

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA:
DIVERSIDADE E MANEJO DE VIDA SILVESTRE
NÍVEL DOUTORADO EM BIOLOGIA

Claudio João Bernardi

RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE *Moringa oleifera* Lam. E SUAS INTERPRETAÇÕES
PARA O CULTIVO E UTILIZAÇÃO DA ESPÉCIE NO CLIMA TROPICAL
CONTINENTAL DO ESTADO DO MATO GROSSO, BRASIL.

SÃO LEOPOLDO (RS)

2020

Claudio João Bernardi

RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE *Moringa oleifera* Lam. E SUAS INTERPRETAÇÕES
PARA O CULTIVO E UTILIZAÇÃO DA ESPÉCIE NO CLIMA TROPICAL
CONTINENTAL DO ESTADO DO MATO GROSSO, BRASIL.

Tese apresentada como requisito parcial para a
obtenção do título de Doutor em Biologia, área de
concentração: Diversidade e Manejo da Vida Silvestre,
pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

Orientador: Prof. Dr. Victor Hugo Valiati

SÃO LEOPOLDO (RS)

2020

B523r

Bernardi, Claudio João.

Respostas fisiológicas de *Moringa oleifera* Lam. e suas interpretações para o cultivo e utilização da espécie no clima tropical continental do Estado do Mato Grosso, Brasil / por Claudio João Bernardi. – 2019.

118 f. : il. ; 30 cm.

Tese (doutorado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Biologia, São Leopoldo, RS, 2019.

“Orientador: Dr. Victor Hugo Valiati”.

1. Sementes. 2. Germinação. 3. Crescimento. 4. Fenologia.
I. Título.

CDU: 582.685

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	6
RESUMO	7
ABSTRACT	8
3. APRESENTAÇÃO	10
4. INTRODUÇÃO GERAL	11
4.2 <i>Moringa oleifera</i> : Por que a Fenologia?	13
4.3 <i>Moringa oleifera</i> : Uma espécie exótica no Brasil.....	18
4.4. Referências bibliográficas.....	20
5. OBJETIVO GERAL	29
5.1 Objetivos Específicos.....	29
6. CAPÍTULO 1	30
6.1. ABSTRACT.....	28
6.2 RESUMO	31
6.3. INTRODUCTION	33
6.4. MATERIAL AND METHODS	35
6.4.1 Germination and treatments.....	36
6.4.2 Germination speed.....	37
6.4.3 Influence of sowing depth and position of the hilum on germination.....	38
6.4.4 Primary growth	38
6.4.4 Secondary growth.....	39
6.4.5 Statistical analyses.....	39
6.5 RESULTS.....	40
6.5.1 Primary growth.....	44
6.5.2 Secondary growth.....	45
6.6 DISCUSSION	46
6.7 ACKNOWLEDGMENTS	51
6.8 REFERENCES	52
6.9 SUPPLEMENTARY MATERIAL.....	60
7. CAPÍTULO 2	61
7.1. Resumo	62
7.2 ABSTRACT.....	62
7.3. Introdução	63

7.4. Material e Métodos	65
7.4.1. Área de Estudo.....	65
7.4.2. Delineamento Amostral.....	67
7.4.3. Monitoramento de Fenologia.....	67
7.4.4. Análise Estatísticas.....	68
7.5. Resultados	69
7.5.1 Fenologia.....	69
7.5.2. Fenologia reprodutiva.....	72
7.6. Discussão	73
7.7. CONCLUSÃO.....	75
7.8. Referências bibliográficas.....	75
7.9. MATERIAL SUPLEMENTAR.....	79
8. CAPÍTULO 3	80
8.1. RESUMO	81
8.2 ABSTRACT.....	81
8.3. INTRODUÇÃO	82
8.4. Material e Métodos	83
8.4.1. Área de Estudo.....	83
8.4.2. Morfologia Floral.....	84
8.4.3. Volume de Néctar.....	84
8.4.4. Visitantes Florais.....	85
8.4.5 Fertilização Natural.....	85
8.4.6. Tratamento E Polinização.....	85
8.4.7. Frutos.....	86
8.4.8. Análises estatísticas.....	86
8.5. Resultados	87
8.5.1. Morfologia Floral.....	87
8.5.2. Volume de néctar.....	89
8.5.3. Visitantes Florais.....	89
8.5.4. Fertilização x Formação de Frutos.....	93
8.5.5. Tratamentos de polinização.....	94
8.6.6. Frutos.....	95

8.6. Discussão.....	96
8.7. Referências bibliográficas.....	104
8.8. Material Suplementar.....	112
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	115
9.1 Referências bibliográficas.....	118

AGRADECIMENTOS

*“Aqueles que passam por nós, não vão sós.
Deixam um pouco de si, levam um pouco de nós”.*

Antoine de Sant-Exupéry.

Sempre achei que esta seria a pior parte da tese para escrever, talvez porque a vida não se coloca em análise de regressão e não é pelo valor P que descobrimos a significância das pessoas na nossa trajetória. Primeiro de tudo, gostaria de agradecer a Deus por me guiar, iluminar e me dar tranquilidade para seguir em frente com os meus objetivos e não desanimar com as dificuldades.

Agradeço ao professor Dr. Victor Hugo Valiati, a oportunidade de tê-lo como orientador no Doutorado. Tenho muito orgulho de citá-lo como um dos responsáveis pela complementação de minha formação profissional, pessoal e intelectual que não teria sido a mesma sem sua ajuda. Agradeço pela confiança, pela amizade, conselhos e paciência. Muitíssimo obrigado!!! E que eu possa sempre contar com o privilégio da sua amizade.

Agradeço a minha família, especialmente aos meus pais (*in memoriam*), esposa, filhas, genros e netos. Quero dizer que essa conquista não é só minha, mas nossa. Tudo que consegui só foi possível graças ao amor, apoio e dedicação que vocês sempre tiveram por mim. Agradeço a paciência e a compreensão com minha ausência durante essa longa jornada. Muitíssimo obrigado.

Agradeço a todos os membros da banca que tão generosamente acolheram ao convite, contribuindo decisivamente para a qualidade e o rigor científico desta tese.

Agradeço aos professores e colegas do PPG em Biologia, pelos momentos de conversas e troca de ideias ao longo dos anos.

Agradeço a uma amiga muito querida que encontrei nessa instituição de Ensino Fernanda Fraga.

Agradeço as pessoas com quem convivi ao longo desses anos. O exercício de uma produção compartilhada em comunhão com outros pesquisadores nesses espaços acadêmicos foi a melhor experiência da minha formação.

A elaboração deste trabalho não teria sido possível sem a colaboração, estímulo e empenho de diversas pessoas. Gostaria, por este fato, de expressar toda a minha gratidão e apreço a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para que esta tarefa se tornasse uma realidade. A todos quero manifestar os meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

