDIEU, F.; GRANIER, C.; MULLER, B. Water deficit and growth. Co-ordinating processes without an orchestrator? *Current opinion in plant biology*, v. 14, n. 3, p. 283-289, 2011.

VICENTE-SERRANO, S.M.; GOUVEIA, C.; CAMARERO, J.J.; BEGUERÍA, S.; TRIGO, R.; LÓPEZ-MORENO, J. I.; MORÁN-TEJEDA, E. Response of vegetation to drought time-scales across global land biomes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 110, n. 1, p. 52-57, 2013.

WANG, Y.H.; HE, W.M.; YU, F.H.; ZHANG, L.L.; CUI, Q.G.; CHU, Y.; DONG, M. Brushing effects on the growth and mechanical properties of *Corispermum mongolicum* vary with water regime. *Plant Biology*, v. 11, n. 5, p. 694-700, 2009.

WILLIAMS-LINERA, G., MEAVE, H. Patrones fenológicos. In: Guariguata, M.R., Kattan, G.H. (Eds.), *Ecología y Conservación de Bosques Neotropicales*. Libro Universitario Regional, Cartago, pp. 407–431. 2002.

WOOD, J.R.I.; MENDOZA, F.J. Taxonomic revision of *Talinum* (Talinaceae) in Bolivia with a note on the occurrence of *Phemeranthus* (Montiaceae). *Kew Bulletin*, v. 68, n. 2, p. 233-247, 2013.

XIE, L.; GUO, H.; MA, C. Alterations in flowering strategies and sexual allocation of *Caragana stenophylla* along a climatic aridity gradient. *Scientific Reports*, v. 6, 2016.

XU, Z.; ZHOU, G.; SHIMIZU, H. Plant responses to drought and rewatering. *Plant signaling & behavior*, v. 5, n. 6, p. 649-654, 2010.

YOUSFI, N.; SAÏDI, I.; SLAMA, I.; ABDELLY, C. Phenology, leaf gas exchange, growth and seed yield in *Medicago polymorpha* L. populations affected by water deficit and subsequent recovery. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, v. 214, p. 50-60, 2015.

ZEPPEL, M.J.B.; WILKS, J.V.; LEWIS, J.D. Impacts of extreme precipitation and seasonal changes in precipitation on plants. *Biogeosciences*, v. 11, n. 11, p. 3083-3093, 2014.

## **Manuscrito**

---

Artigo desenvolvido durante o projeto de mestrado em botânica a ser submetido para o periódico *Journal of Plant Ecology*.

## Respostas vegetativas e reprodutivas de *Talinum paniculatum* (Jacq.) Gaertn à redução de disponibilidade de água

Bruno Ayron de Souza Aguiar<sup>1\*</sup>, André Maurício Melo Santos<sup>2</sup>, Jefferson Thiago de Souza<sup>3</sup> e Elcida de Lima Araújo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Biologia, Av. Dom Manoel de Medeiros Recife-PE.

<sup>2</sup> Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico de Vitória (CAV), Rua Alto do Reservatório, Vitória de Santo Antão-PE

<sup>3</sup> Universidade Estadual de Alagoas, Campus III, Rodovia Eduardo Alves da Silva, Palmeiras dos Índios, Alagoas.

\*Endereço para correspondência: Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Biologia, Av. Dom Manoel de Medeiros Recife-PE. E-mail: bruno\_ayron@hotmail.com

### Resumo

#### Objetivos

Em ambientes semiáridos, a disponibilidade hídrica no solo é afetada pela sazonalidade e irregularidade da distribuição das chuvas, com consequências marcantes sobre o crescimento vegetativo e reprodutivo, bem como sobre o ritmo fenológico das espécies. Objetivou-se conhecer as respostas vegetativas, reprodutivas e fenológicas de *Talinum paniculatum*, uma herbácea de ambientes semiáridos, em função da redução controlada de oferta de água.

#### Métodos

Em casa de vegetação 150 indivíduos desde o estágio de plântulas até a completa maturação da geófito *T. paniculatum* foram submetidas a três tratamentos de deficiência hídrica: T1: controle, T2: 50% da capacidade de pote (cp); T3: 25% da cp, sendo 50 repetições por tratamento. O crescimento vegetativo (altura, diâmetro, entrenó, produção de folhas, comprimento e largura de folha, área foliar) e reprodutivo (produção de flores, frutos e sementes, morfometria de flores e frutos, antese e viabilidade de sementes), bem como, a fenologia das plantas (brotamento, senescência e abscisão foliar, floração, frutificação,

deiscência dos frutos) foram monitoradas. Diferença nas respostas vegetativas, reprodutivas e fenológicas entre os tratamentos, e percentual explicativo da água, foram avaliadas através de GLM, incorporando Anova, com teste *Tukey* a posteriori.

#### Importantes achados

As respostas vegetativas, reprodutivas e fenológicas diferiram significativamente entre os tratamentos, com ausência total de floração e frutificação no T3. O poder explicativo da água variou de 21 a 71% para os atributos vegetativos, de 41 a 97% para os atributos reprodutivos e de 5 a 61% no ritmo fenológico. No geral, reduções na disponibilidade de água induziram reduções drásticas no crescimento e fenologia de *T. paniculatum* e desproporcionais ao percentual de água ofertado. Nossos resultados sinalizam que reduções na disponibilidade de água do solo das florestas podem gerar danos significativos na vegetação herbácea, reduzindo a cobertura do solo e a produção de sementes que renova anualmente o estoque do banco do solo das florestas.

**Palavras chave:** atributos, deficiência hídrica, herbáceas, caatinga

## INTRODUÇÃO

Em ambientes semiáridos, a heterogeneidade temporal e espacial da disponibilidade hídrica (Gargalio *et al.* 2010; Asbjornsen *et al.* 2011; Albuquerque *et al.* 2012; Zeppel *et al.* 2014) influencia as manifestações dos eventos fenológicos vegetativos e reprodutivos das plantas (Morellato *et al.* 2013; Richardson *et al.* 2013). Apesar de muitas espécies ajustarem-se às variações do ritmo das chuvas (Jongen *et al.* 2015), o prolongamento e a intensidade da redução hídrica podem promover mudanças no tempo de duração das fenofases, bem como declínios quantitativos na produção de flores, frutos e sementes (Pérez *et al.* 2006; Becerra 2014; Miranda *et al.* 2014; Yousfi *et al.* 2015), afetando a renovação anualmente das populações de herbáceas (Araújo *et al.* 2007; Silva *et al.* 2015).

As alterações na disponibilidade de água podem causar reduções drásticas no crescimento dos tecidos em expansão (Penuelas *et al.* 2004; Miranda *et al.* 2009; Bernal *et al.* 2011; Xu *et al.* 2010; Tardieu *et al.* 2011; Muller *et al.* 2011; Tardieu 2014), afetando o acúmulo de carbono na planta (biomassa) (Correia *et al.* 2016). No geral, em resposta a deficiência hídrica as plantas podem: a) apresentar estratégias de ajustes com mudanças em processos fisiológicos e fenológicos para tolerar a deficiência, exibindo muitas vezes completa caducifólia no período seco (Oliveira *et al.* 2015); b) adotar estratégias de escape à seca, como ocorre com as terófitas que completam todo ciclo de vida no período chuvoso (Araújo *et al.* 2005; Moreno *et al.* 2008; Tardieu 2014) e c) apresentar respostas de evasão, como ocorre com as geófitas que armazenam nutrientes em suas raízes e permanecem em latência no solo no período seco (Moreno *et al.* 2008; Khodorova e Boitel-Contel 2013).

Todavia, mesmo dentro do período chuvoso pode ocorrer muita irregularidade na distribuição das chuvas, sendo possível chover abaixo ou acima da média normal da

região, bem como ocorrer ausência de chuvas por dias consecutivos (eventos secos) interrompendo o sinal chuvoso para as plantas (Sharp *et al.* 2009; Xu *et al.* 2010; Miranda *et al.* 2014). Tais irregularidades são estocásticas e afetam o desenvolvimento vegetal, especialmente no caso de plântulas recém-germinadas (Araújo *et al.* 2007; Becerra 2014; Silva *et al.* 2015). Além disso, a variação interanual no total de chuvas afeta a ocorrência de algumas espécies anuais (Reis *et al.* 2006; Silva *et al.* 2015), podendo explicar 48% da riqueza de espécies que ficam armazenadas no banco do solo das florestas de ambientes semiáridos (Santos *et al.* 2013a).

Os estudos que descrevem as respostas das plantas de ambientes semiáridos a redução simulada da disponibilidade hídrica evidenciam baixa produtividade (Miranda *et al.* 2009; Correia *et al.* 2016; Gibson-Forty 2016), atrasos na floração e variações biométricas dos aspectos reprodutivos (flores, frutos e sementes) (Prieto *et al.* 2008; Crimmins *et al.* 2010; Miranda *et al.* 2014), sendo esperado que tais respostas também ocorram nos habitats naturais. Em adição, estudos preditores das mudanças climáticas mostram que o balanço de água se tornará mais negativo em todo o mundo, principalmente em ambientes semiáridos, em consequência dos processos de aquecimento global. Este efeito aumentará a severidade da seca nos próximos anos, influenciando diretamente a sobrevivência das plantas destes ambientes (Richardson *et al.* 2013; Vicente-Serrano *et al.* 2013, Dai 2013).

O fato de existir uma relação entre disponibilidade de água e os aspectos vegetativos e reprodutivos das plantas, aliado a projeção de aumento da severidade das secas, indica ser de fundamental importância monitorar o crescimento e a reprodução das plantas em condições de oferta reduzida de água, visando compreender as possíveis mudanças que podem ocorrer no funcionamento das florestas de ambientes semiáridos. Assim, admitindo a hipótese que ocorrem atrasos no ritmo fenológico e redução no

crescimento vegetativo e reprodutivo das espécies à medida que reduz a disponibilidade de água. Para testar esta hipótese foi utilizada a herbácea *Talinum paniculatum* como modelo para descrever e quantificar o efeito da deficiência hídrica nas respostas fenológicas, crescimento vegetativo e reprodutivo da espécie. Especificamente, foram respondidas as seguintes questões: (i) o que ocorre com os crescimentos vegetativo e reprodutivo da planta mediante a redução de 50% e 75% da disponibilidade hídrica? (ii) o ritmo fenológico vegetativo e reprodutivo das plantas é alterado mediante a redução da disponibilidade hídrica? (iii) quanto da produção de estruturas vegetativas/reprodutivas e da sincronia do ritmo fenológico pode ser explicado pela redução da oferta de água?

