Universidade Federal de Ouro Preto

Instituto de Ciências Exatas e Biológicas

Departamento de biodiversidade, evolução e meio ambiente

Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Biomas tropicais

Efeito da assimetria flutuante no desenvolvimento e na germinação de sementes de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong em áreas de Mata Seca com diferentes status de conservação

Isabela Botelho Cardoso

Ouro Preto/MG

Setembro/2017

Universidade Federal de Ouro Preto

Instituto de Ciências Exatas e Biológicas

Departamento de biodiversidade, evolução e meio ambiente

Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Biomas tropicais

Isabela Botelho Cardoso

Efeito da assimetria flutuante no desenvolvimento e na germinação de sementes de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong em áreas de Mata Seca com diferentes status de conservação

Projeto apresentado à Universidade Federal de Ouro Preto como parte das exigências do programa de pós-graduação em Ecologia de Biomas Tropicais para a obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Patrícia de Abreu Moreira

Ouro Preto/MG

Setembro/2017

C178e Cardoso, Isabela Botelho.
Efeito da assimetria flutuante no desenvolvimento e na germinação de sementes de Enterolobium contortisiliquumm (Vell.) Morong em áreas de mata seca com diferentes status de conservação [manuscrito] / Isabela Botelho Cardoso. - 2017.
35f.: il.: grafs; tabs; mapas.

Orientador: Profa. Dra. Patrícia de Abreu Moreira.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Biológicas. Departamento de Biodiversidade, Evolução e Meio Ambiente. Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Biomas Tropicais .
Área de Concentração: Evolução e Funcionamento de Ecossistemas.

1. Mudanças ambientais globais. 2. Sementes - Germinação. I. Moreira, Patrícia de Abreu. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Titulo.

CDU: 502.175

Catalogação: www.sisbin.ufop.br

Ministério da Educação
Universidade Federal de Ouro Preto
Programa de Pós-graduação em Ecologia de Biomas Tropicais
ICEB - Campus – Morro do Cruzeiro
Ouro Preto – MG – CEP 35.400-000
Fone: (031)3559-1747
E-mail: biomas@iceb.ufop.br

"Efeito da assimetria flutuante no desenvolvimento e na germinação de sementes de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong em áreas de Mata Seca com diferentes status de conservação".

Autora: Isabela Botelho Cardoso

Dissertação defendida e aprovada, em 25 de setembro de 2017, pela banca examinadora constituída pelos professores:

Professora Dra. Patrícia de Abreu Moreira
Universidade Federal de Ouro Preto

Professora Dra. Tatiana Garabini Cornelissen
Universidade Federal de São João del Rey

Professora Dra. Fernanda Vieira da Costa
Universidade Federal de Ouro Preto

Agradecimentos

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por ter me feito apaixonada pelo que eu faço.

Além dele, muitas foram as pessoas que foram importantes para que eu chegasse até aqui. Obrigada aos meus pais Rosa e Vilmar e ao meu irmão Pedro pelo apoio incondicional, por acreditarem em mim e, principalmente, entenderem a distância. Saber que eu tenho vocês me da tranquilidade para seguir os meus sonhos. Amo vocês!

Obrigada tias, tios, primas e primos das famílias Botelho, Cardoso e Lopes e amigos de Almenara/MG por se alegrarem com cada conquista minha como se fossem suas.

Minhas amigas-irmãs: Anne, Ivinny, Lívia e Anna Júlia, obrigada por estarem presente mesmo distante e serem colo sempre que precisei.

Meninas da República Água na Boca, muito obrigada por serem a minha primeira (e pra sempre) família em Ouro Preto.

Gostaria de adradecer à todas as turmas do mestrado em especial a minha, Biomas 2015-2: Amanda Dias, Cláudio Tavares, Danilo Oliveira, Denny Fernandes, Diego Dias, Flávia Simões, Isabella Ferreira e Luis Fernando Clímaco por dividirem comigo as alegrias e as adversidades de ser um mestrando.

Alguns colegas ultrapassaram essa barreira e se transformaram em verdadeiros amigos. Muito obrigada Mariana Moura (Maricota), Flávia (Fravinha), Isabella (Xena) e Marcelinha (Flor de romã) pela amizade contruída.

Obrigada Patrícia Cafiero e Adilson Ribeiro pela ajuda com o trabalho, sem vocês isso não seria possível.

Obrigada Dani e Heloísa, vocês foram a minha força na etapa de escarificação.

Laboratótio de Genética e Ecologia de Populações e Universidade Federal de Ouro Preto obrigada pelo acolhimento. Fapemig obrigada pelo apoio financeiro.

Gostaria de agradecer aos docentes do Programa de Pós-graduação em Ecologia de Biomas Tropicais pelos ensinamentos.

Obrigada Rubens Modesto por resolver os problemas quase sempre antes deles existirem.

Obrigada Marina Beirão pela ajuda com a estatística e pela amizade contruída.

Finalmente, ogradeço a minha orientadora Patrícia Moreira por fazer muito mais que o seu papel. Obrigada por entender os meus medos, solucionar os meus problemas, puxar minha orelha, ser meu porto seguro nas horas difíceis e ser um exemplo de profissional que eu vou seguir. Nossa amizade será pra sempre! Obrigada ainda pela Malu, o ponto de luz que recarrega nossas energias.

Cada um dos citados acima teve seu papel para que esse trabalho fosse concluído. Carrego todos vocês em meu coração!

SUMÁRIO

Resumo 4

Abstract 6

Introdução 8

Material e métodos 10

Área estudada 10

Espécie estudada 10

Amostragem 12

Medições de assimetria flutuante 12

Germinação 12

Análise nutricional 13

Análises estatísticas 13

Resultados 14

Discussão 16

Referências Bibliográficas 19

Figuras 27

Tabela 31

Artigo em preparação a ser submetido ao periódico Brazilian Journal of Botany

Resumo

Assimetria Flutuante (AF) é um parâmetro amplamente usado como medida de instabilidade de desenvolvimento em animais e plantas. As perturbações mais comuns que afetam o desenvolvimento são consequências de atividades antrópicas, tais como poluição, exploração de recursos naturais e modificação do ambiente. O objetivo deste trabalho foi investigar os efeitos da AF no desenvolvimento e germinação de sementes de *Enterolobium contortisiliquum* produzidas por árvores localizadas em dois ambientes de Mata Seca com distintos status de conservação. Dez árvores foram selecionadas em uma área preservada assim como em uma área antropizada e, de cada uma, foram retiradas 100 sementes. Um total de 2000 sementes foi pesado e utilizado para as medições de AF. Mil sementes, 25 simétricas e 25 assimétricas de cada árvore, foram utilizadas para germinação. Após germinadas, as plântulas foram desidratadas para calcular o peso seco das mesmas. GLMM's foram realizados para verificar se existe diferença na AF e no peso das sementes entre as áreas e para verificar o efeito do ambiente e da AF na porcentagem de germinação, no tempo de germinação e na produção de peso seco. Não houve diferença na AF e no peso das sementes entre os ambientes ($p=0,293$ e $p=0,317$ respectivamente). Entretanto ao germinar as sementes, observa-se efeito do ambiente e da AF tanto na porcentagem ($p<0,0001$) quanto no tempo de germinação ($p<0,0001$). As sementes produzidas por árvores localizadas na área preservada germinam em maior quantidade e mais rápido quando comparadas às sementes produzidas por árvores da área antropizada. Na área preservada, as sementes assimétricas germinaram em maior quantidade e mais rápido quando comparadas às simétricas. Já na área antropizada as sementes simétricas germinaram em maior quantidade e mais rápido do que as assimétricas. Plântulas provenientes de sementes da área antropizada produziram maior peso seco quando

comparadas às plântulas provenientes de sementes da área preservada. Em ambas as áreas plântulas provenientes de sementes simétricas tiveram maior peso seco. Provavelmente o ambiente e a AF influenciaram na fisiologia da semente, o que acarretou em diferenças na germinação. As sementes simétricas e assimétricas da área preservada apresentaram bom desempenho e semelhante entre si. Já as sementes que se desenvolveram na área antropizada tiveram maior instabilidade no desenvolvimento e, principalmente as sementes assimétricas dessa área, apresentaram menor desempenho quando comparadas às outras sementes do estudo.