A moringa (*Moringa oleifera* Lam.) é uma espécie perene, da família *Moringaceae*, originária do nordeste indiano, amplamente distribuída na Índia. Adapta-se a uma ampla faixa de solos. Trata-se de uma planta de múltiplo uso sendo quase todas as partes com valor alimentar e medicinal. As suas sementes possuem importância industrial para a produção de óleo. No Brasil, *M. oleifera* é conhecida no Estado do Maranhão desde 1950 e utilizada principalmente no tratamento de água. Para cultivo de uma espécie de propagação sexuada é primordial o conhecimento do processo germinativo. Este estudo avaliou as respostas fisiológicas e reprodutiva de *Moringa oleifera* e seu cultivo nas condições edafoclimáticas da região Centro oeste do Brasil, desenvolvendo o estudo em três etapas. a) seleção das sementes; b) Germinação e crescimento; c) fenologia. No presente trabalho, as sementes foram divididas em três grupos L (leve), M (média) e P (pesada) de acordo com seu peso fresco. As sementes L representam 14,04%, as subamostras M, 68,06% e as subamostras P, 17,90% do total de sementes amostradas. As sementes da subamostra L apresentaram em média 23,54% de água e de matéria orgânica 94,73%. As sementes da subamostra M apresentam em média 42,28% de água e 93,21% de matéria orgânica em média. As sementes da subamostra P apresentam em média 33,66% de água e 93,91% de matéria orgânica. Para a germinação avaliou-se a influência da profundidade, da posição de semeadura a influência da luz, temperatura (ambiente) e massa das sementes. A germinação apresentou o sistema de três fases. O início da fase I foi observado absorção de água. Após as 24 h as sementes, passaram a fase II, na qual registrou-se uma redução na absorção de água mantendo-se quase que constante a massa das sementes e na fase III a germinação. O Índice de Velocidade de Germinação (IVG) das sementes L apresentou como média das cinco repetições 55,39, sementes M 79,19 e para as sementes P 79,17. O percentual de germinação considerando a média entre os tratamentos, profundidade e posição do hilo percentual de germinação da semente L foi de 68,5%, M de 86,7% e P de 88,3%. Em relação ao crescimento, o experimento foi dividido em duas etapas: Crescimento primário que compreende os primeiros seis meses e crescimento secundário que corresponde ao período após a transferência de 112 mudas para área de plantio. as duas etapas do experimento apresentaram aumento do volume, peso e tamanho. A fenologia reprodutiva e a biologia da polinização foram observadas em área de plantio experimental, no qual 112 indivíduos foram marcados e acompanhados quinzenalmente para as observações dos estudos fenológicos. Para o estudo da morfologia e anatomia florais, flores e inflorescências foram marcadas e acompanhadas até a formação dos

frutos. Os visitantes florais foram observados ao longo do período do experimento, anotando-se a frequência, o horário e o comportamento de suas visitas. A *Moringa oleifera* demonstrou padrão de floração, sub-ramal, de duração intermediária. Os atributos florais estão relacionados à síndrome da melitofilia. A antese ocorre predominantemente entre às 06h00 e 12h00, observando-se a presença de néctar desde a fase de pré-antese. As flores foram visitadas por quatro gêneros de hemíptero, seis de lepidópteros e duas espécies de aves e se apresentou bem adaptada no clima da região.

Palavras – chave: sementes, germinação, crescimento, fenologia

Abstract

The *Moringa* (*Moringa oleifera* Lam.) is a perennial species, of *Moringaceae* family, originating of Indian northeast region, widely distributed in India. It can adapt to a wide range of soils. It is a multipurpose plant with almost all parts having food or medicinal value and its seeds have industrial importance to vegetable oil production. In Brazil, the *M. oleifera* is known at Maranhão state since 1950 and it is used mainly in the water treatment. Cultivation of sexual propagation species is essential knowledge of the germinal process. In the current work, the seeds were divided in three groups L (light), M (medium) e P (heavy) according their fresh weight. The L subsample represented 14.04%, the M subsample 68.06% and the P subsample 17.90%. The seeds of L subsample presented in average 23.54% of water and 94.73% of organic material. The seeds of M subsample presented in average 42.28% of water and 93.21% of organic material. The seeds of subsample P presented in average 33.66% of water and 93.91% of organic material. For germination were evaluated the influence of depth, sowing position, the influence of light, temperature and seed weight. The germination presented the three-phase system. The begin of phase one was observed after one hour. After 24 h the seeds passed to phase II, which were registered a reduction in water absorption keeping the weight of the seeds almost constant. After five repetition, in average, the Germination Speed Index (GSI) of L seeds presented 55.39, M seeds 79.19 and P seeds 79.17. The germination percentage considering the average among treatments, depth and position of the hilum of L seeds were 68.5%, M seeds were 86.7% and P seeds were 88.3%. For growth, the experiment was divided into two stages: Primary growth comprising the first six months and secondary growth when transferring 112 seedlings to planting area. Both experiments presented increase of volume, weight and size. Reproductive phenology and pollination

biology were studied in an experimental planting area, in which 112 individuals were tagged and monitored fortnightly for observations of phenological studies. For the study of floral morphology and biology, flowers and inflorescences were tagged and monitored until fruit formation. Floral visitors were observed throughout the experiment, noting the frequency, time and behavior of their visits. *Moringa oleifera* demonstrated sub-branch flowering pattern of intermediate duration. Floral attributes are related to melithophilia syndrome. The anthesis occurs predominantly between 06h00 and 12h00, observing the presence of nectar from the pre-anthesis phase. The flowers were visited by four genera of Hemiptera, six of Lepidoptera and 2 species of birds

Key words: seeds, germination, growth, phenology

3. APRESENTAÇÃO

Os capítulos da presente Tese, intitulada “Respostas fisiológicas de *Moringa Oleifera* Lam. e suas interpretações para o cultivo e utilização da espécie no clima tropical continental do Estado do Mato Grosso, Brasil”, está organizada em forma de artigos científicos, com base nas normas para publicação nos periódicos abaixo relacionados, enquanto a introdução e a conclusão estão formatadas de acordo com normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Primeiramente, apresento uma introdução geral sobre a planta em estudo, *Moringa oleifera*. Em seguida, a Tese em forma de capítulos estruturados como artigos, e ao final, uma conclusão geral envolvendo a relação das principais ideias de cada um dos capítulos.

O primeiro capítulo, intitulado “**Estudo da germinação e crescimento de *Moringa oleifera* Lam. em uma área de plantio na região Centro-Oeste do Brasil**”, investiga a relação entre variáveis biótica e abiótica. Sua formatação segue as normas da Ciência Rural.

O segundo capítulo, intitulado “**Fenologia de *Moringa oleifera* em uma área de plantio na região centro-oeste do Brasil**”, analisa o desenvolvimento vegetativo da *Moringa oleifera*. Sua formatação segue as normas da revista Acta Botânica Brasílica.

O terceiro capítulo “**Biologia reprodutiva de *Moringa oleifera* Lam.: estudo das relações com os Visitantes e o clima**”, analisa o desenvolvimento reprodutivo da *Moringa oleifera* e os visitantes florais. Sua formatação segue as normas da revista Acta Botânica Brasílica.

4. INTRODUÇÃO GERAL

4.1. *Moringa oleifera*: Aspectos gerais e econômicos da planta

Desde o surgimento e estabelecimento da humanidade o ser humano mantém relações para com o ambiente (Machado, 2016). Estas relações podem estar ligadas às características culturais das comunidades humanas e sua visão favorável ou não para a regeneração do ecossistema (Albuquerque et al., 2013; Lucena et al., 2015). Características estas, que podem ser adquiridas por meio das crenças e costumes locais ao longo de gerações, e potencializadas ou perdidas com o passar do tempo (Lima, 1984). Espécies de praticamente todos os grupos taxonômicos têm sido transportados pelos seres humanos para além das barreiras naturais que delimitavam sua distribuição original. (Lucena et al., 2012). Este transporte dessas espécies tomou escala global após o início das grandes navegações ao redor do mundo, definido pelo retorno de Colombo à Europa em 1492 após descobrir as Américas. A partir de então, esse transporte vem ocorrendo pelas mais diversas finalidades comerciais para a produção de alimentos, paisagismo ou para indústria. Além destes transportes intencionais há aqueles que acontecem sem intenção direta ou de forma acidental. Portanto, a troca de espécies vem crescendo continuamente entre diversas regiões do globo, tendo, provavelmente, dado saltos com a revolução industrial, a revolução verde, e atualmente, com a globalização. As possibilidades atuais de uma espécie ser transportada ao redor do globo estão bastante diversificadas e intensificadas (Davies, 2009).