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Espécie estudada**

*Talinum paniculatum* (Jacq.) Gaertn (Talinaceae) foi selecionada como modelo para se compreender os efeitos da deficiência hídrica no crescimento e nas respostas fenológicas por pertencer ao componente herbáceo que apresenta elevada riqueza de espécies em ambientes secos. Trata-se de uma geófito, frequente em ambientes secos e de ampla ocorrência na vegetação de caatinga do Instituto agrônomo de Pesquisa (IPA) situado no município de Caruaru-PE (Reis *et al.* 2006; Santos *et al.* 2013b), local onde suas sementes foram coletadas. A espécie possui ainda suculência foliar e caulinar e raízes que armazenam nutrientes, características que são consideradas como adaptações à seca. Sua reprodução pode ser cruzada ou por autopolinização, sendo considerada autógama facultativa e tem dispersão de sementes barocórica (Landrum *et al.* 2002; Wood *et al.* 2013).

## **Instalação do experimento**

Sementes de *T. paniculatum* foram coletadas de diferentes indivíduos durante a estação chuvosa entre março e agosto de 2015, higienizadas com hipoclorito de sódio a 2,5% e submetidas aos tratamentos pré-germinativos para superação da dormência, utilizando ácido sulfúrico 100% (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), combinado com imersão em água por 24 horas (Aguiar no prelo). Posteriormente, as sementes foram colocadas para germinar em placas de Petri, contendo papel de filtro previamente umedecido. As placas foram mantidas em câmara de BOD, à 25°C de temperatura, com fotoperíodo de 24 horas. Dez dias após as germinações, 150 indivíduos no estágio de plântulas com aspectos visuais saudáveis foram cuidadosamente transferidas para sacos de polietileno devidamente enumerados, contendo 2 kg de solo autoclavado, o qual foi coletado no mesmo local de coleta das sementes. As plântulas transplantadas foram mantidas em casa de vegetação durante 15 dias para aclimação. Antes do transplante das plântulas, a capacidade de retenção de água do solo (capacidade de pote-cp) foi determinada pelo método gravimétrico, segundo metodologia proposta por Souza *et al.* (2000).

Depois do período de aclimação os indivíduos desde o estágio de plântulas até completa maturação foram submetidos a três tratamentos (T) de deficiência hídrica e monitorados durante seis meses: T1: 100%cp (controle); T2: 50%cp e T3: 25%cp. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com 50 repetições por tratamento, sendo 30 trinta plantas marcadas e separadas para quantificar o crescimento vegetativo e a produção de flores, frutos e sementes e monitorar o comportamento fenológico. As 20 plantas restantes foram marcadas e separadas para quantificar o efeito da deficiência hídricas nas características morfométricas de flores e frutos, por se tratar de coletas destrutivas. Para manter os níveis de água estabelecidos em cada tratamento, os sacos foram pesados diariamente, sendo repostas a quantidade de água perdida.

## **Monitoramento dos atributos vegetativos e reprodutivos**

Semanalmente foi aferido o crescimento das 30 plantas previamente marcadas por tratamento, sendo mensurados os atributos vegetativos: a altura (do colo da planta até o ápice caulinar), o diâmetro da base do caule e o comprimento do primeiro entrenó. O local de medição do diâmetro do caule foi marcado com tinta no momento da primeira medição. As demais mensurações do diâmetro foram feitas no mesmo local de marcação. As medidas foram realizadas com auxílio de fita métrica e paquímetro digital. Além disso, foi contabilizado o número de folhas produzidas de cada plântula por tratamento e marcada uma folha no início de sua brotação por planta e por tratamento para determinação do comprimento e largura foliar, até a sua queda. Ao final do tratamento outras 30 folhas por tratamento (uma por plântula), completamente expandidas e sadias foram coletadas, escaneadas, com escala em cm, para mensurar a área foliar total, com o auxílio do programa Image pro plus 7.0.

Os atributos reprodutivos monitorados foram número de flores, frutos, sementes e morfometria das estruturas das flores e dos frutos. A contagem do número de flores e frutos produzidos foi feita diariamente a partir do início da floração nas 30 plantas marcadas por tratamento. O número de sementes produzidas foi quantificado em 120 frutos selecionados ao acaso por tratamento, sendo posteriormente estimado o total de sementes produzidas em cada tratamento. Ao final dos seis meses de monitoramento, a verificação da viabilidade das sementes foi realizada através da germinação de 60 sementes por tratamento, utilizando tratamentos pré-germinativos. As razões fruto/flores e sementes/frutos foram mensuradas utilizando os valores da produção total entre os tratamentos.

Foi coletada uma amostra de 90 frutos (30 por tratamento) para mensurar os dados morfométricos (diâmetro e peso), com auxílio de paquímetro digital e balança de

precisão analítica das outras 20 repetições separadas por tratamento. Em adição, também foi coletado uma amostra de 90 flores abertas (30 por tratamento) para quantificar os dados morfométricos das partes florais, mensurando o comprimento e largura das pétalas, sépalas, pistilos e estames, com auxílio de um paquímetro digital. Em cada tratamento foram marcadas nas plantas 100 botões florais em pré-antese para observar o processo de duração da antese. As medições morfométricas do crescimento vegetativo e reprodutivo foram construídas segundo adaptações das metodologias propostas por Cornelissen (2002) e Pérez-Harguindeguy (2013).

### **Monitoramento do comportamento fenológico**

Foram selecionados 30 indivíduos por tratamento e verificado semanalmente (25 semanas) a ocorrência das fenofases vegetativas (brotamento, senescência e abscisão foliar) e diariamente (168 dias) as fenofases reprodutivas (floração, frutificação e deiscência dos frutos). O índice de atividade foi aferido para descrever o ritmo e a sincronia fenológica das populações, sendo expresso pela quantidade de indivíduos que estão manifestando simultaneamente determinado evento fenológico, considerando apenas a presença (1) ou ausência (0) das fenofases. A amostra da população monitorada em cada tratamento foi considerada não sincrônica ou assincrônica quando até 20% dos indivíduos marcados exibiam a fenofase monitorada, pouca sincrônica ou de sincronia baixa quando mais que 20% e menos que 60% indivíduos exibiam a fenofase e de sincronia alta quando mais que 60% de indivíduos exibiam a fenofase (Bencke e Morelalto 2002; Morellato 2010).

### **Análise estatística**

O poder explicativo do fator hídrico e diferenças nos atributos vegetativos e reprodutivos, entre os tratamentos de alta (100%cp), média (50%cp) e baixa (25%cp) disponibilidade de água foi avaliado pelo GLM (General linear model). Ao modelo foi incorporada uma Anova com teste Tukey *a posteriori*, por não haver correlação entre média e variância. Para as análises das séries temporais fenológicas foi utilizado a estatística circular: uniformidade do evento (Teste Rayleigh); maior atividade (angulo médio -  $\mu$ ); diferenças entre os tratamento e picos de atividade (Watson Williams - teste F) (Morellato *et al.* 2010). Todas as análises foram realizadas utilizando-se o programa Statistic 7 e Oriana 4.

## RESULTADOS

Todos os atributos vegetativos de *T. paniculatum* diferiram significativamente entre os tratamentos (altura:  $F = 358,36$ ;  $p = 0,00$ ; diâmetro:  $F = 498,45$ ;  $p = 0,00$ ; entrenó:  $F = 577,77$ ;  $p = 0,00$ ; comprimento foliar:  $F = 716,88$ ;  $p = 0,00$ ; largura foliar:  $F = 787,81$ ;  $p = 0,00$ ; área foliar:  $F = 110,96$ ;  $p = 0,00$  e produção acumulada de folhas:  $F = 299,90$ ;  $p = 0,00$ ) (Figura 1; Tabela 1). Contudo, o diâmetro e produção acumulada de folhas não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos de alta (100%cp) e média (50%cp) disponibilidade hídrica ( $p > 0,05$ ), mas diferiram significativamente do tratamento de baixa disponibilidade hídrica (25%cp). Em média os valores entre os tratamentos diferenciam-se a partir da 8ª semana. O tratamento de maior restrição hídrica (25%cp) resultou em baixo crescimento sem variações significativas no tempo monitorado.

Em resposta às reduções hídricas dos tratamentos T2(50%cp) e T3(25%cp) as plantas, respectivamente, apresentaram os seguintes percentuais de reduções no crescimento vegetativo: altura (11,38% e 84,98%); entrenó (41% e 70,02%);

comprimento foliar (29,20% e 76,56%); largura foliar (26,29% e 70,56%) e área foliar (29,59% e 80,65%). Todavia, em relação ao diâmetro e a produção acumulada de folhas houve uma divergência nas respostas das plantas, com aumento de 4,14% de diâmetro e 7,91% na produção acumulada de folhas no T2(50%cp) e manutenção da tendência de redução em diâmetro (58,72%) e em produção acumulada de folhas (56,33%) no T3(25%cp).

Houve diferenças significativas na produção de flores ( $F = 32,97$ ;  $p = 0,00$ ), frutos ( $F = 35,06$ ;  $p = 0,00$ ) e sementes ( $H = 42,99$ ;  $p = 0,00$ ) entre os tratamentos de redução hídrica (Figura 2). No tratamento controle, as plantas produziram 4.348 flores, 1.600 frutos e 25.871 sementes. Essa produção caiu para 1.705 flores, 645 frutos e 7.967 sementes no T2(50%cp) e foi nula no T3(25%cp). Logo, em resposta a redução de 50% da oferta hídrica as plantas apresentam uma redução de 60,8% na produção de flores, 59,7% na produção de frutos e 69,3% na de sementes. Já no tratamento drástico (25%cp) as plantas colapsaram em zero sua reprodução.

*Talinum paniculatum* produziu muitas flores por inflorescência, mas poucos frutos foram formados, apesar de sua autogamia facultativa. Em virtude disto, a razão fruto/flor foi baixa no controle (0,36) e praticamente igual a do T2 (0,37). A razão semente/fruto foi de 15,77 no controle e de 2,33 no T2(50%cp). A antese floral teve duração de 5h (12h-17h) no tratamento controle, mas a maioria (74%) das plantas do T2(50%cp) antecipou o início e a finalização da antese em 1h.

As variações morfométricas das estruturas reprodutivas diferiram estatisticamente entre os tratamentos nos comprimentos de: pétalas ( $F = 593,47$ ;  $p = 0,00$ ), sépalas ( $F = 432,62$ ;  $p = 0,00$ ), pistilos ( $F = 313,09$ ;  $p = 0,00$ ) e estames ( $F = 535,78$ ;  $p=0,00$ ), bem como nas larguras de pétalas ( $F = 328,08$ ;  $p=0,00$ ) e sépalas ( $F = 269,70$ ;  $p = 0,00$ ) e no peso ( $F = 262,5$ ;  $p = 0,00$ ) e diâmetro ( $F = 1659$ ;  $p = 0,00$ ) dos

frutos (Figura 3). As flores apresentaram coloração róseo-lilás no tratamento controle, mas no tratamento de 50% da redução hídrica apresentaram coloração róseo-lilás mais pálida ou alva.