Abstract

Fluctuating asymmetry (FA) is a parameter that is widely used as a measure of instability developing in animals and plants. The most common disorders that affect development are consequences of anthropogenic activities, such as pollution, exploitation of natural resources and environment modification. The aim of this study was to investigate the effects of FA in the development and seed germination of *Enterolobium contortisiliquum* produced by trees located in two dry forest environments with different conservation status. Ten trees were selected in a preserved area as well as in an antropized area and, of each, 100 seeds were removed. A total of 2000 seeds was weighed and used for FA measurements. Thousand seeds, 25 symmetric and 25 asymmetric of each tree were used for germination. After germinated, seedlings were dehydrated to calculate the dry weight of the same. GLMM's were carried out to verify if there is difference in FA and weight of seeds between areas and to verify the effect of the environment and of the FA on percentage of germination, germination time and production of dry weight. There was no difference in FA and weight of seeds between the environments ($p=0.293$ e $p=0.317$ respectively). However to germinate the seeds, environmental effect and the FA both in percentage ($p<0.0001$) as in the time of germination ($p<0.0001$) is observed. The seeds produced by trees located in the preserved area germinate in greater quantity and faster when compared to the seeds produced by trees of the anthropized area. In the preserved area, asymmetric seeds germinated in greater quantity and faster when compared to the symmetrical. Already in the area anthropized the symmetric seeds germinated in greater quantity and faster than the asymmetric. Seedlings from seeds of the anthropized area produced higher dry weight when compared to seedlings from the preserved area. In both areas, seedlings from seeds symmetrical had a higher dry weight. Probably the environment and FA influenced seed physiology, which led to differences in germination. The symmetrical and asymmetrical seeds of the preserved area showed good

performance and similar each other. Already the seeds that developed in anthropized area had greater instability in the development and, mainly the asymmetric seeds of this area, showed reduced performance when compared to other seeds of the study.

Introdução

A Assimetria Flutuante (AF) é definida como pequenas variações aleatórias na simetria de caracteres bilaterais (Palmer & Strobeck 1986) e tem sido utilizada na medida da instabilidade no desenvolvimento de plantas e animais (Palmer & Strobeck 1986, Anciães & Marini 2000, Eeva et al. 2000, Díaz et al. 2004, Ishino & Rossini 2007, Graham et al. 2010, Cornelissen & Stiling 2011, Cuevas-Reyes et al. 2011). Esses caracteres devem se desenvolver de forma idêntica nos dois lados, pois são produtos do mesmo genoma (Clarke et al. 1986). Assim, o nível de AF corresponde a perturbações ocorridas durante o desenvolvimento e reflete a interferência no controle de processos de desenvolvimento ao crescer em condições ambientais adversas (Leary & Allendorf 1989). Desse modo, o estresse ambiental pode afetar o desenvolvimento simétrico bilateral dos indivíduos reduzindo a robustez e aumentando a quantidade de ruídos, diminuindo a estabilidade do desenvolvimento e perturbando o crescimento simétrico dos lados esquerdo-direito dos caracteres (Klingenberg & Nijhout 1999, Klingenberg 2001).

A influência de fatores ambientais sobre o fenótipo do indivíduo causando desenvolvimento assimétrico de caracteres já foi observado em diferentes organismos, como em anfíbios (Zhelev 2015), em aves (Soares & Anjos 1999), em roedores (Yalkovskayaa et al. 2016), em plantas (Santos et al. 2017), dentre outros. Outros estudos com plantas enfatizam ainda o aumento da AF diante do estresse ambiental. A AF foliar de *Rhus glabra* L. (Anacardiaceae) analisadas em uma área contaminada com metais pesados foi significativamente maior quando comparadas às plantas da mesma espécie vivendo em ambiente não contaminado (Smith 2016). Folhas da espécie *Banisteriopsis campestris* (Malpighiaceae) são 51% mais assimétricas quando expostas ao fogo (Alves-Silva & Del-Claro 2013). Em áreas de pastagem em fase de recuperação, a AF foi significativamente

maior em folhas de *Tibouchina heteromalla* (Melastomataceae) do que em áreas de vegetação natural (Fernandes et al. 2016).

A maioria dos estresses ambientais se dá em decorrência das ações antrópicas que provocam grandes modificações na paisagem, afetando drasticamente as espécies que ali vivem (Sanseverino & Nessimian 2008). Essas alterações causam estresse nos indivíduos das populações afetadas provocando assimetria bilateral nos caracteres, o que ameaça a sua sobrevivência e diminui o seu valor adaptativo (Hoffmann & Parsons 1991, Parsons 1992). Assim, valores de AF podem servir como alerta da saúde da população e de declínio na qualidade ambiental (Adams et al., 2001). Essa qualidade influencia diretamente os organismos, pois os recursos disponíveis para os indivíduos exercerem suas funções vitais são dependentes do mesmo. Dessa forma, o ambiente em que um indivíduo se desenvolve pode influenciar a sua prole (Alexander & Wulff 1985). Indivíduos de *Campanula americana* (Campanulaceae) produzem sementes com maior massa quando estão em ambiente com alta quantidade de nutrientes e alta incidência de luz solar. Além disso, o aumento de nutrientes no ambiente maternal diminui a porcentagem de germinação das sementes produzidas (Galloway 2001).

As Florestas Estacionais Deciduais (Matas Secas) representam o ecossistema mais ameaçado das Américas, suas áreas originais se encontram extremamente reduzidas (Oliveira-Filho & Machado 1993, Mass 1995, Ewel 1999). O processo de formação dessa fitofisionomia ocorreu de modo que, naturalmente, resultasse em remanescentes florestais localizados em solos ricos que são utilizados para agricultura ou implantação de pastagens, aumentando a dificuldade de sua conservação (Pennington et al. 2000, Anaya et al. 2006, Espírito-Santo et al. 2009). Além disso, essas áreas enfrentam sérios problemas com a utilização de espécies vegetais nativas para fins medicinais, alimentício e extração de madeira

(Oliveira et al. 2006), gerando uma matriz fragmentada geralmente com árvores isoladas e com altos níveis de perturbações ambientais.

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi investigar o desenvolvimento e germinação de sementes de *Enterolobium contortisiliquum* (Fabaceae) verificando a AF de sementes produzidas por árvores presentes em duas áreas de Mata Seca com diferentes graus de perturbação. A seguinte hipótese foi testada: o desempenho das sementes de *E. contortisiliquum* produzidas por árvores localizadas na área preservada é melhor do que as sementes produzidas por árvores localizadas na área antropizada. Assim, as sementes da área preservada apresentam menor AF, maior velocidade e taxa de germinação, bem como maior peso seco das plântulas e melhor qualidade nutricional quando comparadas às sementes da área antropizada.