Moringaceae é composta por apenas o gênero *Moringa* que possui quatorze espécies arbóreas e arbustivas (Okuda et al., 2001). A moringa (*Moringa oleifera* Lam., 1818) (sinonímia *Moringa pterygosperma* Gaertn.), é uma espécie perene originária do nordeste indiano, amplamente distribuída na Índia, Egito, Filipinas, Ceilão, Tailândia, Malásia, Burma, Pasquitão, Singapura, Jamaica e Nigéria (Pio Côrrea, 1984; Duke, 1987). Cresce em regiões subtropicais secas e úmidas, até tropicais secas e florestas úmidas (Duke, 1987). Na República do Malawi, país da África Oriental é conhecida como um tipo de amendoim. Também reconhecida como “drumstick” ou “bastão-de-tambor” devido ao formato dos frutos ou, como “baqueta” e “rábano (rabanete) picante” no qual descreve o gosto de suas raízes. A *M. oleifera* se caracteriza por ser tolerante à seca, é pouco exigente quanto as características edafoclimáticas, possui facilidade de cultivo, resistência a pragas e muitas doenças além da rapidez no crescimento. A partir de sementes ou enxerto atinge 4 m de altura e produz flores e frutos após um ano de cultivo (Verdcourt, 1985).

Segundo Mayer et al. (1993), no sul da Etiópia, a *Moringa* se adapta bem às condições climáticas tanto para o clima semiárido como sub-úmido com altitude inferior a 2.000 metros, uma pluviometria mínima da ordem de 600 a 700 mm, temperaturas ótimas entre 24 e 30 °C e solos bem drenados. De acordo com um estudo edáfico dos mesmos autores, a planta não apresenta exigências específicas em termos de tipos de solo a não ser a impossibilidade de se desenvolver em solos encharcados.

De acordo com Jahn et al., (1986), as sementes possuem polissacarídeos com forte poder aglutinante, o que permite o uso das sementes pulverizadas no tratamento da água por floculação e sedimentação, capaz de reduzir a turvação, micropartículas, fungos, bactérias e vírus. Contém um princípio dotado de atividade antimicrobiana, a pterigospermina, bem como os glicosídeos moringina, 4-(α -L-ramnosilori)-isotiocianato de benzila e 4-(α -L-ramnosilori)-fenil-acetonitrila. Estes componentes antimicrobianos agem principalmente contra *Bacillus subtilis*, *Mycobacterium phlei*, *Serratia marcescens* e ainda, sobre *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Shigella* spp. e *Streptococcus* spp., o que justifica seu recorrente emprego na preparação de pomadas antibióticas e sua utilização como um método eficiente e econômico de purificação de água (Gassenschmidt et al., 1995).

No Brasil, a espécie é conhecida no Estado do Maranhão desde 1950 (Amaya et al., 1992). Em decorrência de sua utilização no tratamento de água para uso doméstico, o cultivo da planta vem sendo difundido em todo o semi-árido nordestino. Segundo Ndabigengesere e Narasiah (1996), as sementes de *M. oleifera* são popularmente usadas como alternativa viável de agente coagulante em substituição aos sais de alumínio, que são utilizados no tratamento de água em todo o mundo. Comparada a estes sais, as sementes não alteram significativamente o pH e a alcalinidade total da água após o tratamento e não causam a corrosão de metais. De acordo com Kalogo et al. (2001), extratos de moringa diminuem a quantidade de barro, bem como, de bactérias e muitos parasitos contidos em águas não tratadas. Olsen (1987) demonstrou que as sementes de moringa conjuntamente com uma composição de bentonita foram capazes de reduzir em 90% o número de cercarias (*Schistosoma mansoni*) na água utilizada por habitantes da região do Sudão.

Além dos aspectos referidos, os frutos, sementes, folhas e flores de *M. oleifera* apresentam propriedades nutricionais destacáveis e são, inclusive, consumidos em alguns países. As vagens verdes cozidas e sementes maduras (torradas) apresentam leucina livre, que é um aminoácido essencial para alimentação de mamíferos (Chawla et al., 1988). As folhas, em vários países do Oeste da África, são utilizadas comercialmente na alimentação humana,

por serem fontes de betacaroteno, vitamina C, proteínas, cálcio, ferro, fósforo; enquanto as flores apresentam propriedades melíferas sendo aproveitáveis na apicultura (Herdes, 1994).

Em algumas regiões no Brasil há um esforço no sentido de difundir-la devido ao seu valor nutritivo (Amaya et al., 1992), pois as folhas, com cerca de 23.000 UI de vitamina A, sobressaem-se entre olerícolas consagradas como brócolis, cenoura, couve, espinafre e alface, que possuem, respectivamente, 5.000; 3.700; 2.200; 1.900 e 1.000 UI (Silva e Kerr, 1999). Segundo os autores *M. oleifera* poderia ser uma alternativa nutricional para grande parte do território brasileiro.

Ademais, o óleo em suas sementes tem alto valor alimentício e apresenta propriedades que permitem sua utilização na produção de biodiesel (Silva et al., 2010). Conhecido como “Ben Oil” apresenta características de ser claro, doce, inodoro e resistente à rancificação; por conseguinte é comestível e útil na fabricação de cosméticos. As sementes da moringa contêm 38% de seu peso em óleo, que é constituído de glicérides dos ácidos oleico (63,4%), linoleico (3,1%), palmítico (8,3%) e esteárico (8,0%) (Dahot, 1998). Testes em Leicester confirmaram que o que resta das sementes após a extração do óleo, contém ainda coagulantes ativos. Estes restos podem ser usados para o tratamento de água sendo obtidos sem nenhum custo como subproduto da extração do óleo (Eilert et al., 1981).

4.2. *Moringa oleifera*: Por que a Fenologia?

A fenologia de plantas estuda os eventos das fases vegetativas e reprodutiva e sua relação com as variações do meio biótico e abiótico. Ela reúne informações a respeito do estabelecimento e da dinâmica de populações vegetais, sobre a oferta de recursos ao longo ano, dos períodos de crescimento vegetativo e reprodutivo, além de ser uma ferramenta básica para o estabelecimento de métodos científicos que permitam a exploração racional dos recursos genéticos vegetais, principalmente no âmbito da fruticultura (Paz et al., 2018; Stradic et al., 2016).

Os descritores morfológicos e vegetativos, têm sido muito utilizados por diversos pesquisadores em estudos de caracterização de germoplasma. Os aspectos morfológicos de folhas, flores e frutos são normalmente empregados como critérios de distinção de cultivares em diversas espécies frutíferas, além de serem considerados como assinaturas da identidade de pureza varietal e genética (Andrade et al., 2009).

No Brasil, a fenologia da planta *Moringa oleifera* Lam. é pouco estudada, bem como, as condições favoráveis ao seu desenvolvimento. De maneira geral, a moringa é uma espécie

ainda pouco estudada, principalmente quanto à melhor forma de propagação e produção de mudas. Os poucos trabalhos realizados foram desenvolvidos para avaliar efeitos de agentes abióticos sobre a germinação e desenvolvimento inicial (Benedito et al., 2008; Oliveira et al., 2009).

Vieira et al. (2008) trabalhando com mudas de moringa em solução nutritiva sob omissão de nutrientes, verificaram que o nitrogênio e o potássio foram os macronutrientes mais acumulados no tecido vegetal, seguido pelo cálcio, enxofre e magnésio. Por outro lado, verificou-se que a omissão de nitrogênio, fósforo e magnésio afetava negativamente o crescimento das plantas de moringa (Vieira et al., 2008). Cabe ressaltar que o desenvolvimento de mudas é influenciado pela quantidade de fertilizantes aplicados e pela disponibilidade destes nutrientes no substrato (Carneiro, 1995). O uso da adubação para produção de mudas de espécies arbóreas vem sendo bastante pesquisado, e, na maioria dos casos, os resultados demonstraram sua importância na obtenção de mudas mais vigorosas e com melhor estande após plantio no campo (Knapik e Angelo, 2007; Marques et al., 2009; Brachtvogel e Malavasi, 2010; Souza et al., 2013). Nesse sentido e considerando a importância que a espécie pode ter para os diversos fins apresentados inicialmente, mensurar os efeitos da adubação para a produção de mudas de moringa é um aspecto importante a ser avaliado em um estudo.