No tratamento T2(50%cp), as plantas apresentaram os seguintes percentuais de reduções (em relação ao controle) na morfometria de flores e frutos: comprimento de pétalas (40%) e sépalas (31,6%); largura de pétalas (41,8%) e sépalas (24,1%); comprimento dos estames (19,1%) e pistilos (26,7%); diâmetro (11,28%) e peso (13,02%) dos frutos.

O ritmo fenológico vegetativo e reprodutivo apresentou uma tendência sazonal ( $r > 0,6$ ), com direção definida dentro dos 6 meses de monitoramento, com exceção apenas para o brotamento foliar que apresentou um evento uniforme ( $p > 0,05$ ). As fenofases de senescência foliar ( $F = 1,656$ ;  $p = 0,19$ ) e da abscisão foliar ( $F = 0,331$ ;  $p = 0,73$ ) não diferiu significativamente entre os picos de atividade e tratamentos, mas o brotamento no T3(25%cp) diferiu dos demais tratamentos ( $F = 50,95$ ;  $p = 0,04$ ). Nos três tratamentos, a sincronia da senescência e da abscisão foliar foi baixa, mas a do brotamento foliar foi alta. Apenas no T3(25%cp) houve suspensão do brotamento a partir da 17ª semana em 44% das plantas monitoradas. No período de pico de senescência os percentuais de plantas que exibiram a fenofase foram de 23,33% (controle), 43,35% (50%cp) e 56,66% (25%cp). Já no período de pico da abscisão foliar os percentuais foram de 13,3% (controle), 26,6% (50%cp) e 30% (25%cp) (Figura 4).

O ritmo fenológico da floração ( $F = 41,66$ ;  $p < 0,05$ ), frutificação ( $F = 8,26$ ;  $p = 0,004$ ) e deiscência dos frutos ( $F = 3,717$ ;  $p = 0,04$ ) diferiu entre os tratamentos. A sincronia da floração foi alta (83,3%) no tratamento controle e passou para baixa (56,6%) no T2(50%cp), com atraso temporal de 19 dias. A sincronia da frutificação foi alta (100%) no controle passando para baixa (53,3%) no T2(50%cp), com atraso

temporal de 21 dias. A deiscência dos frutos apresentou alta sincrônica (83,3%) no tratamento controle, mudando para baixa (36,6%) no T2(50%cp) e mantendo o mesmo atraso de tempo registrado na frutificação (Figura 4). A viabilidade das sementes foi semelhante entre os tratamentos, ocorrendo 68,3% de germinação no controle e de 66,6% no T2(50%cp).

A análise GLM mostrou que as reduções hídricas possui considerável poder de explicação sobre o crescimento vegetativo e reprodutivo, bem como sobre as respostas fenológicas das plantas. Os percentuais de explicação variaram de 21 a 71% para o crescimento vegetativo, de 41 a 97% para o crescimento reprodutivo e de 5 a 61% para o ritmo fenológico (Tabela 1).

## **DISCUSSÃO**

Reduções na disponibilidade de água influenciaram negativamente o crescimento vegetativo e reprodutivo da geófita *T. paniculatum*, com as mais drásticas reduções quantitativas no tratamento que simulou maior déficit hídrico. Tais reduções eram esperadas, pois na maioria das plantas o déficit hídrico durante as fases vegetativas pode ser refletido em mudanças no comportamento fenológico vegetativo e reduções do crescimento de tecidos em expansão (Peñuelas *et al.* 2004; Miranda *et al.* 2009; Tardieu *et al.* 2011; Muller *et al.* 2011; Tardieu 2014; Zeppel *et al.* 2014), afetando a produtividade da planta (Correia, *et al.* 2016; Gibson-Forty *et al.* 2016).

Quantitativamente as reduções morfométricas foliares e reprodutivas foram desproporcionais em relação ao percentual de água ofertado, ou seja, reduzir 50% da disponibilidade de água pode proporcionar reduções mais elevadas nas estruturas vegetativas e reprodutivas das plantas. Portanto, levando-nos a questionar suas implicações quando restrições hídricas ocorrem nos ambientes naturais, visto que, é

comum ocorrer variações interanuais e sazonais na ocorrência de chuvas e, conseqüentemente, na disponibilidade de água no solo das florestas de ambientes secos (Araújo *et al.* 2007; Bernal *et al.* 2011; Asbjornsen *et al.* 2011; Albuquerque *et al.* 2012; Miranda *et al.* 2014; Becerra 2014). Tais variações hídricas são estocásticas e podem influenciar o número de indivíduos das populações (Reis *et al.* 2006), a ocorrência de espécies (Araújo *et al.* 2005), a chuva de sementes (Souza *et al.* 2014) e renovação das populações (Silva *et al.* 2015). Entretanto, em condições de campo torna-se difícil estimar o percentual de redução hídrica indutor das mudanças no crescimento das plantas, porque outras variáveis (como, por exemplo, capacidade de retenção de água do solo, presença de riachos no interior das florestas, exposição do solo a luz direta, presença de microhabitats que possam reter água e oferecer condições favoráveis ao crescimento da planta) podem interagir com a disponibilidade da água, tornando a velocidade de resposta das plantas mais rápida ou lenta (Araújo *et al.* 2005; Lesica e Kittelson 2010, Richardson *et al.* 2013).

Em função dessas dificuldades muitos estudos simulam a oferta de água para compreender as possíveis respostas esperadas das plantas em condições naturais. A altura, a morfometria foliar e o crescimento radicular das plantas respondem rapidamente ao déficit hídrico, sugerindo que durante o crescimento vegetativo as respostas primárias das plantas ao déficit hídrico concentram-se nestes atributos. Geralmente em situação de déficit hídrico as plantas apresentam menores alturas, reduções no comprimento, largura e área foliar, resultando em menor acúmulo de biomassa (Chaves *et al.* 2003; Osakabe *et al.* 2014; Yousfi *et al.* 2015; Correia *et al.* 2016), o que também foi registrado em *T. paniculatum*. As reduções na área foliar registradas para plantas de ambientes semiáridos (Moreno *et al.* 2008; Lu *et al.* 2011; Tardieu *et al.*, 2013; Yousfi *et al.* 2015), apesar de poder reduzir as taxas fotossintéticas,

são sinalizadas como uma estratégia para minimizar a transpiração, visando a economia da água. Em adição, espécies adaptadas à seca investem no aumento da espessura da folha para compensar o efeito negativo da redução da área foliar na fotossíntese, pois teriam como vantagem uma melhor interceptação da luz, e com isto, maior ganho de carbono (Chaves *et al.* 2002). Contudo, nem sempre é detectado o efeito do déficit hídrico sobre o número de folhas que a planta produz, pois em situação de deficiência ela pode manter esta produção (Wang *et al.* 2009). A literatura mostra que existem ainda a possibilidade de ocorrer aumento no crescimento do sistema radicular, o que favorece a obtenção de água (Chaves *et al.* 2002; Lu *et al.* 2011; Lelièvre *et al.* 2011), ou redução em situações de seca simuladas (Wang *et al.* 2009; Muller *et al.* 2011; Gibson-Forty *et al.* 2016).

Muitos estudos relatam que deficiências hídricas modificam a abertura estomática e geram limites na absorção de CO<sub>2</sub>, com redução da atividade fotossintética (Chaves *et al.* 2002; Llorens *et al.* 2004; Peñuelas *et al.* 2004; Martínez *et al.* 2004; Moreno *et al.* 2008; Xu *et al.* 2010, Osakabe *et al.* 2014; Correia *et al.* 2016). Em adição, os níveis do ácido abscísico (ABA) (Gollmack *et al.* 2014) e de etileno (Chaves *et al.* 2003) aumentam nos tecidos vegetais, com respostas diretas sobre o crescimento da planta. Apesar de tais respostas não terem sido avaliadas neste estudo, possivelmente as reduções no crescimento vegetativo de *T. paniculatum* também estejam refletindo as alterações em sua atividade fotossintética e nas concentrações de seus níveis hormonais.

Reduções significativas no diâmetro do caule de *T. paniculatum* só começaram a ser registradas a partir da sexta semana. À medida que aumentava a restrição hídrica o brotamento foliar cessou e as atividades de senescência e abscisão foliar foram antecipadas, ocorrendo no terceiro mês de vida das plantas. Estes resultados indicam

que, variações no diâmetro do caule e no ritmo fenológico vegetativo são mais tardias, sugerindo tratar-se de respostas vegetativas secundárias.

Em relação as respostas reprodutivas, 50% da redução hídrica promoveu atraso na fenologia reprodutiva e redução na morfometria e na produção de flores, frutos e sementes de *T. paniculatum*, o que se tornou extremamente drástico em condições de redução de 75% de água, pois ocorreu completa ausência de produção de flores e frutos, como já registrado para algumas espécies de herbáceas e subarbustos (Sharp 2009; Crimmins *et al.* 2010; Su *et al.* 2013; Yousfi *et al.* 2015) e explicado pelo aumento das concentrações do hormônio ABA nos meristemas apicais devido a desidratação (Cheruth *et al.* 2015).

Apesar das diferenças significativas nos dados quantitativos dos atributos reprodutivos de *T. paniculatum* entre 100%cp e 50%cp, as plantas produziram sementes com alta viabilidade. De um modo geral, mudanças na quantidade, no número de eventos e na distribuição sazonal das chuvas têm, isoladamente ou em combinação, efeitos negativos na floração, frutificação e produção de sementes de plantas subarbusivas e herbáceas em condições de campo e de laboratório (Pérez *et al.* 2006; Morellato *et al.* 2013; Chaco *et al.* 2013; Miranda *et al.* 2014; Yousfi *et al.* 2015; Zeppel *et al.* 2014), afetando processos de recrutamento e de renovação das populações vegetais de ambientes semiáridos (Peñuelas *et al.* 2004; Aragón *et al.* 2008).

Todavia, em resposta a uma menor oferta de água, as plantas também podem responder de forma contrária, aumentando sua produção de sementes, o que pode lhes conferir maior sucesso reprodutivo (Xie *et al.* 2016), embora seja necessário considerar o peso e o tamanho das sementes que, por sua vez pode afetar o desempenho de mudas,

pois sementes menores e menos pesadas pode reduzir o estabelecimento e a sobrevivência das plântulas (Bernard e Toft 2007).