Material e métodos

Área estudada

O estudo foi realizado em duas áreas de Matas Secas localizadas no norte de Minas Gerais: uma área preservada, localizada dentro do Parque Estadual Lapa Grande (PELG) e uma área em seu entorno, constituída por uma matriz alterada pelo homem para o estabelecimento de áreas de cultivo e pecuária, com presença de árvores remanescentes no pasto (Figura 1). O clima nesse local é do tipo Aw (Köppem & Geiger 1928), caracterizado por invernos secos e verões chuvosos, com precipitação média variando 700-1200 mm e temperatura média entre 21 e 25°C (Antunes 1994, Sànchez-Azofeifa et al. 2005).

As Matas Secas são caracterizadas por vegetação com predomínio de árvores caducifólias (com pelo menos 50% de deciduidade no período seco) podendo apresentar grande número de espécies xerófitas no sub-bosque. O estrato arbóreo apresenta altura que varia entre 15 e 25 metros, formando um dossel ligeiramente contínuo (Gentry et al. 1995,

Pedralli 1997, Sànchez-Azofeifa et al. 2005). Estão presentes em locais de alta deficiência hídrica, com baixa precipitação anual (inferior a 1600 mm) distribuída em um curto período do ano e, geralmente, estão associados a solos de afloramentos calcários (Fernandes 2002). As Matas secas estão distribuídas em toda a região Neotropical, desde o México e Chile até o Sudeste do Brasil e o Chacos na Argentina (Pennington et al. 2000). A maior parte dos remanescentes encontra-se hoje no Brasil (Pennington et al. 2006), mais especificamente no nordeste brasileiro e norte do estado de Minas Gerais (Werneck et al. 2011).

Espécie estudada

Enterolobium contortisiliquum (Vell.) Morong é uma árvore Neotropical pertencente à uma das famílias mais dominantes das Matas Secas, a Fabaceae (Gentry 1995, Mayle 2004). Essa árvore é característica desse ambiente (Särkinen et al. 2011) e foi utilizada para definir regiões historicamente pertencentes a essas formações florestais (Prado & Gibbs 1993, Prado 2000, Morrone 2009). Também é frequentemente encontrada em florestas tropicais do Brasil (Oliveira-Filho 2006). Popularmente é conhecida por tamboril, orelha-de-macaco, orelha-de-negro, tambori, timbaúba, entre outros (Lorenzi 2002). A floração ocorre em um período curto, entre setembro e outubro, enquanto os seus frutos amadurecem entre junho e julho. Os frutos maduros e sementes de *E. contortisiliquum* assemelham-se a outras espécies de *Enterolobium* (Moreira 2012). Os frutos são lisos, brilhantes, indeiscentes e de coloração marrom profundo (Rocha & Aguilar 2001), enquanto que as sementes são duras, ovais e marrons (Link & Costa 1995). O desenvolvimento dos frutos e suas sementes ocorrem durante quase um ano e sua dispersão é durante a estação seca, logo antes da próxima floração. Neste contexto, frutos maduros correspondem a polinização do ano passado (Moreira 2012).

Amostragem

Dez árvores remanescentes foram selecionadas de maneira aleatória na área antropizada (área de pastagem) e 10 árvores na área preservada (dentro do PELG). Em todas as 20 árvores, frutos foram coletados de maneira a representar toda a arquitetura das mesmas. Em seguida, as sementes foram retiradas dos frutos, contadas, identificadas, pesadas em balança de precisão com capela (BEL Photonics LW230i) e fotografadas individualmente (Canon DS126231).

Medições de assimetria flutuante

De cada semente foi medido o comprimento longitudinal e, exatamente da sua metade, foi medido o comprimento para a direita (D) e para esquerda (E). O valor de AF foi obtido através da divisão do valor absoluto da diferença desses comprimentos (D-E) pelo comprimento médio (D+E/2) (Palmer & Strobeck 1986) (Figura 2). Essas mesmas medidas também foram feitas nas metades superior e inferior da semente, obtendo assim, três valores de AF para cada semente. As análises estatísticas foram realizadas a partir da média desses três valores.

Germinação de sementes

Para a realização da germinação, as sementes foram previamente categorizadas de acordo com os valores de AF obtidos. As sementes com valores entre 0,001 e 0,09 cm foram definidas como simétricas, enquanto que as sementes com valores maiores ou iguais a 0,1 cm foram categorizadas como assimétricas (Cornelissen & Stiling 2011). Vinte e cinco sementes assimétricas e 25 sementes simétricas de cada árvore foram utilizadas para germinação, totalizando 1000 sementes (500 por área).

As sementes foram deixadas por 2 minutos em solução de hipoclorito de sódio a 2% para desinfecção. Posteriormente, as sementes foram colocadas em bandejas de isopor com divisões individualizadas contendo vermiculita como substrato. Administrou-se nistatina 10% para evitar infestação por fungos e foram colocadas em câmara de germinação do tipo BOD (Solab sl-224) com temperatura controlada entre 26 e 30 ºC e fotoperíodo de 12 horas. A irrigação foi feita de 48 em 48 horas com água destilada.

A observação das sementes foi feita em intervalos de 24 h ao longo de 30 dias. As sementes que emitiram radícula foram consideradas germinadas. Após a queda dos cotilédones, as plântulas foram retiradas da bandeja e armazenadas no freezer em sacos de papel. Essas plântulas foram desidratadas em estufa a 60 ºC por 72 h para avaliação do peso seco da parte aérea, peso seco radicular e peso seco total.

Análise nutricional das sementes

Quarenta sementes foram utilizadas para análise nutricional. De cada área, foram escolhidas 10 sementes assimétricas e 10 simétricas, sendo uma de cada árvore. A análise foi feita a partir do *pool* dessas sementes e realizada pelo Laboratório de Análise de Solo, Tecido Vegetal e Fertilizante/UFV. Os seguintes nutrientes foram analisados: nitrogênio (N), fósforo (P), sódio (Na), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), boro (B) e carbono (C).

Análises estatísticas

Para todas as análises foram construídos modelos lineares generalizados mistos (GLMM - Generalized Linear Mixed Models) que foram realizadas no programa estatístico R (R core team 2015). Assumiu-se pseudoreplicação, sendo o efeito aleatório a árvore, já que 100 sementes foram retiradas de cada árvore-mãe.

Para verificar se houve diferença de AF entre as áreas, a variável independente foi a área (preservada e antropizada) e a dependente foi AF.

Para a análise do peso da semente em relação às áreas e às categorias de AF, a área (preservada e antropizada) e a categoria (simétrica e assimétrica) foram as variáveis independentes e o peso foi a variável dependente.

A taxa e o tempo de germinação das sementes foram analisados em relação às áreas e à simetria das sementes, sendo as variáveis independentes a área (preservada e antropizada) e a categoria (simétrica e assimétrica), e as variáveis dependentes a porcentagem de germinação e o tempo de germinação (em dias).

Para analisar se houve diferença do peso seco das plântulas entre as áreas e as categorias de simetrias a área (preservada e antropizada) e a categoria (simétrica e assimétrica) foram as variáveis independentes enquanto que o peso seco da parte aérea, o peso seco da raiz e o peso seco total foram as variáveis dependentes.