Ademais, se faz necessário examinar os diferentes aspectos que influenciam a emergência e desenvolvimento das plântulas da moringa, desde sua fase inicial, da profundidade a posição de semeadura. As sementes assumem um papel relevante e sua qualidade se torna fundamental no processo de seu manejo e produção. Sendo a qualidade da semente um fator de extrema importância, classificado como um fenômeno dinâmico e complexo, intrinsecamente relacionado ao potencial genético da planta e por diversos fatores, entre os quais as condições climáticas durante o seu desenvolvimento, secagem, beneficiamento e condições de armazenamento (Heydecker, 1972).

Sendo assim, a qualidade fisiológica das sementes proporciona uma estimativa do potencial de germinação do lote de sementes sob condições ideais. Tem-se utilizado testes de vigor para diferenciar o potencial fisiológico de lotes de sementes. Esses testes se baseiam no fato de que a taxa de deterioração das sementes é aumentada pela exposição a níveis adversos de temperatura e umidade relativa (Marcos Filho et al., 1987). Nessas condições, sementes de menor qualidade deterioram-se mais rapidamente do que as mais vigorosas, com reflexos na germinação após o período de envelhecimento acelerado (Torres e Marcos Filho, 2001).

De maneira geral, as espécies produzem sementes em quantidade e tamanho distintos. De fato, em condições naturais as plantas estão sujeitas a um balanço como consequência de estratégias de vida distintas: produzir muitas sementes pequenas, cada uma com baixa probabilidade de estabelecimento, ou poucas sementes grandes, com muitas reservas e com probabilidades maiores de estabelecimento (Jakobsson e Erikson, 2000; Westoby et al., 2002).

Os efeitos que o tamanho e peso das sementes exercem sobre o comportamento da própria semente e da planta resultante vêm sendo estudados desde o século XVIII (Gelmond, 1972), porém, ainda pouco se conhece sobre todos os mecanismos e fatores envolvidos nestes efeitos. Por outro lado, sabe-se que tamanho e peso de uma semente estão ligados a uma série de fatores que influenciam nas probabilidades de sobrevivência e estabelecimento de uma nova planta, apresentando, assim, estreita correlação entre vigor e poder germinativo (Sedyama, 1991).

O tamanho da semente poderia ter uma menor influência sobre a germinação, pois este é um fenômeno que depende de outros fatores (como viabilidade da semente, condições ambientais). Todavia, podemos observar que determinadas espécies que possuem baixa capacidade de produção de sementes, exibem certa relação mensurável entre sua capacidade de germinar e seu tamanho (Delouche, 1980). Essa relação tem sido observada e evidenciada em espécies de sementes muito pequenas, como o eucalipto (Aguiar, et al., 1987; Silva et al. 1994), azevém-perene (Naylor, 1980), nabo e repolho (Hanumaiah e Andrews, 1973), milho (Scotti e Krzyzanowski, 1977) em soja (Wetzel, 1975) e sorgo (Kalingaraiah e Dharmalingan, 1980).

Testes de vigor que apresentam avaliação sobre o desempenho de plântulas são: velocidade de germinação, primeira contagem do teste de germinação, comprimento da plântula, peso da massa seca da plântula e classificação do vigor das plântulas, porcentagem de emergência de plântulas, velocidade de emergência de plântulas, altura de plântula e peso da massa fresca da plântula, que são realizados em laboratório ou campo (Marcos Filho, e Nakagawa, 1999). Pelo menos um deles tem sido incluído em pesquisas sobre a avaliação de vigor de sementes das mais variadas espécies, procurando traduzir a velocidade e a uniformidade de desenvolvimento, ressaltadas nos conceitos sobre vigor de sementes (Marcos Filho, 2005).

Testes com lotes de sementes que possuem maior velocidade de germinação são mais vigorosos. Por conseguinte, determina-se o vigor avaliando-se a velocidade da germinação

das sementes. Parâmetros de germinação podem ser avaliados segundo Silva e Nakagawa (1995) e Kotowski (1926). Segundo Pollock e Roos (1972), o problema da avaliação das sementes que germinam tardiamente ou vagarosamente em um lote de sementes foi reconhecido por Kotowski (1926), que definiu um coeficiente de velocidade no qual as sementes que germinam mais tardiamente contribuiriam menos do que aquelas que germinam precocemente.

Por outro lado, o crescimento pode ser medido por meio do aumento do comprimento, largura, área, volume ou massa (Bidwel, 1979). O autor relata que fórmulas matemáticas vêm sendo utilizadas na descrição de crescimento, porém, a maioria das plantas superiores não segue o modelo de crescimento por longo tempo. De maneira geral, estas plantas desenvolvem rapidamente o crescimento meristemático com posterior crescimento unidirecional. Vega et al. (2004) relataram que, devido aos altos coeficientes de determinação encontrados, a fitomassa da pupunheira pode ser estimada de forma precisa pela utilização de algumas relações alométricas. Os autores concluíram que, dentre todos os caracteres avaliados, a altura da haste principal foi o caráter ideal para estimar a fitomassa de pupunheiras em cultivo comercial.

As variações no padrão de crescimento de uma planta em relação a um atributo (altura, matéria seca, área foliar), podem ser mensuradas com bastante precisão utilizando-se de equações de regressão, onde estas representariam a progressão do crescimento ao longo do ciclo (Benincasa, 1988).

Além de auxiliar no entendimento do crescimento de uma planta, modelos de crescimento podem auxiliar no manejo das florestas em programas que visem a predição de produção em tempos futuros partindo-se de condições atuais (Vega et al. 2004). Por via de regra, os modelos de crescimento basicamente descrevem a mudança em tamanho de um organismo ou população em função do tempo.

Para Zeide (1993), tal crescimento resulta da interação entre duas forças opostas. O componente chamado positivo manifesta-se na expansão do organismo, representado por uma tendência inata a multiplicação exponencial associada ao potencial biótico da espécie, representado pela atividade metabólica, fotossintética, e da absorção de água e nutrientes. O componente oposto representaria as restrições impostas por fatores externos (competição, stress, limitação dos recursos) e internos (mecanismos de autorregulação e idade) que são denominados como resistência ambiental.

Como a fenologia estabelece essa relação com o meio ambiente ao longo do desenvolvimento, os registros das observações fenológicas têm assumido importância particular nas últimas décadas, visto que mudanças como a antecipação ou o atraso dos eventos fenológicos têm sido apontados como sinais de mudanças no clima. Em vista disso, as observações fenológicas constituem um método amplamente utilizado para o estudo do ritmo sazonal das plantas baseado no registro visual das fenofases (Menzel et al., 2006; Rossi et al., 2013). Métodos quantitativos têm sido introduzidos gradualmente nos estudos fenológicos. Apesar de inicialmente serem apontado como problemáticos pela falta de padronização nos termos e métodos adotados, tanto para a coleta como para a análise dos dados de fenologia (Newstrom et al., 1994). Bencke e Morellato (2002) comparam os dois métodos mais utilizados de avaliação fenológica em florestas tropicais: 1. Qualitativo, definindo apenas a presença ou ausência da fenofase considerada e 2. Semi-quantitativo, com a aplicação de categorias de quantificação que estimam a intensidade do evento fenológico em cada indivíduo (*sensu* Fournier, 1974), sendo a mais comum a utilização de cinco categorias de quantificação (0 a 4), com intervalo de 25% entre elas (Bullock e Solis-Magallanes 1990; Morellato et al., 2000; Smith-Ramirez e Armesto, 1994; Sun et al., 1996; Talora e Morellato, 2000) Em estudos de comunidades que necessitam ser periodicamente monitoradas, a aplicação de uma escala nominal como o índice de atividade torna mais ágil a coleta de dados. O percentual de intensidade de Fournier, que mostra os picos e tendências da fenofase, distinguindo vários níveis de intensidade. Este tipo de detalhamento e refinamento das informações fenológicas é desejável especialmente em estudos populacionais e análises de correlação, como mostra o estudo de Bencke & Morellato (2002).