O ritmo fenológico da floração em situações de deficiência hídricas ou em florestas cujos solos estejam mais expostos a incidência direta da luz pode ser antecipado (Menzel *et al.* 2006; Sharp *et al.* 2009; Matesanz *et al.* 2009; Souza *et al.* 2014; Kazan e Lyon 2016; Takeno 2016), retardado (Prieto *et al.* 2008; Crimmins *et al.* 2010; Su *et al.* 2013) ou sofrer inibição (Yousfi *et al.* 2015), mostrando que as respostas das plantas podem divergir. Em resposta a deficiência hídrica, *T. paniculatum* apresentou retardo e menor tempo de floração, bem como, antese antecipada, em relação às plantas do controle. Estes resultados aliados às reduções no tamanho das estruturais florais e mudanças na coloração das flores, sugerem que anos poucos chuvosos em florestas semiáridas, podem influenciar o poder atrativo das espécies vegetais por seus polinizadores, devido à redução do *display* floral (Su *et al.* 2013). Este fato, poderia promover reduções ainda maiores na produção de sementes, no caso de espécies de reprodução cruzada obrigatória, com efeitos negativos também para algumas populações de herbívoros (Stenseth e Mysterud 2002; Saavedra *et al.* 2003) e que auxiliam no processo de dispersão.

Por fim, considerando a previsão de aumento de aquecimento global e da severidade das secas nos próximos anos (Dai *et al.* 2013, Vicente-Serrano *et al.* 2013), os dados deste estudo evidenciam que as consequências da redução da disponibilidade de água no solo das florestas de caatinga pode gerar danos significativos na cobertura herbácea. Em adição, ocorreria redução na produção de sementes que renova anualmente o estoque do banco do solo das florestas, especialmente, se considerarmos que 32 a 67% da densidade de sementes do banco solo é explicado pela variação interanual da disponibilidade de água (Silva *et al.* 2015) e que alterações na

disponibilidade hídrica gera alterações nas taxas de natalidade e mortalidade das populações (Silva *et al.* 2015).

Portanto, uma sequência de anos de baixa disponibilidade hídrica pode resultar no empobrecimento local da riqueza de espécies de muitas florestas secas, sobretudo as de caatinga, o que poderia explicar o fato de muitas herbáceas apresentarem ocorrência pulsada no tempo (Araújo *et al.* 2005) ou reduções significativas no tamanho de suas populações entre os anos (Reis *et al.* 2006).

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos os estagiários de Iniciação científica, pós-graduandos, pos-doutorandos e professores vinculados ao laboratório de Ecologia Vegetal de Ambientes Naturais (UFRPE), que colaboraram ativamente e integralmente para construção deste trabalho. Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelo apoio financeiro e bolsas concedidas.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Albuquerque UP, Araújo EL, El-Deir ACA, *et al.* (2012) Caatinga revisited: ecology and conservation of an important seasonal dry forest. *The Scientific World Journal* **1**:1-18.

Aragón CF, Escudero A, Valladares F (2008) Stress-induced dynamic adjustments of reproduction differentially affect fitness components of a semi-arid plant. *Journal of Ecology* **96**:222-229.

- Araújo EL, Castro CC, Albuquerque UP (2007) Dynamics of Brazilian Caatinga—A review concerning the plants, environment and people. *Functional Ecosystems and Communities* **1**:15-28.
- Araújo EL, Silva KAD, Ferraz, EMN, et al. (2005). Diversidade de herbáceas em microhabitats rochoso, plano e ciliar em uma área de caatinga, Caruaru, PE, Brasil. *Acta botânica Brasílica* **19**:285-294.
- Asbjornsen H, Goldsmith GR, Alvarado-Barrientos MS, et al. (2011) Ecohydrological advances and applications in plant–water relations research: a review. *Journal of Plant Ecology* **4**:3-22
- Becerra, JAB (2014) Influence of the rainfall seasonal variability in the caatinga vegetation of ne Brazil by the use of time-series. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* **4**:31-44.
- Benard RB, Toft CA (2007) Effect of Seed Size on Seedling Performance in a Long-Lived Desert Perennial Shrub (*Ericameria nauseosa*: Asteraceae). *International Journal of Plant Sciences* **168**:1027-1033.
- Bencke CS, Morellato LPC (2002) Estudo comparativo da fenologia de nove espécies arbóreas em três tipos de floresta atlântica no sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* **25**:237-248.
- Bernal M, Estiarte M, Peñuelas J (2011) Drought advances spring growth phenology of the Mediterranean shrub *Erica multiflora*. *Plant Biology* **13**:252-257.
- Cacho M, Peñuelas J, Lloret F (2013) Reproductive output in Mediterranean shrubs under climate change experimentally induced by drought and warming. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* **15**:319-327.

- Chaves MM, Maroco JP, Pereira JS (2003) Understanding plant responses to drought- from genes to the whole plant. *Functional plant biology* **30**:239-264.
- Chaves MM, Pereira JS, Maroco J *et al.* (2002) How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth. *Annals of botany* **89**:907-916.
- Cacho, M, Peñuelas, J, Lloret, F (2013). Reproductive output in Mediterranean shrubs under climate change experimentally induced by drought and warming. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* **15**:319-327.
- Cheruth AJ, Kurup SS, Subramaniam S (2015) Variations in hormones and antioxidant status in relation to flowering in early, mid, and late varieties of date palm (*Phoenix dactylifera*) of United Arab Emirates. *The Scientific World Journal* **20**:13620–13641.
- Cornelissen JHC, Lavorel S, Garnier E *et al.* (2003) A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian journal of Botany* **51**:335-380.
- Correia, A C, Silva FC, Dubbert M *et al.* (2016) Severe dry winter affects plant phenology and carbon balance of a cork oak woodland understorey. *Acta Oecologica* **76**:1-12.
- Crimmins T M, Crimmins MA, Bertelsen CD (2010) Complex responses to climate drivers in onset of spring flowering across a semi-arid elevation gradient. *Journal of Ecology* **98**:1042-1051.
- Dai, A (2013) Increasing drought under global warming in observations and models. *Nature Climate Change* **3**:52-58.

- Gariglio, MA, SAMPAIO EDS, Cestaro LA, et al. (2010) Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga 367.
- Golldack, D, Li C, Mohan H *et al.* (2014) Tolerance to drought and salt stress in plants: unraveling the signaling networks. *Abiotic Stress: Molecular Genetics and Genomics* **5**:151
- Gibson-Forty, E V, Barnett, K L, Tissue, D T, *et al.* (2016). Reducing rainfall amount has a greater negative effect on the productivity of grassland plant species than reducing rainfall frequency. *Functional Plant Biology* **43**:380-391.
- Jongen M, Hellmann C, Unger S (2015) Species-specific adaptations explain resilience of herbaceous understorey to increased precipitation variability in a Mediterranean oak woodland. *Ecology and evolution* **5**:4246-4262.
- Kazan K, Lyons R (2016) The link between flowering time and stress tolerance. *Journal of experimental botany* **67**:47-60.
- Khodorova N V, Boitel-Conti M (2013) The role of temperature in the growth and flowering of geophytes. *Plants* **2**:699-711.
- Landrum J V (2002) Four succulent families and 40 million years of evolution and adaptation to xeric environments: What can stem and leaf anatomical characters tell us about their phylogeny? *Taxon* **51**:463-473.
- Lelièvre F, Seddaiu G, Ledda L *et al.* (2011). Water use efficiency and drought survival in Mediterranean perennial forage grasses. *Field Crops Research* **121**:333-342.

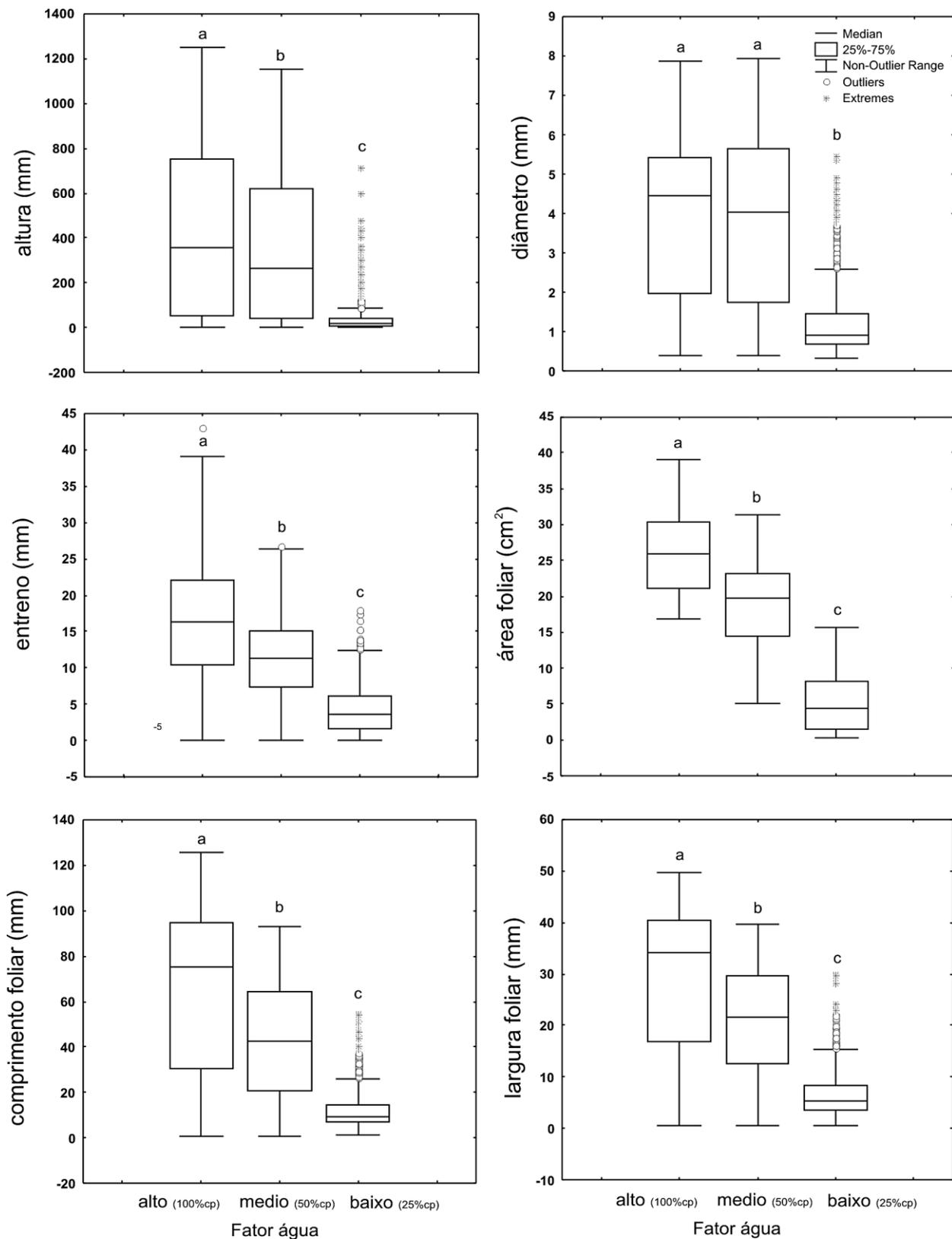
- Lesica, P., Kittelson, P. M. (2010) Precipitation and temperature are associated with advanced flowering phenology in a semi-arid grassland. *Journal of Arid Environments*, **74**:1013-1017.
- Llorens L, Peñuelas J, Estiarte M *et al.* (2004) Contrasting growth changes in two dominant species of a Mediterranean shrubland submitted to experimental drought and warming. *Annals of Botany* **94**:843-853.
- Lu N, Chen S, Wilske B *et al.* (2011). Evapotranspiration and soil water relationships in a range of disturbed and undisturbed ecosystems in the semi-arid Inner Mongolia, China. *Journal of Plant Ecology* **4**:49-60.
- Martínez JP, Lutts S, Schanck A, *et al.* (2004) Is osmotic adjustment required for water stress resistance in the Mediterranean shrub *Atriplex halimus* L? *Journal of plant physiology* **16**:1041-1051.
- Matesanz S, Escudero A, Valladares F (2009) Impact of three global change drivers on a Mediterranean shrub. *Ecology* **90**:2609-2621.
- Menzel, A, Sparks TH, Estrella N, *et al.* (2006) European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global change biology* **12**:1969-1976.
- Miranda JD, Jorquera MJ, Pugnaire FI (2014) Phenological and reproductive responses of a semiarid shrub to pulsed watering. *Plant ecology* **215**:769-777.
- Miranda JD, Padilla FM, Pugnaire FI (2009) Response of a Mediterranean semiarid community to changing patterns of water supply. *Perspectives in plant ecology, Evolution and Systematics* **11**:255-266.