Resultados

Não houve efeito significativo do ambiente nos valores de AF das sementes de *Enterolobium contortisiliquum*. ($F=0,0096$; $p=0,923$), com o valor médio igual a 0,174. Não houve relação ainda entre o peso da semente, AF e áreas estudadas ($F=1,0016$, $p=0,3171$). O peso médio das sementes foi igual a 0,357 g.

Houve efeito significativo do ambiente e da AF na porcentagem de germinação de sementes de *E. contortisiliquum* ($p<0,0001$) (Figura 3). As sementes da área preservada germinaram 1,8 vezes mais (sementes simétricas 23% e sementes assimétricas 27%) do que as sementes da área antropizada (sementes simétricas 23% e sementes assimétricas 5%). Ao considerar a simetria das sementes e a área foi observado um padrão diferente entre as áreas. Enquanto que na área preservada sementes assimétricas germinaram mais, na área antropizada

sementes simétricas germinaram em maior quantidade. Vale ressaltar que a diferença na porcentagem de germinação entre as sementes simétricas e assimétricas foi muito maior na área antropizada quando comparada à área preservada.

O tempo de germinação variou em função da AF e do ambiente ($p<0,0001$) (Figura 4). As sementes da área preservada germinaram mais rápido (sementes simétricas 26 dias e sementes assimétricas 25 dias) quando comparadas às sementes da área antropizada (sementes simétricas 25 dias e sementes assimétricas 29 dias). Ao considerar a simetria das sementes e a área, foi observado um padrão diferente entre as áreas. Na área preservada as sementes assimétricas germinaram mais rápido, enquanto que na área antropizada as sementes simétricas germinaram mais rápido. Observa-se também que a diferença no tempo de germinação de sementes simétricas e assimétricas foi maior na área antropizada quando comparada à área preservada.

O peso seco da parte aérea, peso seco da raiz e peso seco total foram influenciados pelo ambiente e pelo valor de AF ($p=0,0007$, $p<0,043$, $p=0,0008$, respectivamente) (Figura 5). A área antropizada produziu plântulas com maior peso seco quando comparadas à área preservada. O padrão de produção de peso seco foi igual entre as áreas, sementes simétricas produziram plântulas com maior peso seco de parte aérea, da raiz e total em ambas as áreas. Novamente, a diferença da produção de peso seco por plântulas provenientes de sementes simétricas e assimétricas foi maior na área antropizada quando comparada à área preservada.

Sete nutrientes apresentaram diferenças na quantidade entre as sementes (Tabelas 1). As sementes simétricas da área antropizada apresentaram maior quantidade de Ca quando comparadas às outras categorias de sementes. As sementes assimétricas têm maior quantidade de S quando comparadas às simétricas nas duas áreas estudadas. O Cu variou apenas na área antropizada, nesta área as sementes assimétricas apresentaram maior quantidade desse mineral quando comparadas às simétricas. Na área preservada, sementes assimétricas têm mais Fe em

comparação às simétricas, já na área antropizada, as sementes simétricas têm maior quantidade desse nutriente quando comparadas às assimétricas. Vale ressaltar, que as sementes simétricas da área antropizada apresentam mais Fe quando comparadas às outras categorias de sementes e áreas estudadas. A quantidade Zn, Mn e B não variou entre sementes simétricas e assimétricas na área preservada. Contudo, a quantidade desses minerais variou na área antropizada, as sementes simétricas dessa área apresentam maior quantidade destes minerais. A quantidade de N, P, K, Mg e C não diferiu entre as áreas e as categorias de AF das sementes.

Discussão

A diferença entre os ambientes estudados não foi suficiente para provocar diferença nos valores de AF das sementes de *Enterolobium contortisiliquum*. Na fase de maturação fisiológica da semente os produtos formados na fotossíntese são enviados para a semente em formação e serão utilizados para formação de novas células, tecidos e endosperma (Peske et al. 2003). Em árvores de *E. contortisiliquum* remanescentes no pasto e presentes dentro do Parque Estadual da Lapa Grande, provavelmente, esse transporte de nutrientes não foi afetado pelas condições ambientais e, portanto, as sementes de ambos os ambientes se desenvolveram de maneira similar e com pesos semelhantes.

Outros trabalhos, também com plantas, não encontraram relação do estresse ambiental com AF. Flores de *Iris germanica* que se desenvolveram em área urbana poluída não apresentaram valores de AF diferentes das flores amostradas em um ambiente não poluído (Klisarić et al. 2016). Não foi encontrada ainda diferença significativa de AF em folhas de *Cecropia pachystachya* localizadas em estradas poluídas em relação a folhas de indivíduos dentro de uma área de proteção ambiental (Mendes 2014). Folhas de *Chamaecrista*

semaphora que se desenvolveram em ambiente natural e em ambiente restaurado, não apresentaram diferença significativa de AF foliar (Costa et al. 2013).

Apesar das diferenças ambientais entre as áreas estudadas não terem sido suficientes para causar assimetria durante o desenvolvimento das sementes, existe uma influência direta na fisiologia das mesmas. As sementes produzidas por árvores da área preservada obtiveram maior taxa de germinação quando comparadas às sementes produzidas por árvores da área antropizada. Os diferentes status de conservação dos ambientes em que as árvores estão inseridas sofrem diferentes tipos de estresse. Ambientes abertos, como o da área antropizada, recebem maior incidência solar e os estresses sofridos pela planta mãe durante o desenvolvimento da semente devido a essa alta incidência influenciam na taxa de germinação da semente (Gutterman 2000). O déficit hídrico e a alta temperatura induzem rápida deterioração da semente, alterando as propriedades do tecido materno ao redor da mesma, afetando a germinabilidade das sementes (Popinigis 1985, Gutterman 2000). Na espécie *Chenopodium album* e na soja (*Glycine max*), por exemplo, quanto maior a temperatura na fase de maturação da semente, menor é a taxa de germinação (Keigley & Mullen 1986, Karssen 1970). O desenvolvimento dos frutos e, consequentemente, de sementes de *E. contortisiliquum* ocorre em um longo período de tempo, assim as sementes produzidas pelas árvores na área antropizada são bastante afetadas por esses fatores, acarretando em menor taxa de germinação.

Diferenças na fisiologia da semente, como a quantidade de nutrientes, podem estar relacionadas à taxa e ao tempo de germinação. Sementes simétricas da área antropizada possuem maior quantidade de Ca e Mn quando comparadas às outras sementes do estudo. O Ca tem grande importância no desenvolvimento radicular exercendo funções de divisão e alongamento celular (Mascarenhas 1997). O Mn tem papel indireto na síntese de proteínas e na divisão celular (Kirkby & Römheld 2007) e está envolvido na tolerância ao estresse, uma

vez que interfere na quantidade de lixiviados liberados para o meio externo durante a fase de germinação de sementes (Marschner 1995), mantendo a integridade das mesmas. Provavelmente, por esse motivo essas sementes germinaram mais rápido do que as demais sementes e em maior quantidade quando comparadas às sementes assimétricas da mesma área. Além disso, provavelmente as sementes simétricas da área antropizada são produzidas de forma que se estabeleçam mais rápido, visto que estão em um ambiente estressado. Dessa forma, essas sementes têm maior chance de se tornar um indivíduo adulto.