A importância do estudo fenológico está na compreensão da dinâmica dos ecossistemas florestais e nos mecanismos de reprodução das espécies (Bauer et al., 2012). A estruturação das comunidades de plantas, o conhecimento dos ciclos reprodutivos e a conservação e manejo das espécies podem ser monitoradas e avaliadas por meio da fenologia (Belo et al., 2013).

Os padrões fenológicos em regiões tropicais têm demonstrado a sua complexidade e importância em distinguir as considerações sob o nível individual, de população e comunidades. A fenologia das plantas está relacionada principalmente ao seu habitat (Conceição et al., 2007). A determinação da distribuição das espécies está fortemente relacionada com a variação sazonal e sua interação com a fenologia (Chuine; Beaubien, 2001).

Os ciclos fenológicos e as mudanças nos seus padrões podem ser influenciados pelos efeitos da radiação, precipitação, temperatura e umidade relativa (Sun et al., 1996). A importância de estudar a fenologia de uma determinada espécie está no conhecimento da organização e distribuição temporal dos recursos (flores e frutos), na definição e estratégias de uso sustentável como, por exemplo, o melhor período de colheita de sementes ou de colheita de folhas para extração de compostos químicos. (Mariot et al., 2003).

Apesar do crescente número de artigos sobre fenologia nos últimos 20 anos, estudos fenológicos ainda são incomuns e poucos incluem monitoramento a longo prazo (Morellato, 2016). Neste estudo, o autor apresenta uma revisão dos padrões fenológicos para as formações vegetacionais da América do Sul, relatando que as florestas tropicais estão longe de serem bem estudadas e que a distribuição dos estudos fenológicos nessa região é muito desigual. Considerando o cenário exposto e que sabidamente a fenologia é um parâmetro de grande importância para caracterizar ecossistemas (Morellato et al. 2016), estudos que visem o conhecimento fenológico das espécies são necessários.

O conhecimento sobre as épocas reprodutivas das espécies vegetais, das diferentes fitofisionomias e classes de cobertura vegetal natural e antrópica, representativas da América do Sul, são fundamentais para planejamentos de ações de reflorestamento ou recuperação de áreas degradadas além de subsidiar ações de conciliação entre produção agrícola e preservação ambiental (Souza et al., 2017).

4.3. *Moringa oleifera*: Uma espécie exótica no Brasil.

Consideradas como a segunda causa de perda de biodiversidade em todo o mundo, espécies exóticas invasoras estão presentes em todos os ambientes, embora sua presença e seus impactos ainda sejam pouco percebidos pelo público (GISP, 2015). A invasão biológica está entre os mais graves problemas ambientais da atualidade em todo o mundo (Hulme et al., 2012). No Brasil, a invasão biológica por essas espécies vegetais é crescente, sendo reconhecidas mais de cem espécies exóticas com potencial invasor ou como invasoras já estabelecidas em todos os biomas. As principais consequências registradas foram a redução da diversidade local, alterações nas características dos ecossistemas e muitas vezes a extinção de espécies autóctones (Zenni e Ziller, 2017).

Estudar o comportamento das plantas em razão de fatores estressantes é um dos elementos importantes para compreender a forma e os mecanismos pelos quais uma espécie se sobressai sobre as demais, principalmente quando a mesma não é nativa daquele habitat. Portanto, em condições ambientais que limitam o potencial hídrico do solo, tais como altas

temperaturas e salinidade, podem ser críticos para a germinação das sementes e estabelecimento de plântulas. Combinando informações sobre os requisitos para germinação e estabelecimento vegetativo de uma espécie invasora com as características dos habitats que possam vir a ser invadidos ajudará a identificar os locais que são suscetíveis climaticamente à invasão (Campos et al., 2016).

A planta *M. oleifera* tem seus primeiros registros de frutos obtidos pelo plantio da Moringa no Brasil na década de 1950 no Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Apresentou uma boa adaptação ao sertão nordestino, notadamente pela característica de clima seco, ficando conhecida nesta região como Lírio Branco ou Acácia-Branca (Kerr, 2010)

É uma planta rústica, tolerante a solos pobres e de crescimento extremamente rápido. A espécie é uma hortaliça arbórea, e quando adulta alcança até 12 metros de altura. É uma das plantas mais úteis e as de mais diversificada aplicação que existe, uma esperança para o combate da fome no mundo (Barreto et al. 2016), como referido inicialmente. Considerando tais características, a cultura de *M. oleifera* vem sendo incentivada, principalmente, em países em desenvolvimento, onde existem milhões de crianças menores de 5 anos subnutridas (UNICEF, 2007).

Não ignorando o potencial de utilização da planta para amenizar as mazelas sociais, contudo, deve-se considerar que o estudo do comportamento ecológico da referida planta no Brasil torna-se importante para melhor compreensão de seu potencial de colonização e, em especial, seu possível impacto sobre as plantas nativas. Estudos até o momento afirmam que a moringa tem crescimento rápido e alto índice de germinação que a coloca como uma planta exótica com potencial para se tornar invasora

Em vista do exposto, este trabalho tem por finalidade compreender as relações entre variáveis bióticas e abióticas, potencial de recrutamento e desenvolvimento caracterizando fenologicamente *Moringa oleifera* na região Centro Oeste do Brasil. Considerando-se tratar de uma planta com atrativos econômicos, contudo, ser uma planta exótica, conhecer o potencial de germinação, sua fenologia e a interação com os animais da região é fundamental para o entendimento da competição com as plantas nativas e seu potencial invasor.

4.4. Referências bibliográficas

- Aguiar G. M., Vilela M.L., Lima R.B., 1987. Ecology of the sandflies of Itaguaí, an area of cutaneous leishmaniasis in the State of Rio de Janeiro. Food preferences (Diptera: Psychodidae: Phlebotominae). Mem Inst Oswaldo Cruz 82: 583-584
- Albuquerque, U. P.; Andrade, L. H. C., 2013 Recursos Vegetais da Caatinga: O Caso do Agreste de Pernambuco (Nordeste do Brasil). Interciência.
- Amaya, D.R.; Kerr, W.E.; Godoi, H.T.; Oliveira, A.L.; Silva, F.R., 1992. *Moringa: hortaliça arbórea rica em beta-caroteno*. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.10, n.2, p.126.
- Andrade, R.A.; Lemos, E.G.M.; Martins, A.B.G.; Paula, R.C., 2009 Caracterização morfológica de plantas de rambutan. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v.31, n.4, p.613-619.
- Barreto, M. B.; Freitas, J. V. B.; Silveira, E. R.; Gramosa, N. V.; Bezerra, A. M. E.; Nunes, E. P., 2016. Constituintes químicos voláteis e não voláteis de *Moringa oleifera* Lam., Moringaceae. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, Fortaleza, v. 19, n. 4, p. 893-897
- Bauer, D.; Goez, M. N. B.; Muller, A.; Schmitt, J. L., 2012 Fenologia de três espécies de *Myrsine* l. em floresta secundária semidecídua no Sul do Brasil. *Revista Árvore*, v. 36, n. 5, p. 859-868.
- Belo, M. R.; Negreiros, D.; Fernandes, G. W.; Silveiras, F. A. O., 2013 Fenologia reprodutiva e vegetativa de arbustos endêmicos de campo rupestre na Serra do Cipó, Sudeste do Brasil. *Rodriguésia*, v. 64, n. 4, p. 817-828.
- Bencke C.S.C, Morellato L.P.C., 2002. Comparação de dois métodos de avaliação da fenologia de plantas, sua interpretação e representação. *Revista Brasileira de Botânica* 25:269-275