- Morellato, LPC, Alberti, LF., Hudson, IL (2010) Applications of circular statistics in plant phenology: a case studies approach. *Springer Netherlands* 339-359.
- Morellato LPC, Camargo MGG, Gressler E (2013) A review of plant phenology in South and Central America. In Phenology: An Integrative Environmental Science. *Springer Netherlands* 91-113.
- Moreno M, Gulías J, Lazaridou M *et al.* (2008) Ecophysiological strategies to overcome water deficit in herbaceous species under Mediterranean conditions. *Cahiers Options Méditerranéennes* **79**:247-256.
- Muller B, Pantin F, Génard M *et al.* (2011) Water deficits uncouple growth from photosynthesis, increase C content, and modify the relationships between C and growth in sink organs. *Journal of Experimental Botany* **62**:1715-1729.
- Oliveira, CC, Zandavalli, RB, Lima, ALA *et al.* (2015) Functional groups of woody species in semi-arid regions at low latitudes. *Austral Ecology* **40**:40-49.
- Osakabe Y, Osakabe K, Shinozaki K *et al.* (2014). Response of plants to water stress. *Frontiers in plant science* **5**:86.
- Penuelas J, Gordon C, Llorens L *et al.* (2004) Nonintrusive field experiments show different plant responses to warming and drought among sites, seasons, and species in a north–south European gradient. *Ecosystems* **7**:598-612.
- Pérez EM, Mar Weisz M, Lau P *et al.* (2006) Granivory, seed dynamics and suitability of the seed-dish technique for granivory estimations in a neotropical savanna. *Journal of Tropical Ecology* **22**:255-265.

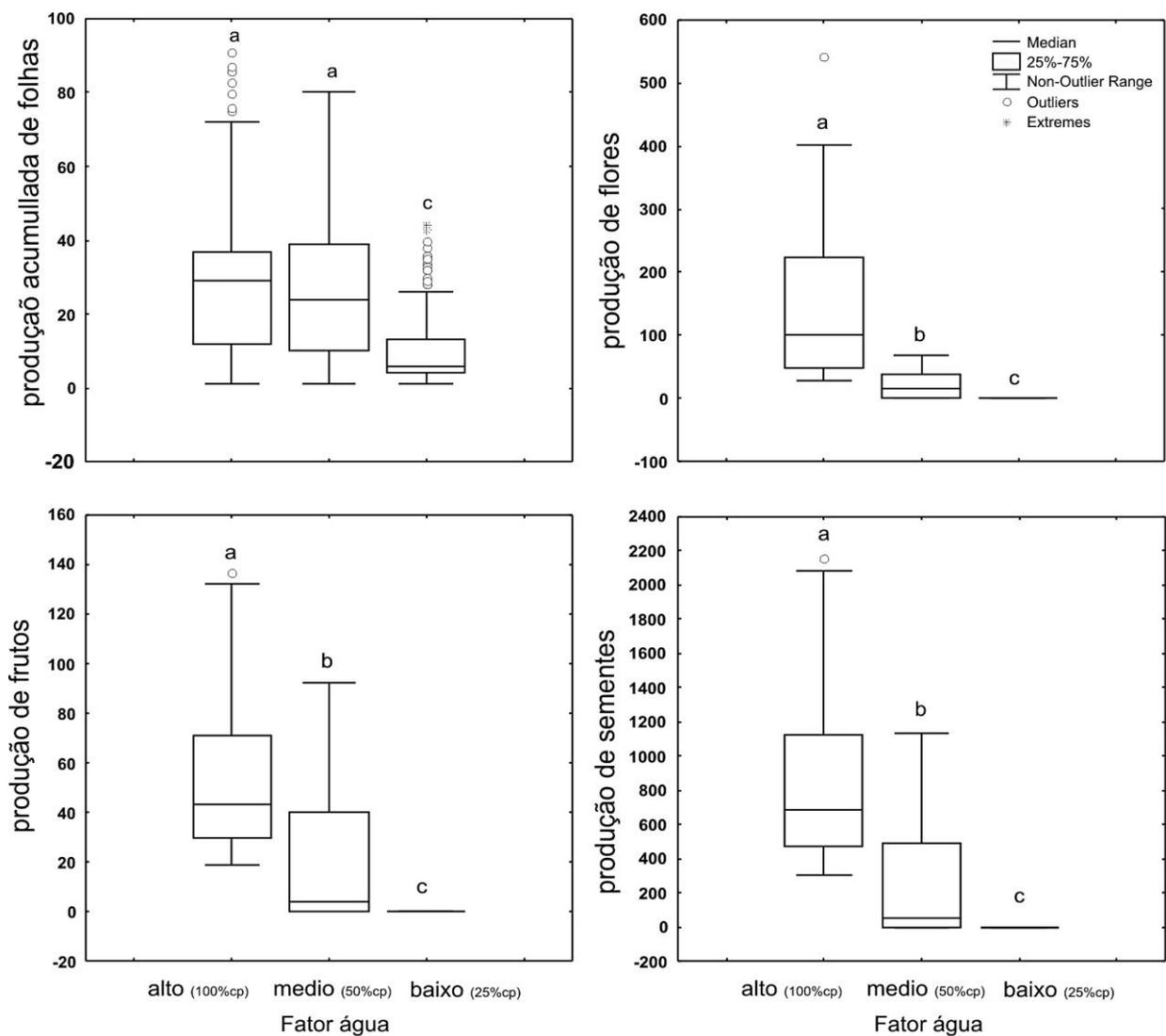
- Pérez-Harguindeguy N, Díaz S, Garnier E *et al.* (2013). New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of botany* **61**:167-234.
- Prieto P, Peñuelas J, Ogaya R *et al.* (2008) Precipitation-dependent flowering of *Globularia alypum* and *Erica multiflora* in Mediterranean shrubland under experimental drought and warming, and its inter-annual variability. *Annals of botany* **102**:275-285.
- Reis AMS, Araújo EL, Ferraz, EMN *et al.* (2006). Inter-annual variations in the floristic and population structure of an herbaceous community of " caatinga" vegetation in Pernambuco, Brazil. *Brazilian Journal of Botany* **29**:497-508.
- Richardson AD, Keenan TF, Migliavacca M, *et al.* (2013) Climate change, phenology, and phenological control of vegetation feedbacks to the climate system. *Agricultural and Forest Meteorology* **169**:156-173.
- Saavedra F, Inouye D W, Price MV, *et al.* (2003) Changes in flowering and abundance of *Delphinium nuttallianum* (Ranunculaceae) in response to a subalpine climate warming experiment. *Global Change Biology* **9**:885-894.
- Santos DM, Silva KA, Albuquerque UP *et al.* (2013a) Can spatial variation and inter-annual variation in precipitation explain the seed density and species richness of the germinable soil seed bank in a tropical dry forest in north-eastern Brazil? *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* **208**:445-452.
- Santos JMFF, Santos DM, Lopes CGR, *et al.* (2013b). Natural regeneration of the herbaceous community in a semiarid region in Northeastern Brazil. *Environmental monitoring and assessment* **185**:8287-8302.

- Sharp R G, Else MA, Cameron RW *et al.* (2009) Water deficits promote flowering in *Rhododendron* via regulation of pre and post initiation development. *Scientia Horticulturae* **120**:511-517.
- Silva KA, Andrade JR, Santos JMFF, *et al.* (2015) Effect of temporal variation in precipitation on the demography of four herbaceous populations in a tropical dry forest area in Northeastern Brazil. *Revista de Biología Tropical/International Journal of Tropical Biology and Conservation* **63**:903-914.
- Souza JT, Ferraz EMN, Albuquerque UP *et al.* (2014) Does proximity to a mature forest contribute to the seed rain and recovery of an abandoned agriculture area in a semiarid climate? *Plant Biology* **16**:748-756.
- Stenseth, NC, Mysterud A (2002) Climate, changing phenology, and other life history traits: nonlinearity and match–mismatch to the environment. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **99**:13379-13381.
- Su Z, Ma X, Guo H *et al.* (2013) Flower development under drought stress: morphological and transcriptomic analyses reveal acute responses and long-term acclimation in *Arabidopsis*. *The Plant Cell* **25**:3785-3807.
- Takeno, K (2016) Stress-induced flowering: the third category of flowering response. *Journal of Experimental Botany* **67**:4925-4934.
- Tardieu F, Granier C, Muller B (2011). Water deficit and growth. Co-ordinating processes without an orchestrator? *Current opinion in plant biology* **14**:283-289.