A diferença na taxa de germinação entre sementes simétricas e assimétricas amostradas dentro do PELG é menor do que a diferença da germinação observada entre sementes simétricas e assimétricas provenientes de árvores remanescentes no pasto. Provavelmente, quando as sementes se desenvolvem em um ambiente conservado, elas sofrem menor estresse dos fatores ambientais. Já quando as sementes se desenvolvem em um ambiente perturbado, o estresse deste ambiente influencia na fisiologia da semente (Gutterman 2000), acarretando instabilidade no desenvolvimento das mesmas, o que pode levar à maior dificuldade das sementes assimétricas para germinarem.

As sementes simétricas da área antropizada também apresentam maior quantidade de Fe, diferentemente das outras sementes. Este nutriente participa diretamente da fixação biológica de nitrogênio na planta (Faquin 2005), que, por sua vez, está intimamente ligado à produção de proteínas, que são constituintes importantes no desenvolvimento inicial do embrião durante a germinação das sementes (Imolesi et al. 2001), além de ser componente de macromoléculas e constituinte de enzimas, desempenhando funções crucias para o desenvolvimento da planta (Faquin 2005). Outro nutriente presente em maior quantidade nessas sementes é o Zn, que também está envolvido no processo do crescimento e desenvolvimento das plantas (Cakmak 2005). Essas características das sementes simétricas da área antropizada podem estar relacionadas com a produção de plântulas com maior peso seco

da parte aérea, da raiz e peso seco total, quando comparadas às outras sementes do presente estudo.

A ferramenta AF não foi capaz de detectar instabilidades no desenvolvimento das sementes entre os ambientes, porém, quando essas são germinadas, observa-se um efeito negativo do ambiente. Apesar de ter maior peso seco da raiz, as sementes produzidas por árvores da área antropizada não apresentam um bom desempenho como as sementes produzidas por árvores da área preservada, gerando cada vez menos indivíduos, o que pode implicar em redução de populações de *E. contortisiliquum*. Desse modo é necessário a conservação da espécie, bem como o ambiente em que as mesmas estão inseridas.

Referências Bibliográficas

Adams SM, Giesy JP, Tremblay LA, Eason CT. 2001. The use of biomarkers in ecological risk assessment: recommendations from the Christchurch conference on biomarkers in ecotoxicology. Biomarkers 6, 1-6.

Alexander HM & Wulff RD. 1985. The effects of maternal temperature on seed and seelding characters in Plantago lanceloata. Jourbal of Ecology 73. 271-282.

Alves-Silva E & Del-Claro K. 2013. Effect of post-fire resprouting on leaf fluctuating asymmetry, extrafloral nectar quality, and ant–plant–herbivore interactions. Naturwissenschaften 100: 525–532.

Anaya F, Barbosa R, Sampaio C. 2006. Sociedade e biodiversidade na Mata Seca Mineira. Unimontes Científica, 8: 35-51.

Anciães M, Marini MÂ. 2000. The effects of fragmentation on fluctuating asymmetry in passerine birds of Brazilian tropical forests. Journal of Applied Ecology 37: 1013-1028.

Antunes FZ. 1994. Caracterização climática – Caatinga do estado de Minas Gerais. Informe Agropecuário 17: 15-19.

Cakmak I. 2005. Effect of micronutrients on seed quality. *In* Plant nutrition for food security, human health and environmental protection. (Li CJ et al., eds.). Tsinghua University Press, China. 384 - 385.

Clarke GM, Brand GW, Whitten MJ. 1986. Fluctuating asymmetry: a technique for measuring developmental stress caused by inbreeding. Australian Journal of Biological Science, 39: 145–153.

Cornelissen T &. Stiling P. 2005. Perfect is best: low leaf fluctuating asymmetry reduces herbivory by leaf miners. Oecologia 142: 46–56

Cornelissen T &. Stiling P. 2011. Similar responses of insect herbivores to leaf fluctuating asymmetry. Arthropod-Plant Interactions 5: 59–69.

Costa FV, Azevedo IFP, Braga LL, Perillo LN, Neves FS, Leite LO, Silva BLR, Ribeiro LC, Fernandes GW, Cuevas-Reyes P. 2013. Fluctuating asymmetry and herbivory in two ontogenetical stages of *Chamaecrista semaphora* in restored and natural environments. Journal of Plant Interactions 8(2): 179-186.

Cuevas-Reyes P, Fernandes GW, González-Rodríguez A, Pimenta M. 2011. Effects of generalist and specialist parasitic plants (Loranthaceae) on the fluctuating asymmetry patterns of ruprestrian host plants. Basic and Applied Ecology 12: 449-455.

Díaz M, Pulido FJ, Møller AP. 2004. Herbivore effects on developmental instability and fecundity of holm oaks. Oecologia 139: 224-234.

Eeva T, Tanhuanpää S, Råbergh C, Airaksinen S, Nikinmaa M, Lehikoinen E. 2000. Biomarkers and fluctuating asymmetry as indicators of pollution-induced stress in two hole-nesting passerines. Functional Ecology 14: 235-243.

Espírito-Santo MM, Sevilha AC, Anaya F, Barbosa R, Fernandes GW et al. 2009. Sustainability of tropical dry forests: two case studies in southeastern and central Brazil. For Ecol Manag 258: 922-930.

Ewel JJ. 1999. Natural systems as models for design of sustainable systems of land use. Agroforestry Systems. 45: 1-21.

Faquin V. 2005. Nutrição mineral das plantas. Curso de pós-graduação "lato sensu" (especialização) a distância solos e meio ambiente. Universidade Federal de Lavras. Lavras, MG.

Fernandes A. 2002. Biodiversidade da caatinga. *In* Biodiversidade, conservação e uso sustentável da flora do Brasil (Araújo EL, et al., ed.). Recife: UFRPE e SBB, p.42-43.

Fernandes GW, Oliveira SCS, Campos IR, barbosa M, Soares LA, Cuevas-Reyes P. 2016. Leaf Fluctuating Asymmetry and Herbivory of *Tibouchina heteromalla* in Restored and Natural Environments. Neotrop Entomol 45:44-49.

Gentry AH. 1995. Diversity and floristic composition of neotropical dry forests. *In* Seasonally Dry Tropical Forests (Bullock SH, Mooney HA, Medina E eds.) Cambridge University Press, Cambridge, p.146-194.

Galloway LF. 2001. The effect of maternal and paternal environments on seed characters in the herbaceous plant Campanula americana (Campanulaceae). Americam Journal of botany 88(5): 832-840.

Graham JH, Raz S, Hel-Or H, Nevo E. 2010. Fluctuating Asymmetry: Methods, Theory, and Applications. Symmetry (Basel) 2: 466-540.

Gutterman Y. 2000. Maternal Effects on Seeds During Development. *In* Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities 2th ed (Fenner M ed.). CAB International.

Hoffmann AA & Parsons PA. 1991. Evolutionary Genetics and Environmental Stress. Oxford University Press, Oxford.

Imolesi AS, Pinho EVRV, Pinho RGV, Vieira MGGC, Corrêa RSB. 2001. Influência da adubação nitrogenada na qualidade fisiológica das sementes de milho. Ciênc. Agrotec. 25 (5): 1119-1126.

Ishino MN & Rossi. MN. 2007. Assimetria flutuante: indicativo de suscetibilidade ou tolerância à herbívora? Um estudo do padrão de herbivoria de um minador foliar em uma planta de cerrado. *In* Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil. Caxambu, MG, p.1-3.

Karssen CM. 1970. The light promoted germination of the seeds of *Chenopodium album* L. III. Effect of the photoperiod during growth and development of the plants on the dormancy of the produced seeds. Acta Botanica Neerlandica 19, 81–94.