- Benedito, C. P.; Ribeiro, M. C. C.; Torres, S. B., 2008 Salinidade na germinação da semente e no desenvolvimento das plântulas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.). Revista Ciência Agronômica, v.39, n.3, p.463-467.
- Benicasa M.M.P. 1988. Análise de Crescimento de Plantas (noções básicas). Jaboticabal, FUNEP.
- Bidwell, R.G.S., 1979. Plant physiology. 2. ed. New York, Mcmillan. 726p.
- Brachtvogel, E. L.; Malavasi, U. C., 2010 Volume do recipiente, adubação e sua forma de mistura ao substrato no crescimento inicial de *Peltophorum dubium* (sprengel) taubert em viveiro. Revista Árvore, v. 34, n. 2, p. 223-232, 2010.<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622010000200004>
- Bullock, S.H. & Solis-Magallanes, J.A., 1990. Phenology of canopy trees of a tropical deciduous forest in Mexico. Biotropica 22:22-35.
- Campos, J.B.; Tossilino, M.G.P.; Muller, C.R.C., 2016. Unidades de conservação ação para valorização da biodiversidade. Curitiba: Governo do Estado do Paraná, 344p.
- Carneiro, J. G. A., 1995. Produção e controle de qualidade de mudas florestais. Curitiba: UFPR/FUPEF. 451p.
- Chawla, S.; Saxena, A.; Seshadri, S., 1988. *In Vitro availability of iron various green leafy vegetables*. Journal of the Science of Food and Agriculture, England, v. 46, n. 1, p. 125-127.
- Chuine, I.; Beaubien, E. G., 2001 Phenology is a major determinant of tree species range. Ecology Letters, v. 4, n. 5, p. 500-510.
- Conceição, A. A.; Funch, L. S.; Pirani, J. R., 2007 Reproductive phenology, pollination and seed dispersal syndromes on sandstone outcrop vegetation in the "Chapada Diamantina", northeastern Brazil: population and community analyses. Revista Brasileira de Botânica, v. 30, n. 3, p. 475-485.

- Dahot, M.U.1998 Vitamin contents of the flowers and seeds of *Moringa oleifera* L. *Journal of Biochemistry*, v.21, n.1-2, p.21-24.
- Davies, M.A., 2009. *Invasion Biology*. Oxford University Press. 244p
- Delouche, J.,1980. Environmental effects on seed development and seed quality. *Hort Science*, v.15, n.6, p. 775-780.
- Duke, J. A., 1987. Moringaceae: horseradish-tree, drumstick-tree, sohnja, moringa, murungakai, mulungay. In: BENGE, M. D. (Ed.) *Moringa a multipurpose tree that purifies water*. Boston, Science and Technology for Environment and Natural Resources, p.19-28.
- Eilert, U. Wolters, B. Nahrstedt, A. 1981., The antibiotic principle of seeds of *Moringa oleifera* and *Moringa stenopetala*. *Journal Medicinal Plant Reserch*. v.42, p.55-61.
- Fournier L.A., 1974 Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas em árboles. *Turrialba* 24:422-423
- Gassenschmidt, U., Jany, K. D., Tauscher, B., Niebergall, H., 1995. Isolation e characterization of a flocculating protein from *Moringa oleifera* Lam. *Biochemical et Biophysical Acta*, v. 1243, p. 477-481.
- Gelmond, H.,1972. *Relationship between seed size and seedling vigor in cotton*. *Proceedings*. International Seed Testing Association, v. 37, p. 797-801.
- Global Invasive Species Programme (GISP), 2015. *South America Invaded: The growing danger of invasive alien species*. GISP Secretariat, Cape Town, RSA.
- Hanumaiah, L. E Andrews, C.H., 1973. *Effects of seed size in cabbage and turnips on performance of seeds, seedlings and plants*. *Proceedings*. Association of Official Seed Analysts, v 63, p. 117-125.
- Herdes, G., 1994. *O uso das sementes da árvore moringa para o tratamento da água turva*. [S.l.]: Esplar, 13 p.

- Heydecker, W. Vigour. In: Roberts, E.D., 1972 Viability on seeds. Syracuse: University Press, p.209-252.
- Hulme, P. E., Pyšek, P., Winter, M., 2012 Biosecurity on thin ice in Antarctica. *Science*, v. 336, p. 1102-1104.
- Jahn S.A.A.; Musnad H.A.; Burgstaller H., 1986. *The tree that purifies water: Cultivating multipurpose Moringaceae in the Sudan*. *Unasylva* v.38, p.23-28, 1986.
- Jakobsson, A. E Erikson, O., 2000. A comparative study of seed number, seed size, seedling size and recruitment in grassland plants, *Oikos*, v. 88, p.494-502.
- Kalingaraiar, A.S. E Dharmalingan, C., 1980. *Influence of seed size on seed quality of sorghum*. *Madras Agricultural Journal*, v.67, n.7, p.453-461.
- Kalogo, Y.; M'bassinguiè Sèka, A.; Verstraete, W., 2001 Enhancing the start-up of a UASB reactor treating domestic wastewater by adding a water extract of *Moringa oleifera* seeds. *Applied Microbiology Biotechnology*, v.55, p.644-651.
- Kerr, W. E. Net, 2010. Moringa é fonte de vitamina A. *Globo Repórter*, Rio de Janeiro.
Disponível em: <<http://g1.globo.com/globo-reporter/noticia/2010/10/moringa-e-fonte-de-vitamina.html>>. Acesso em: 08 jun. 2018
- Knapik, J. G.; Ângelo, A. C., 2007 Crescimento de mudas de *Prunus sellowii* Koehne em resposta a adubações com NPK e pó de basalto. *Floresta*, v. 37, n. 2, p. 257-264.
- Kotowski, F. 1926., *Temperature relations to germination of vegetable seeds*. *Proceedings of the American Society of Horticultural Science*, Alexandria, v.23, n.1, p.176-184.
- Lima, M. J. A.,1984. *Ecologia Humana: realidade e Pesquisa*. Petrópolis: Vozes.
- Lucena, C. M; Costa, G. G. S; Carvalho, T. K. N; Guerra, N. M; Quirino, Z. G. M; Lucena, R. F. P., 2012. Uso e conhecimento de cactáceas no município de São Mamede (Paraíba, Nordeste do Brasil).

- Lucena, C. M.; Ribeiro, J. E.S; Nunes, E. N; Meiado, M. V; Quirino, Z. G.M., 2015. Casas, A. e Lucena, R. F.P. Distribuição local de *Cereus jamacaru* dc. subsp. *Jamacaru* e *Pilosocereus pachycladus* f. Ritter subsp. *Pernambucoensis* (f. Ritter) zappi (cactaceae) e sua relação com uma comunidade rural no município do Congo, Paraíba.
- Machado, F. L., Almeida, A. N. de, Costa, A. F., 2016. O sociólogo e os seus campos. Um protagonista a múltiplas dimensões. In Machado, F. L., Almeida, A. N. de, Costa, A. F. da (Org.), *Sociologia e sociedade: estudos de homenagem a João Ferreira de Almeida*, pp. 3-28. Lisboa: Mundos Sociais
- Marcos Filho, J. M., 2005. *Fisiologia de sementes de plantas cultivadas*. Piracicaba: FEALQ. 495p.
- Marcos Filho, J.; Cicero, S.M.; Silva, W.R., 1987. *Avaliação da qualidade das sementes*. Piracicaba: FEALQ. 230p.
- Mariot, A.; Mantovani, A.; Reis, M. S., 2003 Uso e conservação de *Piper cernuum* Vell. (Piperaceae) na Mata Atlântica: I. fenologia reprodutiva e dispersão de sementes. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais, Botucatu*, v. 5, n. 2, p. 1-10.
- Marques, L. S.; Paiva, H. N.; Neves, J. C. L.; Gomes, J. M.; Souza, P. H., 2009 Crescimento de mudas de jacaré (*Piptadenia gonoacantha* J.F. Macbr.) em diferentes tipos de solos e fontes e doses de nitrogênio. *Revista Árvore*, v. 33, n. 1, p. 81-92, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622009000100009>
- Mayer, A.M. E Poljakoff-Mayber, A., 1993. *The germination of seeds*. 4. ed. Great Britain: Pergamon Press, p.270.
- Menzel, A.; Sparks, T. H.; Estrella, N.; Koch, E.; Aasa, A.; Ahas, R.; Chmielewski, F. M. (2006). European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global change biology*, v. 12, n. 10, p. 1969-1976.