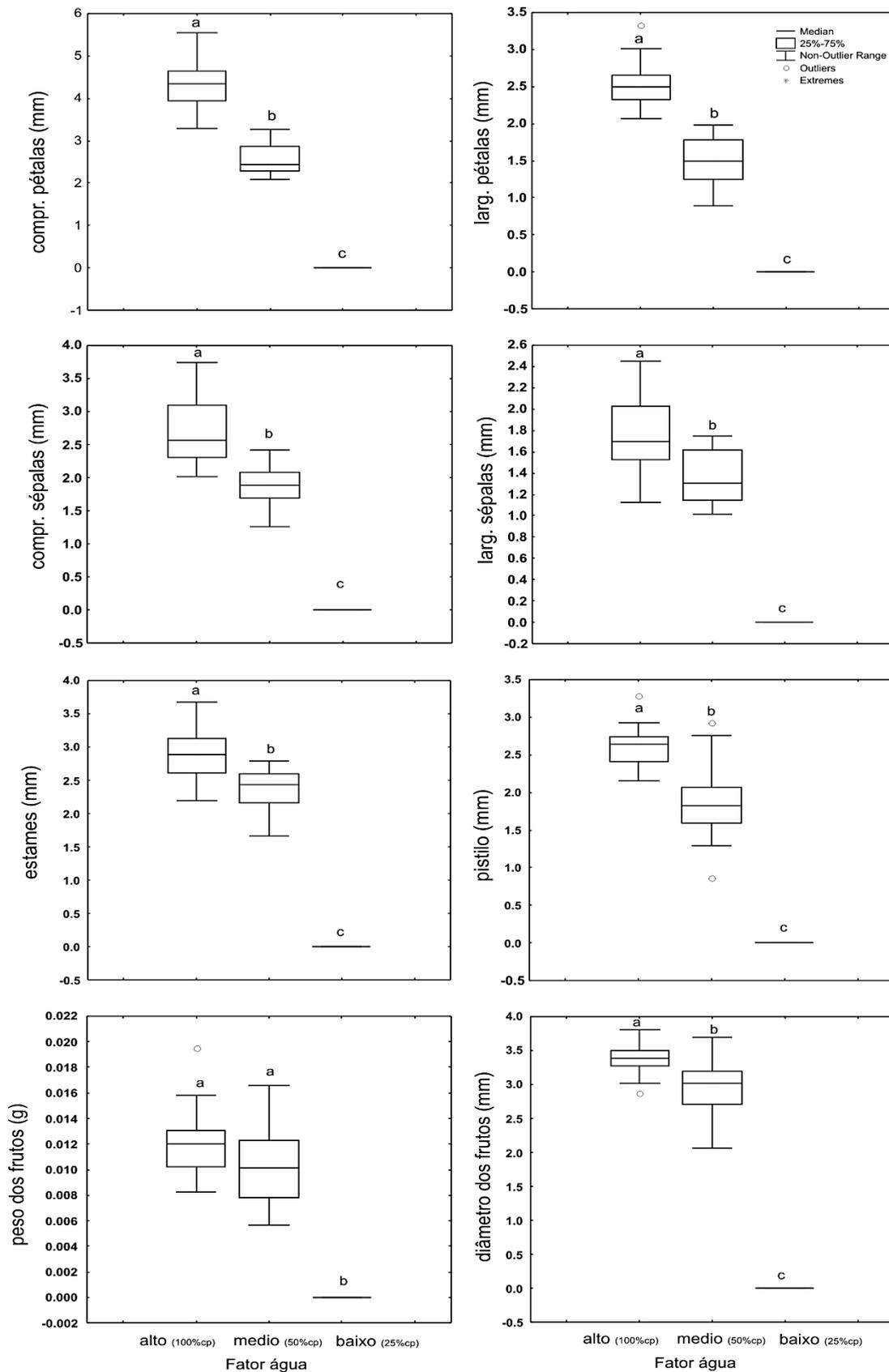
- Tardieu, F (2014) Plant response to environmental conditions: assessing potential production, water demand, and negative effects of water deficit. *Drought phenotyping in crops: From theory to practice* 42.
- Vicente-Serrano S M, Gouveia C, Camarero JJ *et al.* (2013) Response of vegetation to drought time-scales across global land biomes. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **110**:52-57.
- Wang YH, He WM, Yu FH *et al.* (2009) Brushing effects on the growth and mechanical properties of *Corispermum mongolicum* vary with water regime. *Plant Biology* **11**:694-700.
- Wood JR (2013) Taxonomic revision of *Talinum* (Talinaceae) in Bolivia with a note on the occurrence of *Phemeranthus* (Montiaceae). *Kew Bulletin* **68**:233-247.
- Xie, L, Guo H, Ma C (2016) Alterations in flowering strategies and sexual allocation of *Caragana stenophylla* along a climatic aridity gradient. *Scientific Reports* **6**:33602.
- Xu Z, Zhou G, Shimizu H (2010) Plant responses to drought and rewatering. *Plant signaling & behavior* **5**:649-654.
- Yousfi N, Saïdi I, Slama I *et al.* (2015) Phenology, leaf gas exchange, growth and seed yield in *Medicago polymorpha* L. populations affected by water deficit and subsequent recovery. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* **214**:50-60.
- Zeppel MJB., Wilks JV, Lewis JD (2014) Impacts of extreme precipitation and seasonal changes in precipitation on plants. *Biogeosciences* **11**:3083-3093.



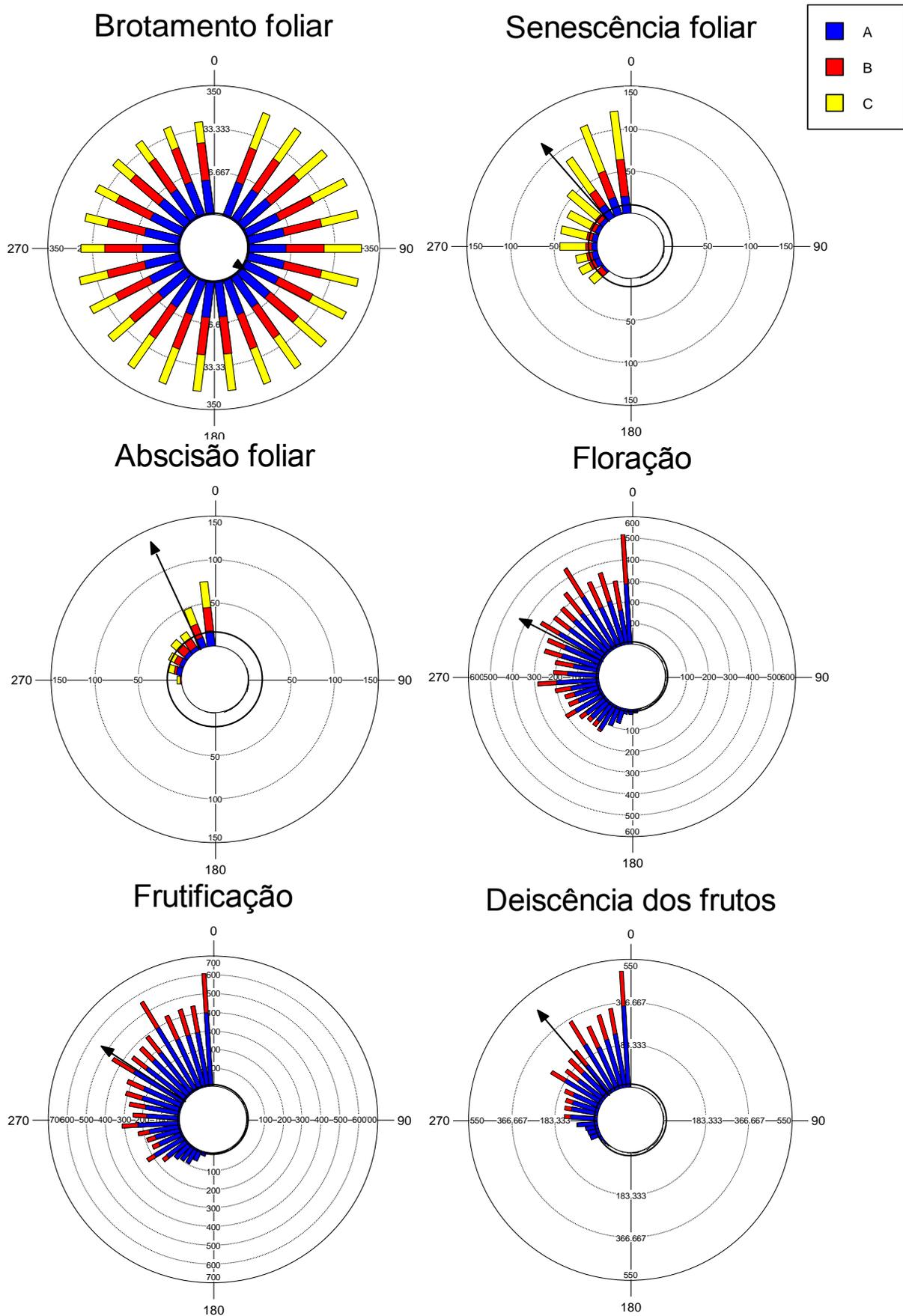
**Figura 1.** Efeito da disponibilidade hídrica nos aspectos morfométricos vegetativos de *Talinum paniculatum* mantidas nos tratamentos de alta (100%cp), média (50%cp) e baixa (25%cp) disponibilidade hídrica. Letras distintas entre as variações hídricas denotam diferenças significativas pelo teste de *Tukey a posteriori* (cp = capacidade de pote).



**Figura 2.** Efeito da disponibilidade hídrica na produção de folhas, flores, frutos e sementes de *Talinum paniculatum* nos tratamentos de alta (100%cp), média (50%cp) e baixa (25%cp) disponibilidade hídrica. Letras distintas entre as variações hídricas denotam diferenças significativas pelo teste de *Tukey a posteriori* (cp = capacidade de pote).



**Figura 3.** Efeito da disponibilidade hídrica nos aspectos morfométricos reprodutivo de *Talinum paniculatum* nos tratamentos de alta (100%cp), média (50%cp) e baixa (25%cp) disponibilidade hídrica. Letras distintas entre as variações hídricas denotam diferenças significativas pelo teste de *Tukey a posteriori* (cp = capacidade de pote).



**Figura 4.** Gráficos circulares evidenciando o efeito da disponibilidade hídrica no ritmo fenológico vegetativo e reprodutivo de *Talinum paniculatum*. (A: 100%cp; B: 50%cp; C: 25%cp; cp = capacidade de pote).