Keigley PJ & Mullen RE. 1986. Changes in soybean seed quality from high temperatures during seed fill and maturation. Crop Science 26, 1212–1216.

Kirkby EA, Römheld V. 2007. Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. Informações Agronômicas (118).

Klingenberg CP & Nijhout HF. 1999. Genetics of fluctuating asymmetry: a developmental model of developmental instability. Evolution 53: 358-375.

Klingenberg CP. 2001. A developmental perspective on developmental instability: theory, models and mechanisms. *In* Developmental instability: causes and consequences (Polak M, ed.).Oxford University Press, Oxford, In Press.

Klisarić NB, Miljković D, Avramov S, Živković U, Tarasjev A. 2016. Developmental instability in german iris flower as a potential biomonitoring method. Arch Biol Sci. 68(4):837-844

Köppen, W., Geiger, R. 1928. Klimate der Erde. Gotha: Verlag Justus Perthes.

Leary RF & Allendorf FW. 1989. Fluctuating asymmetry as an indicator of stress: implications for conservation biology. Trends in Ecology and Evolution 4: 214–217.

Link D & Costa EC. 1995. Danos causados por insetos em sementes de timbaúva, *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. Ciência Florestal 5: 113-122.

Lorenzi H. 2002. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do brasil. 4th ed., Instituto Plantarum, Nova Odessa.

Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London.

Mascarenhas HAA. 1977. Cálcio no solo e na planta. *In* Cálcio, enxofre e ferro no solo e na planta (Mascarenhas HAA, ed.). Campinas: Fundação Cargill. p. 01-24.

Mass JM. 1995. Conservation of tropical dry forest to pasture and agriculture. *In*: Seasonally dry tropical forest. (Bullcok SH, Mooney AG, Medina E, eds.). Cambridge University Press. New York. 299-422.

Mayle F. 2004. Assessmen of the Neotropical dry forest refugia hypothesis in the light of palaeoecological data and vegetation model simulations. J Quat Sci 19: 713-720.

Mendes GM. 2014. Assimetria Flutuante como bioindicadora de mudanças ambientais e interações tróficas em *Cecropia pachystachya* (Urticaceae). Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais.

Moreira PA. 2012. Diversidade genética e efeitos da fragmentação de Matas Secas em *Enterolobium contortisiliquum* (Fabaceae): implicações para conservação. Tese de doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais.

Morrone JJ. 2009. Evolutionary biogeography: an integrative approach with case studies. Columbia University Press, New York.

Oliveira DA, Moreira PA, Melo-Júnior AF, Pimenta MAS. 2006. Potencial da biodiversidade vegetal da região Norte do Estado de Minas Gerais. Unimontes Científica 8, 23-33.

Oliveira-Filho AT. 2006. Catálogo das árvores nativas de Minas Gerais: mapeamento e inventário da flora nativa e dos reflorestamentos de Minas Gerais. Lavras: Editora UFLA. p.423.

Oliveira-Filho AT & Machado JNM. 1993. Composição florística de uma floresta semidecídua montana na serra de São José, Tiradentes, Minas Gerais. Acta Botanica Brasilica. 7 (2): 71-88.

Palmer AR & Strobeck C. 1986. Fluctuacting assimetric: measurement, analysis, patterns. Annual Rev. of Ecol. and Syst. 45: 391-421.

Palmer AR. 1996. Walzing with asymmetry. Is fluctuating asymmetry a powerful new tool for biologists or just an alluring new dance step? BioScience 46: 518-532.

Parsons PA.1992. Fluctuating asymmetry: a biological monitor of environmental and genomic stress. Heredity 68: 361-364.

Pedralli G. 1997. Florestas secas sobre afloramentos de calcário em Minas Gerais: florística e fisionomia. Bios 5(5): 81-88.

Pennington LT, Lewis GP, Ratter JA. 2006. An overview of the plant diversity, biogeography and conservation of neotropical savannas and seasonally dry forests. *In* Neotropical savannas and seasonally dry forests: plant diversity, biogeography and conservation (Pennington LT, Lewis GP, Ratter JA, eds.). CRC press Taylor & Francis Group, Boca Raton. London, New York. p.1-29.

Pennington LT, Prado DE, Pendry CA. 2000. Neotropical seasonally dry forests and quaternary vegetation changes. Journal of Biogeography 27, 261-273.

Peske ST, Rosenthal MD, Rota GRM. 2003. Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos. 1th ed. Pelotas, Rio Grande do Sul.

Popinigis F. 1985. Fisiologia da semente. 2th ed. Brasília, Distrito Federal.

Prado DE. 2000. Seasonally dry forests of tropical South America: from forgotten ecosystems to a new phytogeogrphic unit. Edinburgh J Bot 57: 437-461.

Prado DE & Gibbs PE. 1993. Pattrerns of species distributions in the dry seasonal forest of South America. Ann Mo Bot Gard 80: 902-927.

R Core Team (2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.

Rocha OJ & Aguilar G. 2001. Reproductive biology of the dry forest tree *Enterolobium cyclocarpum* (Guanacaste) in Costa Rica: a comparison between trees left in pastures and trees in continuous forest. Am J Bot 88: 1607-1614.

Sanseverino AM & Nessimiam JL. 2008. Assimetria flutuante em Organismos Aquáticos e sua aplicação para avaliação de Impactos Ambientais. Oecologia Brasiliensis 12: 382-405.

Sànchez-Azofeira GA, Kalácksa M, Quesada M, Calvo-Alvarado JC, Nassar JM, Rodrigues JP. 2005. Need for integrated research for a sustainable future in tropical dry forests. Conserv Biol 19: 285-286.

Sànchez-Azofeifa GA, Quesada M, Rodriguez JP, Nassar JM, Stoner KE, Castillo A, Garvin T, Zent EL, Calvo-Alvarado, JC, Kalacska MER. 2005. Research priorities for Neotropical Dry Forests. Biotropica 37: 477-485.

Santos JC, Alves-Silva E, Cornelissen TG, Fernandes GW. 2017. Differences in leaf nutrients and developmental instability in relation to induced resistance to a gall midge. Arthropod-Plant Interactions (11):163–170.

Särkinen T, Igance JRV, Linares-Palomino R, Simon MF, Prado DE. 2011. Forgotten forests – issues and prospects in biome mapping using seasonally dry tropical forests as a case study. BMC Ecol 11: 1-15.

Smith MC. 2016. Heavy metal contamination increases fluctuating asymmetry in *Rhus glabra* L. (Anacardiaceae). The southwestern naturalist 61(2): 156–159.

Soares ES & Anjos L. 1999. Efeito da fragmentação florestal sobre aves escaladoras de tronco e galho na região de Londrina, norte do estado do Paraná, Brasil. Ornitologia Neotropical 10: 61-68.

Werneck FP. 2011. The diversification of eastern South American open vegetation biomes: historical biogeography and perspectives. Quartenary Science Reviews 30, 1630-1648.

Yalkovskayaa LE, Fominykha MA, Mukhachevaa SV, Davydovaa YA, Borodina AV. 2016. Fluctuating Asymmetry of Rodent Cranial Structures in an Industrial Pollution Gradient. Russian Journal of Ecology 47(3): 281–288.