- Morellato, L. P. C.; Alberton, B.; Alvarado, S.T.; Borges, B.; Buisson, E.; Camargo, M.G.G.; 2016. A. Linking plant phenology to conservation biology. *Biological Conservation*, v. 195, p. 60-72, 2016. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.12.033>>. Doi: 10.1016/j.biocon.2015.12.033
- Morellato, L.P.C., 2016. Linking plant phenology to conservation biology. *Biological Conservation*, 195, 60-72.
- Morellato, L.P.C., Talora, D.C., Takahasi, A., Bencke, C.S.C., Romera, E.C. & Zipparro, V., 2000. Phenology of Atlantic rain forest trees: a comparative study. *Biotropica* 32(Special Issue): 811-823.
- Nakagawa, J. 1999 *Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas*. In: Krzyzanoski, F.C.; Vieira, R.D.; França Neto, J.B., 1999 (Ed.). *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Londrina: ABRATES. p.2.1-2.24
- Naylor, R.E.L., 1980. Effects of seed size and emergence time on subsequent growth of perennial rye grass. *New Phytologist*, v.84, p. 313-318.
- Ndabigengesere A.; Narasiah, S. K. 1996. Influence of operating parameters on turbidity removal by coagulation with *Moringa oleifera* seeds. *Environmental Technology*, v.17, p.1103-1112.
- Newstron, L.E.; Frankie, G.W. & Baker, H.G., 1994. *A new classification for plant phenology based on flowering patterns in lowland tropical rain forest trees at La Selva, Costa Rica*. *Biotropica*, 26(2): 141-159.
- Okuda, T.; Baes, A.U.; Nishijima, W.; Okada, M., 2001. Isolation and characterization of coagulant extracted from *Moringa oleifera* seed by salt solution. *Water Research*, v.35, n.2, p. 405-410.

- Oliveira, F. R. A.; Oliveira, F. A.; Guimaraes, I. P.; Medeiros, J. F.; Oliveira, M. K. T.; Freitas, A. V. L.; Medeiros, M. A. 2009. Emergência de plântulas de moringa irrigada com água de diferentes níveis de salinidade. *Bioscience Journal*, v.25, n.5, p.66-74.
- Olsen, A. Low, 1987. Low technology water purification by bentonite clay and *Moringa oleifera* seeds flocculation as performed in Sudanese villages: effect on *Schistosoma mansoni* cercarie. *Water Research*, v. 21, p.517-522.
- Paz, W.S.; Souza, J.T. 2018 Fenologia de espécies vegetais arbóreas em um fragmento de caatinga em Santana do Ipanema, AL, Brasil. *Diversitas Journal*, v.3, n.1, p.39-44.
- Pio Corrêa, M., 1984. *Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas*. Rio de Janeiro: IBDF. v.5, p.276-283.
- Pollock, B.M. & Ross, E.E., 1972 *Seed and seedling vigour*. In: KOZLOWSKI, T.T., ed. *Seed Biology*. New York: Academic Press, p.313-87.
- Rossi, A; Fachinello, J. C.; Rufato, L.; Parisoto, e.; Picolotto, L.; Kruger, L. R., 2004 Comportamento do pessegueiro 'Granada' sobre diferentes porta-enxertos. *Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal*, v. 26, n. 3, p. 446-449.
- Scotti, C.A. E Krzyzanowski, F.C. 1977. *Influência do tamanho da semente sobre a germinação e o vigor em milho*. Londrina, Fundação Instituto Agrônômico do Paraná, Boletim técnico, n. 5, p. 10.
- Sediyama, M.A.N., 1991. Influência da origem e do tamanho da semente na germinação de mandioquinha-salsa (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) *Revista Brasileira de Sementes*, v. 13, nº2, p.127-129.
- Silva, A. R.; Kerr, E. W., 1999. *Moringa uma nova alternativa para o Brasil*. Fortaleza: UFC DIRIU. P. 95.
- Silva, A.P.; Kay, B.D. & Perfect, E., 1994. *Characterization of the least limiting water range*. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:1775- 1781.

- Silva, J.B.C.; Nakagawa, J., 1995. Estudo de fórmulas para cálculo da velocidade de germinação. Informativo ABRATES, Londrina, v. 5, n. 1, p. 62 – 73.
- Silvia, J. P. V.; Serra, T. M.; Gossmann, M.; Wolf, C. R.; Meneghetti, M. R.; Meneghetti, S. M. P., 2010. *Moringa oleifera* oil: Studies of characterization and biodiesel production. Biomass and Bioenergy, 2010, doi: 10.1016/j.biombioe.04.002
- Smith-Ramirez, C. & Armesto, J.J. 1994. Flowering and fruiting patterns in the temperate rainforest of Chiloé, Chile: ecologies and climatic constraints. Journal of Ecology 82:353-365
- Souza, N. H.; Marchetti, M. E.; Carnevali, T. O.; Ramos, D. D.; Scalon, S. P. Q.; Silva, E. F., 2013. Estudo nutricional da canafístula (I): crescimento e qualidade de mudas em resposta à adubação com nitrogênio e fósforo. Revista Árvore, v. 37, n. 4, p. 717-724.<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622013000400015>
- Souza, Z.S.; Garcia, P.B.; Bremm, N.; Troyjack, G.; Grzybowski, N.; Chassot, T.; Santos, M.T.P. 2017. Estudo Florístico e Fenologia da Floração do componente arbóreo de um fragmento de floresta estacional na Região das missões, Rio Grande do Sul. Jornada de iniciação científica e tecnológica, v.1, n. 7, p.1-4, 2017. Disponível em: <<https://periodicos.uffs.edu.br/index.php/JORNADA/article/view/5451>>.
- Stadnik, A.; Oliveira, M.I.U.; Roque, N. 2016 Levantamento florístico de Myrtaceae no município de Jacobina, Chapada Diamantina, Estado da Bahia, Brasil. Hoehnea, v.43, n.1, p.87-97.
- Sun, C.; Kaplin, B. A.; Kristensen, K. A.; Munyalioga, V.; Mvukiyumwami, J.; Kajondo, K. K.; Moermond, T. C.1996 Treephenology in a tropical montane forest in Rwanda. Biotropica, v. 28, n. 4, p. 668-681.
- Talora, D.C. & Morellato, L.P.C., 2000. Fenologia de espécies arbóreas em floresta de planície litorânea do sudeste do Brasil. Revista Brasileira de Botânica 23:13-26.