**Tabela 1.** Análise de GLM (modelo linear generalizado) mostrando a influência das variações hídricas nas estruturas vegetativas, reprodutivas e na fenologia de *Talinum paniculatum*. (DF: grau de liberdade; SS: soma dos quadrados; SS<sub>total</sub>: soma dos quadrados total; Error: valor do erro; MS: Média dos quadrados; F: Teste Fisher; P:

	<b>DF</b>	<b>SS</b>	<b>SS<sub>total</sub></b>	<b>Error</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>P</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
Altura	2	59631522	244999396	185367874	29815761	358,36	0,00	0,24
Diâmetro	2	3267	10569	7302	1634	498,45	0,00	0,30
Entrenó	2	49394	144630	95236	24697	577,77	0,00	0,34
Comprimento foliar	2	1004832	2566273	1561442	502416	716,88	0,00	0,39
Largura foliar	2	184331	444949	260618	92165	787,91	0,00	0,41
Área foliar	2	6966	9697	2781	3483	110,96	0,00	0,71
Número acumulado de folhas	2	135128	637055,4	260618,7	67564	299,90	0,00	0,21
Número de flores	2	372759	864462,1	491703,2	186379	32,97	0,00	0,41
Número de frutos	2	45499	101945,6	56446,1	22750	35,06	0,00	0,43
Número de Sementes	2	11703696	23545908	11842213	5851848	42,99	0,00	0,48
Comprimento de pétalas	2	187,57	196,5	9,0079	93,78	593,47	0,00	0,95
Comprimento de sépalas	2	65,41	84,7	6,77	32,70	432,62	0,00	0,93
Largura de pétalas	2	77,93	69,72	4,30	38,96	328,08	0,00	0,92
Largura de sépalas	2	35,05	38,76	3,7	17,52	269,70	0,00	0,90
Comprimento dos estames	2	94,45	99,48	5,02	47,22	535,78	0,00	0,94
Comprimento dos pistilos	2	72,22	78,80	6,57	36,11	313,09	0,00	0,91
Diâmetro dos frutos	2	205,5	210,92	5,38	102,76	1659	0,00	0,97
Peso dos frutos	2	0,0025	0,0029	0,00042	0,0013	262,5	0,00	0,85
Floração	2	100089	162909,7	62820,7	50044	205,52	0,00	0,61
Frutificação	2	159366	260322,3	100955,8	79683	191,79	0,00	0,60
Deiscência de frutos	2	4368	9731,88	5363,56	4368	152,30	0,00	0,44
Brotamento foliar	2	3144	10774,64	7630,57	1572	14,83	0,00	0,27
Senescência foliar	2	1161	14586,19	13424,80	580,69	3,11	0,05	0,05
Abscisão foliar	2	18,97	3517,48	3498,51	9,4	0,19	0,82	-

<0.05-diferenças significativas; R<sup>2</sup>: Percentual explicativo).

#### 4. Considerações Finais

Reduções na disponibilidade de água influenciaram negativamente o crescimento vegetativo e reprodutivo da geófito *T. paniculatum*, com as mais drásticas reduções quantitativas no tratamento que simulou maior déficit hídrico. Quantitativamente as reduções morfométricas vegetativas (morfometria foliares, altura, entrenó) e reprodutivas (comprimento e largura de pétalas e sépalas; comprimento dos estames e pistilos; pesos e diâmetro dos frutos) foram desproporcionais em relação ao percentual de água ofertado, ou seja, reduzir 50% e 75% da disponibilidade de água pode proporcionar reduções mais elevadas, em sua maioria, nas estruturas vegetativas e reprodutivas das plantas. Entretanto, algumas respostas parecem ser ajustadas, como diâmetro do caule e produção de folhas, mas diante das maiores reduções hídrica, há declínio nos valores também para estes atributos. Além disso, houve queda na produção de flores, frutos e sementes em proporções elevadas em relação ao tratamento controle.

No ritmo fenológico, para as fenofases vegetativas, concluímos que a medida que aumentava a restrição hídrica o brotamento foliar cessava e as atividades de senescência e abscisão foliar foram antecipadas, ocorrendo em média no terceiro mês de vida das plantas. Em adição, houve atrasos na floração, frutificação e dispersão dos frutos para 50% da redução hídrica, sendo o evento nulo na maior restrição de água.

Os dados deste estudo confirmaram a tendência ou padrão de redução para maioria das espécies vegetais de ambientes semiáridos, tanto nas respostas vegetativas quanto nas reprodutivas, quando mantidas em baixa disponibilidade hídrica. Porém não era esperado um efeito inibitório na reprodução em condições críticas no nível de água estabelecido. Assim, levando a reflexão do quanto este efeito pode provocar consequências futuras na renovação das populações de herbáceas anualmente.

Os dados deste estudo evidenciam que as consequências da redução da disponibilidade de água no solo das florestas de caatinga pode gerar danos significativos na cobertura herbácea. Desta forma, ocorreria redução na produção de sementes que renova anualmente o estoque do banco do solo das florestas, especialmente, podendo gerar alterações nas taxas de natalidade e mortalidade das populações. Desta forma, este efeito poderia explicar o fato de muitas herbáceas apresentarem ocorrência pulsada no tempo ou reduções significativas no tamanho de suas populações entre os anos.

## Normas de submissão da revista “Journal of Plant Ecology”

### Instructions to Authors

General

Submission

Revised

Guidelines for Presentation

Abbreviations

Scientific names

Chemical and Molecular Biology Nomenclature

Units of Measurement

Sequence Data

Equations

Tables

Figures

Supplementary Material for Online-only Publication

Literature Citation

Permission to Reproduce Figures

Proofs

Page Charges

Offprints and Unique URL

Licence to Publish

Author Self-Archiving/Public Access Policy

Conflict of Interest

Open Access Option

Third-Party Content in Open Access papers

Funding

Pre-Submission Language Editing

Crossref Funding Data Registry

### GENERAL INFORMATION

Journal of Plant Ecology (JPE) is a peer-reviewed international journal of plant ecology, which serves as an important medium for Chinese and international ecologists to present research findings and discuss challenging issues in the broad field of plant ecology. Research and review articles published in JPE will be of interest to all types of plant ecologists. JPE includes special issues/features focusing on the frontiers in plant ecology with invited reviews written by the leading ecologists in the field.

### SUBMISSION OF MANUSCRIPTS

Manuscripts should be submitted via the web-based submission system.

Suggesting reviewers

Please also include the names of 3–5 individuals that are qualified to review your manuscript. Indicate the name, institution and email address of each individual. We will try to have at least one reviewer from the set that you have requested. You may also request a member of the editorial team that you think is best suited to handle your manuscript.

### **Cover Letters**

All authors must include a cover letter when submitting a manuscript to JPE. Cover letters should include the following sections:

- 1) Title, names of authors, and numbers of tables, figures and pages in the main text, and supplementary materials;
- 2) The importance and novelty of the research findings in the study;
- 3) Authors need to promise that manuscripts submitted to JPE are considered on the understanding that they have not been published elsewhere, nor are under consideration for publication;
- 4) In addition, agreement for submission and email address from all the authors are needed.

A sample cover letter can be found [here](#).

### **Language Editing**

Particularly if English is not your first language, before submitting your manuscript you may wish to have it edited for language. This is not a mandatory step, but may help to ensure that the academic content of your paper is fully understood by journal editors and reviewers. Language editing does not guarantee that your manuscript will be accepted for publication. If you would like information about such services please go to [http://www.oxfordjournals.org/for\\_authors/language\\_services.html](http://www.oxfordjournals.org/for_authors/language_services.html). There are other specialist language editing companies that offer similar services and you can also use any of these. Authors are liable for all costs associated with such services.

### **REVISED MANUSCRIPTS**

Revised manuscripts should be returned via the online submission system within two months of the date from when the invitation was sent; revised manuscripts received after this time will be considered as new submissions. Revised manuscripts should be accompanied by a detailed response letter on how all the concerns of the editor and referees have been addressed. Please give the exact page number(s), paragraphs(s) and line number(s) where each revision was made. Please copy this letter in ‘Response to reviews’ during submission.

Format: Original source files are required to avoid delays if the manuscript is accepted. The main text must be provided as Microsoft Word. References, Figure Legends and Tables should be included in the Word file.

Figures should be provided as .TIFF files. The minimum resolution for the figures is 300 dpi for tone or colour, 1200 dpi for line art at approximately the correct size for publication. Colour figures should be CMYK (Cyan-Magenta-Yellow-Black).

## **GUIDELINES FOR PRESENTATION**

Manuscripts should be typewritten using size 12 Times New Roman on one side only of A4 size, aligned left and double-spaced with margins of at least 3 cm. All pages should be numbered sequentially. Each line of the text should also be numbered consecutively. Manuscripts should be written in clear, concise and scientific language, nomenclature and standard international units should be used. The first page should contain the title (not exceeding 100 characters), the name(s) of the author(s), the name(s) and address(es) of the institution(s) where the work was carried out, followed by the contact details of the author to whom correspondence should be sent (address, telephone, fax, and e-mail). Any acknowledgements or any footnotes referring to the title, including sources of financial support (for Chinese authors), should be inserted into the Acknowledgements section, which precedes the References. Authors should also supply a running title which will appear at the top of the page, this should not exceed 50 characters, including spaces. Each paper must begin with a structured abstract of no more than 450 words, including three parts: Aims, Methods and Important Findings (reviews and forums should omit Methods). Aims should briefly state the context and primary objectives of the study. Methods should concisely state the location (for field studies) and major techniques and procedures used in the study. Important Findings should take up no more than half of the abstract and summarize only the most important results and their significance. Three to five Key Words should be supplied after the abstract for indexing purposes.

The body of the text should be subdivided into the following main headings:

- (a) Introduction should be concise and define the scope of the work in relation to other work done in the same field.
- (b) Materials and methods should be brief but informative enough for reproduction of the work; when methods published in standard journals are followed without any modification, a reference to the work should be listed.
- (c) Results and Discussion should be presented with clarity and precision.
- (d) Acknowledgements
- (e) References

There are facilities for publishing data on the Internet (e.g. appendices, additional tables, graphics and other material useful for enhancing the understanding of the manuscript) as supplementary data, which would not be subject to these length constraints (see also below).

## **ABBREVIATIONS**

Standard chemical symbols may be used in the text where desirable in the interests of conciseness. For long chemical names and other cumbersome terms, widely accepted abbreviations may be used in the text (e.g. ATP, DNA); the list of standard abbreviations published by The Biochemical Journal (<http://www.biochemj.org/bj/bji2a.htm>) is an acceptable guide. Abbreviations for the names of less common compounds may be used, but the full term should be given on first mention. It is confusing and unnecessary to use abbreviations for common English words (e.g. L for light).

## **SCIENTIFIC NAMES**

The complete scientific name (genus, species, and authority, and cultivar where appropriate) must be cited for every organism at the first mention. The generic name may be abbreviated to the initial thereafter except where intervening references to other genera with the same initial could cause confusion. If vernacular names are employed, they must be accompanied by the correct scientific name on first use.

## **CHEMICAL AND MOLECULAR BIOLOGY NOMENCLATURE**

Follow Chemical Abstracts and its indexes for chemical names. The IUPAC and IUBMB recommendations on chemical, biochemical, and molecular biology nomenclature should be followed (see <http://www.chem.qmw.ac.uk/iupac> and <http://www.chem.qmw.ac.uk/iubmb>).