Zhelev ZM, Popgeorgiev GS, Arnaudov AD, Georgieva KN, Mehterov NH. 2015. Fluctuating asymmetry in *Pelophylax ridibundus* (Amphibia: ranidae) as a response to anthropogenic pollution in south Bulgaria. Arch. Biol. Sci., Belgrade 67(3): 1009-1023.

Figuras

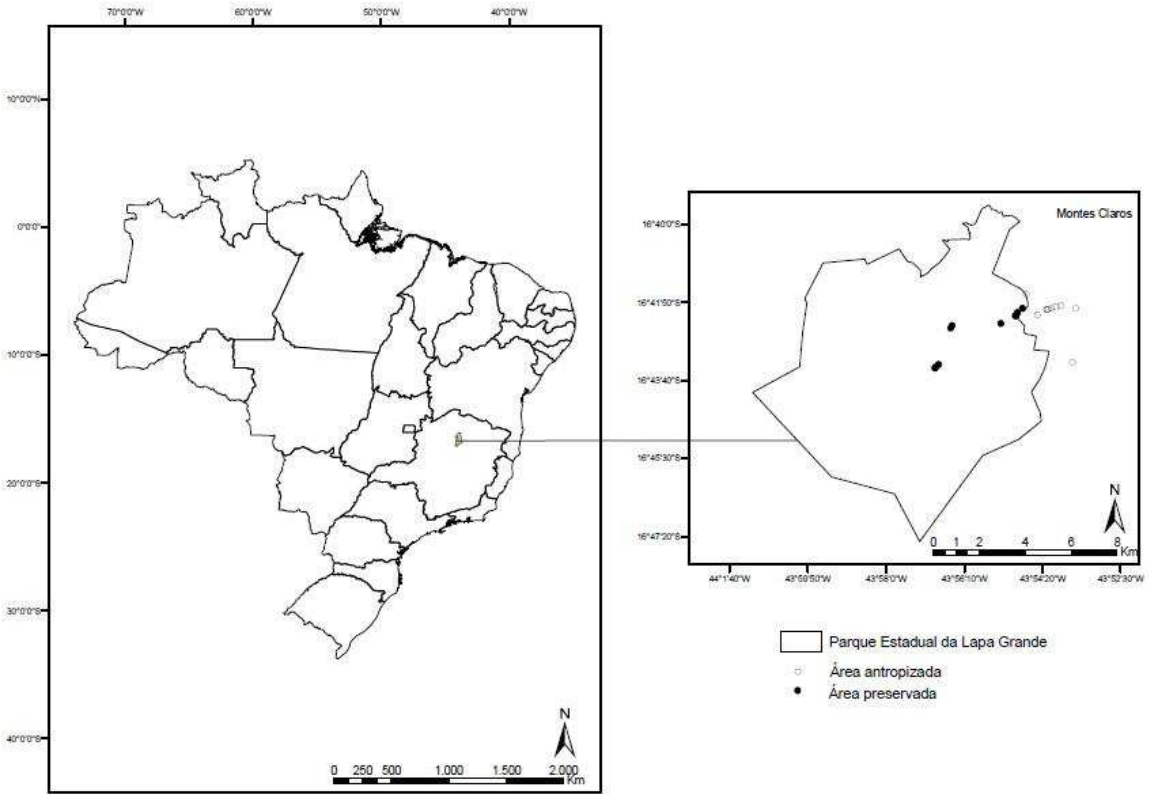

Figura 1: Mapa de localização do Parque Estadual da Lapa Grande e das árvores amostradas dentro do parque (círculos pretos) e das árvores remanescentes no pasto (círculos brancos).

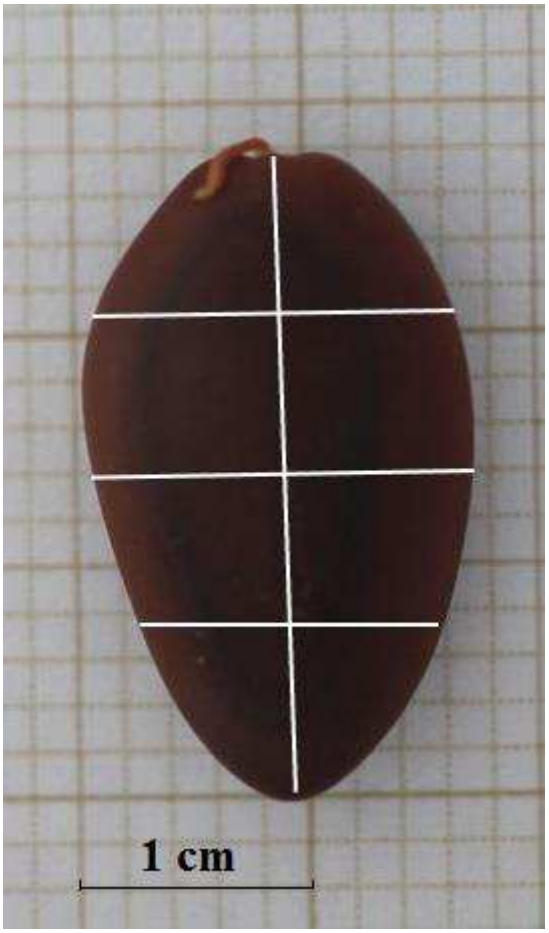

Figura 2: Medições de AF (linhas brancas) em uma semente de *Enterolobium contortisiliquum*.

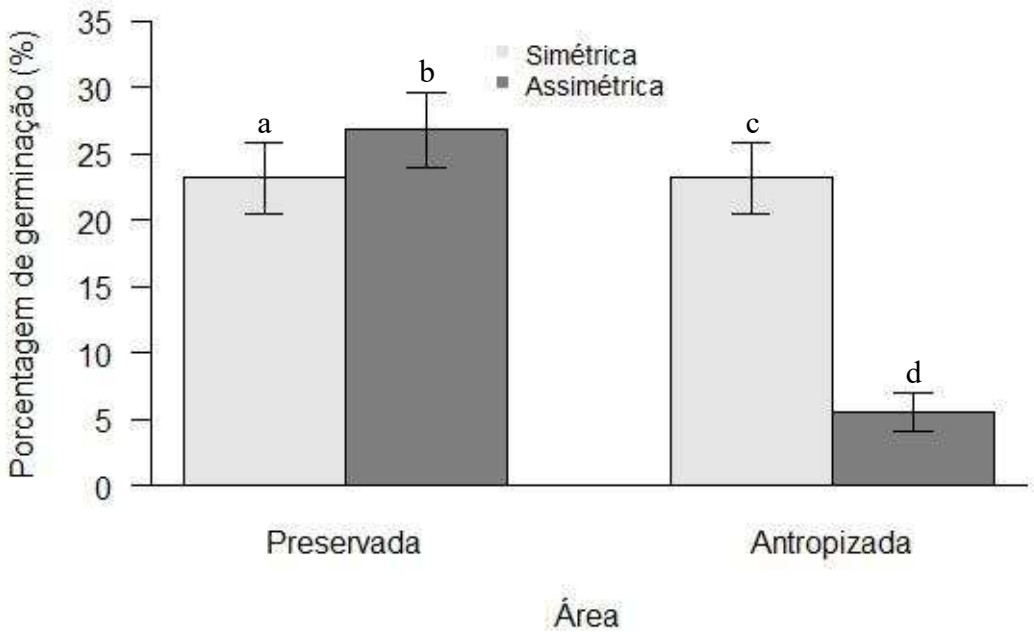

Figura 3: Porcentagem de germinação de sementes de *Enterolobium contortisiliquum* entre as áreas estudadas e as categorias de assimetria flutuante. As barras significam erro padrão.

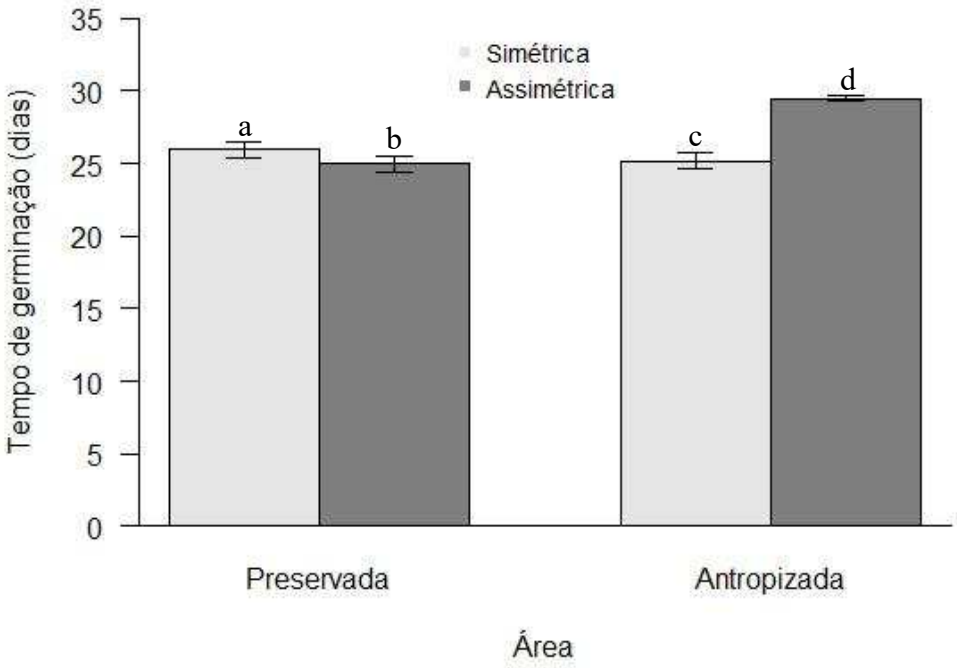

Figura 4: Tempo de germinação de sementes de *Enterolobium contortisiliquum* entre as áreas estudadas e as categorias de assimetria flutuante ao longo do tempo. As barras significam erro padrão.

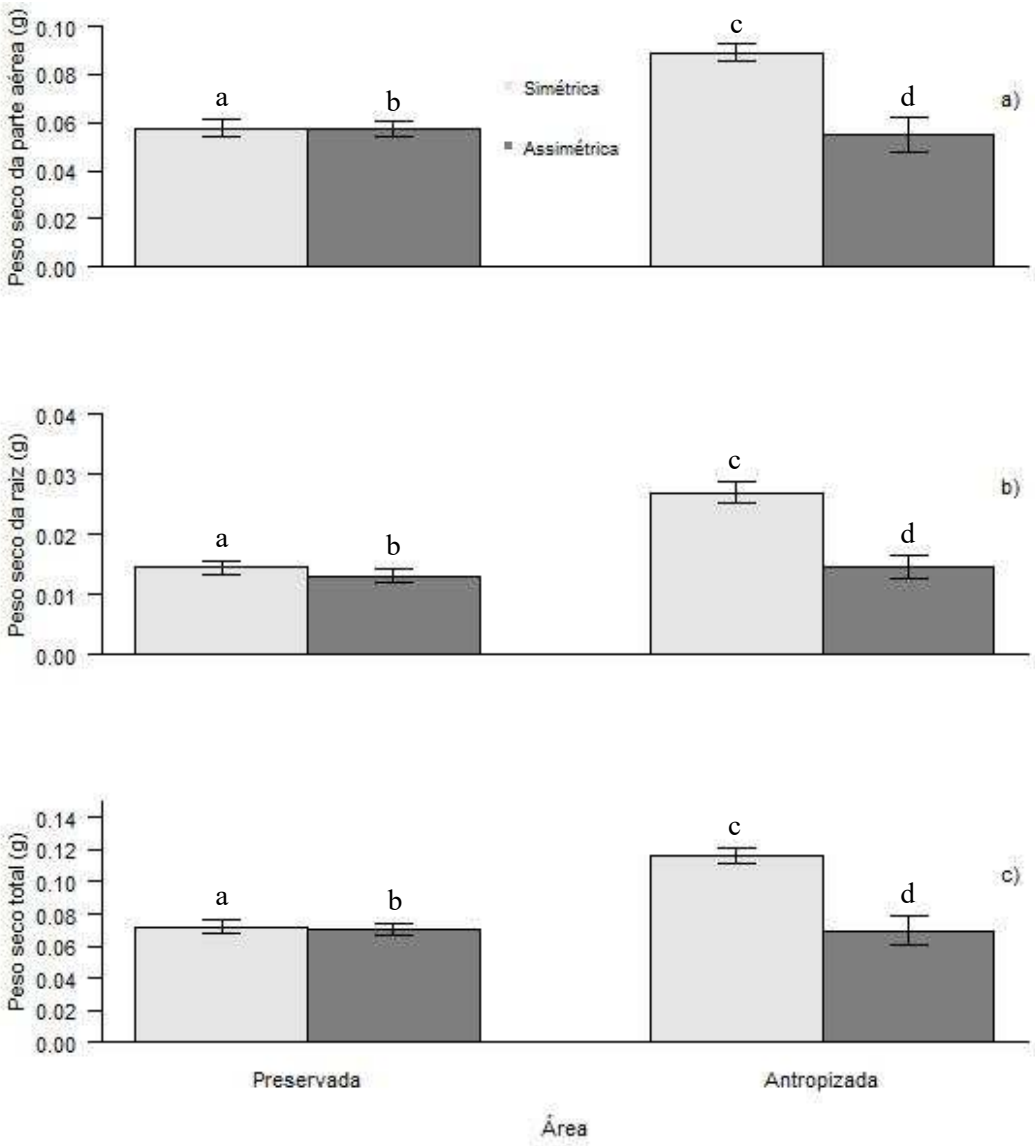

Figura 5: Produção de peso seco da parte aérea (a), peso seco da raiz (b) e peso seco total (c) de plântulas de *Enterolobium contortisiliquum* entre as áreas estudadas e as categorias de assimetria flutuante. As barras significam erro padrão.

Tabela

Tabela 1: Valores do conteúdo nutricional de sementes de *Enterolobium contortisiliquum* simétricas e assimétricas das áreas preservada e antropizada.

Área	Simetria	[1]Ca	[1]S	[2]Cu	[2]Fe	[2]Zn	[2]Mn	[2]B	[1]N	[1]P	[1]K	[1]Mg	[1]C
Preservada	Simétrica	0,19	0,18	6,75	28,80	19,90	38,25	29,80	3,62	0,22	1,13	0,49	56,22
	Assimétrica	0,15	0,24	7,95	41,60	17,75	31,75	26,10	2,93	0,32	1,10	0,44	56,10
Antropizada	Simétrica	0,24	0,17	4,40	87,75	30,70	49,20	40,30	3,62	0,19	0,96	0,50	57,00
	Assimétrica	0,19	0,22	6,85	41,95	20,10	35,35	36,40	2,54	0,29	0,99	0,49	56,02

[1]: daq/kg

[2]: mg/kg