## **UNITS OF MEASUREMENT**

The metric system is adopted as standard. The system of units known as 'SI' should be used. If non-standard abbreviations must be used they should be defined in the text. Units of measurement should be spelled out except when preceded by a numeral, when they should be abbreviated in the standard form: g, mg, cm<sup>3</sup>, etc. and not followed by full stops. Use negative exponents to indicate units in the denominator (i.e. mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>).

Numbers up to ten should be spelled out in the text except when referring to measurements. Numbers higher than ten are to be represented as numerals except at the beginning of a sentence. Fractions are to be expressed as decimals.

Dates should be cited thus: 7 June 2001 and the 24 hour clock should be used.

## **SEQUENCE DATA**

Deposition of amino acid sequences of proteins or nucleotide sequences is required before publication, and the database accession number must be given in the text of the manuscript. Microarray Gene Expression Data should comply with the minimum information about microarray experiments standard (MIAME; see [www.mged.org/miame](http://www.mged.org/miame) for more information.)

## **EQUATIONS**

If equations require more than one level of subscript or superscript, please use either 'Microsoft Equation Editor' or 'Math Type'. If anything else is used, the equation has to be re-typed which makes it vulnerable to errors.

## **TABLES**

Tables should be on a separate page, and should be numbered in Arabic numerals with an appropriate legend at the head. They should be included in the text file (either in the .PDF file for first submissions or in the Word file for accepted manuscripts).

## **FIGURES**

Figures should be self-explanatory and contain as much information as is consistent with clarity. All figures must carry the figure number in Arabic numerals. Citation in the text should take the form Fig. 1a etc. The minimum resolution for the figures is 300 dpi (dots per inch) for tone or colour, 1200 dpi for line art at approximately the correct size for publication. Colour figures should be CMYK (Cyan-Magenta-Yellow-Black).

Line drawings should be clear: faint shading or stippling will be lost upon reproduction and should be avoided and heavy shading or stippling may appear black. Lines and symbols should be drawn boldly enough to stand reduction to the desired size. For graphs where reduction to one-half in linear dimensions is intended, a suitable thickness for the axis would be 0.3 mm and for the other lines 0.4 or 1.0 mm depending on the complexity of the graph.

The preferred symbols are closed circle, open circle, closed square, open square, closed triangle, and open triangle and should be no smaller than 2 mm (height/diameter) for reduction to one-half. The symbols x and + should be avoided.

Photographs not supplied electronically, must be of high quality, printed on glossy paper and mounted neatly on a thin white card base, leaving a narrow gap between each print. Irregular and asymmetrically distributed groups of photographs will not be accepted. Individual figures should be lettered, a, b, c, etc. on the photograph using a lettering set. Other lettering, arrows, etc. may be put on the photograph by the author; otherwise they should be indicated in the exact position required on a transparent or translucent self-locating overlay. On no account should any marks be made on the photograph itself.

Colour figures: If the manuscript is accepted for publication, authors will be asked to cover the cost of reproduction, which is US \$200 per figure. Colour plates should be combined to make a single composite figure whenever possible. A scale should be included; otherwise the scale of the original should be stated in the legends so that the final scale can be calculated.

Legends A separate typewritten, double-spaced list of legends of all figures must be supplied and included in the text file. Each legend should contain sufficient explanation to be meaningful without cross-referencing. A scale of the original should be included in the legend unless already indicated in the picture. A description of the symbols used in the figures should be written out in full. (Please do not include the character symbol in the legend.)

Please be aware that figure legends may be used by search engines for figure searches.

Cover illustrations will be taken from, or be associated with, an article that appears in the journal, where possible. Authors wishing to submit a potential cover illustration should indicate it at the time of submission. The potential cover illustration figures must be supplied in electronic format as .TIFF, and resolution must be above 300 dpi at publication size. Please supply a short concise caption to appear inside the journal.

For useful information on preparing your figures for publication, go to <http://cpc.cadmus.com/da>. Please note that all labels used in figures should be in lower case in both the figure and the legend. The journal reserves the right to reduce the size of illustrative material. All micrographs must carry a magnification bar.

#### **SUPPLEMENTARY MATERIAL FOR ONLINE-ONLY PUBLICATION**

Supplementary data may be submitted for online only publication if it adds value for potential readers. However, it must not contain material critical to the understanding of the manuscript. The hard copy of the manuscript should stand alone, but it should be indicated at an appropriate point in the text that supplementary material is available online. In addition, the availability of supplementary material should also be indicated in the manuscript by a section heading 'Supplementary Data' with a brief description of these data to appear before the Acknowledgements and References. Please name your supplementary material and cite it within the manuscript as Figure S1, Table S1, Video S1, etc, and provide a detailed legend.

Electronic files of supplementary material are preferable as one complete .PDF file. If images are supplied as .GIFs or .JPEGs, the minimum acceptable resolution for viewing on screen is 120 dpi.

Videos: The preferred formats for video clips are .MOV, .MPG, .AVI, and animated .GIF files. Authors are advised to use a readily available program to create movies so that they can be viewed easily with e.g., Windows Media Player or QuickTime.

Authors should carefully check the supplementary data as this information is not professionally copy edited or proofread.

## **LITERATURE CITATION**

Citations in the text should have the authors immediately followed by the date to facilitate the electronic linkages which are available on-line, for example: (Shen and Ma 2001) or Shen and Ma (2001). If several papers by the same author in the same year are cited, they should be lettered in sequence (2000a, b), etc. When papers are by more than two authors they should be cited thus: (Shen et al. 2001).

In the list, references must be placed in alphabetical order without serial numbering.

The following standard form of citation should be used, including the title of each paper or book:

Jiang Q, Gresshoff PM (1993) Lotus japonicus---a model plant for structure--function analysis in nodulation and nitrogen fixation. In Gresshoff PM (ed) Current topics of plant molecular biology, Vol.II, Boca Raton, FL: CRC Press, 97-110.

N'tchobo H (1998) Sucrose unloading in tomato fruits. II. Subcellular distribution of acid invertase and possible roles in sucrose turnover and hexose storage in tomato fruit. PhD thesis, Laval University, Canada.

Richard C, Granier D, Inzé D, De Veylder L (2003) Analysis of cell division parameters and cell cycle gene expression during the cultivation of Arabidopsis thaliana cell suspensions. Journal of Experimental Botany 52:1625-1633.

Only papers published or in press should be cited in the literature list. Unpublished results, including submitted manuscripts and those in preparation, should be cited as unpublished in the text. Journal titles should be abbreviated where known.

Citation of articles from e-journals and journal articles published ahead of print should have the author names, year, title, journal title followed by the assigned digital object identifier (DOI) or the appropriate URL:

Parry MAJ, Andralojc PJ, Mitchell RAC, Madgwick PJ, Keys AJ. (March 14, 2003) Manipulation of Rubisco: the amount, activity, function and regulation. Journal of Experimental Botany 10.1093/jxb/erg141.

Citation of the paper after print publication should be: Parry MAJ, Andralojc PJ, Mitchell RAC, Madgwick PJ, Keys AJ (2003). Manipulation of Rubisco: the amount, activity, function and regulation. Journal of Experimental Botany 54:1321-1333.

Citation of other URL addresses (unless in reference to an e-journal) may be made in the text but should not be included in the reference list.

The list of literature must be typed double-spaced throughout and checked thoroughly before submission. If the list is not in the correct form it will be returned to the author for amendment and publication of the paper may be delayed.

### **PERMISSION TO REPRODUCE FIGURES**

Please note that if your manuscript includes any data in tables or figure(s) modified or re-drawn from another publication, you will need permission from the original publisher to reproduce it before your manuscript can be published. This includes figures adapted in any way from other publications. Permission to reproduce figures or data from other publications must be sought by authors at the time of acceptance. Please note that obtaining copyright permission could take some time. A copy of the permission document should be sent to the Production Editor, Journal of Plant Ecology, Oxford University Press, Great Clarendon Street, Oxford OX2 6DP. Email: [JPE\\_production\\_office](mailto:JPE_production_office)

To seek copyright permission please contact the copyright permission department of the relevant journal/publisher.

### **PROOFS**

Proofs will be sent electronically to the corresponding author as a .PDF file. The author should reply to the proof email with their corrections, and should send either a list of corrections in the email or attach an annotated PDF. Corrections should be limited to typographical errors and corrections should be returned within three days of receipt; otherwise the Editor reserves the right to correct the proofs and to send the material for publication. This is essential if all the material in a given issue is not to be delayed by the late receipt of one corrected proof.

### **PAGE CHARGES**

Manuscripts that are more than ten pages in length when typeset will incur a charge of £100/\$160/€130 per extra page after the tenth page. The first ten pages are free of charge.

### **OFFPRINTS AND UNIQUE URL**

On publication of an article, the corresponding author will receive a unique URL that gives access to both PDF and HTML versions of the paper. The URL links visitors to the JPE site and the complete version of the paper online with all functionality retained is accessible regardless of subscription status.

Offprints may be purchased if required. Late orders submitted after the journal has gone to press are subject to a 100% surcharge (to cover the additional printing cost). Orders from the UK will be subject to the current UK VAT charge. For orders from elsewhere

in the EU you or your institution should account for VAT by way of a reverse charge. Please provide us with your or your institution's VAT number.

## **LICENCE TO PUBLISH**

It is a condition of publication in the journal that authors grant an exclusive licence to the Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences (IBCAS) and the Botanical Society of China (BSC). This ensures that requests from third parties to reproduce articles are handled efficiently and consistently and will also allow the article to be as widely disseminated as possible. In assigning the licence, authors may use their own material in other publications provided that the journal is acknowledged as the original place of publication, and Oxford University Press, on behalf of the Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences (IBCAS) and the Botanical Society of China (BSC), is notified in writing and in advance.

Upon receipt of accepted manuscripts at Oxford Journals authors will be invited to complete an online copyright licence to publish form.

Please note that by submitting an article for publication you confirm that you are the corresponding/submitting author and that Oxford University Press ("OUP") may retain your email address for the purpose of communicating with you about the article. You agree to notify OUP immediately if your details change. If your article is accepted for publication OUP will contact you using the email address you have used in the registration process. Please note that OUP does not retain copies of rejected articles.

Oxford Open articles are published under Creative Commons licences. Authors publishing in Journal of Plant Ecology can use the following Creative Commons licences for their articles:

- Creative Commons Attribution licence (CC-BY)
- Creative Commons Non-Commercial licence (CC-BY-NC)
- Creative Commons non-Commercial No Derivatives licence (CC-BY-NC-ND)

Please click [here](#) for more information about the Creative Commons licences.

## **AUTHOR SELF-ARCHIVING/PUBLIC ACCESS POLICY**

For information about this journal's policy, please visit our Author Self-Archiving policy page.

## **CONFLICT OF INTEREST**

Journal policy also requires that all authors sign a conflict of interest statement. If the manuscript is published, such information may be communicated in a note following the text and reference.