- Torres, S.B.; Marcos Filho, J., 2001 Teste de envelhecimento acelerado em sementes de maxixe (*Cucumis anguria* L.). Revista Brasileira de Sementes, Londrina, v.23, n.2, p.108-112.
- UNICEF - United Nations Children's Fund. Net, 2007. Progress for Children: A World Fit for Children Statistical Review. n. 6 revised, New York. Disponível em: <http://www.unicef.org/publications/files/Progress_for_Children_No_6_revised.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2018.
- Vega Fva; Bovi Mla; Spiering Sh; Godoy Júnior G., 2004. Relações alométricas para estimativa da fitomassa aérea em pupunheira. Horticultura Brasileira 22:104-108
- Verdcourt, B. A., 1985. *Synopsis of the Moringaceae*. Kew Bulletin v.40, p.1-23.
- Vieira, H.; Chaves, L. H. G.; Viégas, R. A., 2008 Acumulação de nutrientes em mudas de moringa (*Moringa oleifera* Lam) sob omissão de macronutrientes. Revista Ciência Agronômica, v. 39, n. 01, p. 130-136.
- Westoby, M.; Falster, D.S.; Moles, A.T.; Vesk, P.A. Wright, I.J., 2002. *Plant ecological strategies: some leading dimensions of variation between species*. Annual Review of Ecology and Systematics, n.33, p.125-159.
- Wetzel, C.T., 1975. *Some effects of seed size on performance of soybeans*. State College, Mississippi State University, p. 177, Tese (PhD.).
- Zeide, B., 1993. Analysis of growth equations. Forest science, v. 39, n.3, p. 594- 616.
- Zenni, R.D. & Ziller, S.R., 2017. An overview of invasive plants in Brazil. Revista brasileira de Botânica,

5. OBJETIVO GERAL

O objetivo deste estudo foi avaliar as respostas fisiológicas de *Moringa oleifera* e seu cultivo nas condições edafoclimáticas do Brasil.

5.1 Objetivos Específicos

- Determinar a concentração média de água e matéria orgânica em sementes da *Moringa oleifera*;
- Verificar o potencial de germinação nas sementes de *Moringa oleifera* considerando a diferença de massa, ambiente natural e semicontrolado, em três posições do hilo e duas profundidades;
- Compreender o comportamento fenológico da planta *Moringa oleifera*.
- Avaliar os requerimentos ambientais para o estabelecimento e o recrutamento de plântulas no campo;
- Diagnosticar o desenvolvimento vegetativo inicial e posterior no campo experimental;
- Avaliar seu processo reprodutivo na área de estudo.

6. CAPÍTULO 1

Original Article: submitting to the Ciência Rural (manuscript ID is CR-2019-1033)

**Germination and growth of *Moringa oleifera* Lam. in a cultivation region in the
Midwest Brazil**

**Germinação e crescimento de *Moringa oleifera* Lam. em uma região de cultivo no
Centro Oeste do Brasil.**

Claudio João Bernardi^I Victor Hugo Valiati^{II*}

^I ID 0000-0003-4361-6625; ^{II} ID 0000-0002-4467-4547. Laboratório de Genética e Biologia Molecular (LGBM). Programa de Pós-Graduação em Biologia, Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Avenida Unisinos, Cristo Rei, Cep: 93022750 - São Leopoldo, RS - Brasil - Caixa-postal: 275. E.mail: valiati@unisinos.br * Autor para correspondência.

6.1 ABSTRACT

Moringa oleifera Lam. has nutritional and medicinal value and is used for water treatment in Brazil. The objective of the present study was to explore the germination and development of M. oleifera seedlings. Seeds were divided into three subgroups—light, medium, and heavy—they were cultivated and the influence of depth, sowing position and orientation, imbibition, and temperature on germination were evaluated. Seed weight varied among different classes; however, concentrations of water and organic matter in seeds did not vary significantly. Medium seeds immersed in water and grown at room temperature had higher first germination counts than did treatments. Plants grown between 6 and 19 months of age had slower growth rates in the first two months, increasing linearly and continuously. Noteworthy, individuals demonstrated adaptation to the study regions, with high germination rates and rapid development, regardless of seed fresh weight class.

Keywords: *Seeding conditions, Primary and secondary growth, Germination, Adaptation.*

6.2 RESUMO

Moringa oleifera Lam. tem valor nutricional e medicinal e é utilizada no tratamento de água no Brasil. O objetivo do presente estudo foi explorar a germinação e desenvolvimento de mudas de M. oleifera. As sementes foram divididas em três subgrupos - leve, médio e pesado - cultivadas e avaliadas a influência da profundidade, posição e orientação da semeadura, embebição e temperatura na germinação. A massa das sementes variou entre diferentes classes; no entanto, as concentrações de água e matéria orgânica nas sementes não variaram significativamente. Sementes médias imersas em água e cultivadas à temperatura ambiente apresentaram maior contagem de primeira germinação do

que os tratamentos. Plantas cultivadas entre 6 e 19 meses de idade apresentaram taxas de crescimento mais lentas nos primeiros dois meses, aumentando linear e continuamente. Destaca-se que os indivíduos demonstraram adaptação às regiões estudadas, com altas taxas de germinação e rápido desenvolvimento, independentemente da classe de peso fresco das sementes.

Palavras-chave: *Condições de semeadura, Crescimento primário e secundário, Germinação, Adaptação.*

6.3 INTRODUCTION

The family Moringaceae consists of only one genus, *Moringa* Adans., which consists of 14 species of trees and shrubs (OKUDA et al., 2001). *Moringa oleifera* Lam. is a perennial species originating in northeastern India. It is widely distributed in India, Egypt, the Philippines, Sri Lanka, Thailand, Malaysia, Burma, Pakistan, Singapore, Jamaica, and Nigeria (PIO CÔRREA, 1984; DUKE, 1987). It grows in regions ranging from dry and humid subtropical regions to tropical dry and humid forests (DUKE, 1978). It is also known as drumstick or the drumstick tree owing to the shape of the fruits or the horseradish tree because of the taste of its roots. *M. oleifera* is a fast-growing species and can tolerate very poor soils with large pH variations (PALADA & CHANGL, 2003). The species was introduced in Brazil in 1985 and its excellent adaptation to the northeastern semi-arid soil and climate has prompted researchers to investigate its growth in other regions of the country (REYES-SÁNCHEZ et al., 2006; COSTA et al., 2015).

M. oleifera has high nutritional value (AMAYA et al., 1992; SILVA & KERR, 1999) and its leaves, flowers, and fruits are widely consumed in India, Pakistan, Philippines, Hawaii, and Africa (D'SOUZA & KULKARNI, 1993; ANWAR & BHANGER, 2003; ANWAR et al., 2005). Many parts of the plant also have medicinal uses and are applied in the treatment of inflammations and infections, as well as cardiovascular, gastrointestinal, hematological, and hepatorenal disorders (see ANWAR et al., 2007). In addition to its nutritional and pharmaceutical properties, the seeds of the plant can also be used to treat water for domestic use (NDABIGENGESERE & NARASIAH, 1996; KALOGO et al., 2001; OLSEN, 1987), preventing the eutrophication of rivers and lakes by coagulating and removing algae, and reducing the oxygen demand and the phosphorus and nitrogen concentrations in water bodies (FOIDL et al., 2001). The use of *M. oleifera* seeds in water treatment could also ameliorate color and decrease turbidity, and therefore, could be used in

combination with conventional methods to improve drinking water quality (CARDOSO et al., 2008). *M. oleifera* seeds are rich in vegetable oils (33–41%) (SENGUPTA & GUPTA, 1970), which can be extracted and used for biodiesel production (SILVA et al., 2010). Therefore, considering its uses and the potential of propagation by both sexual and asexual methods, it is an important species from a socioeconomic perspective (FOIDL et al., 2001). Consequently, tests of seed quality and germinability could facilitate the selection of seeds with higher rates of germination and the superior development in propagated plants.

The physiological quality of seeds provides an estimate of the germination potential of seed lots under ideal conditions. Vigor tests can aid the characterization of the physiological potential of seed lots, as they consider seed deterioration rates are increased following exposure to high temperature and relative humidity levels (MARCOS FILHO et al., 1987). Under such conditions, seeds of lower quality deteriorate more rapidly compared to stronger seeds, which is reflected in the germination after the accelerated aging period (TORRES & MARCOS FILHO, 2001). Favorable conditions for the development of *M. oleifera* have been studied in Brazil. Among the existing reports, the objective of RAMOS et al. (2006) was to evaluate and describe the morphology of fruits and seeds, in addition to the morphofunctional characteristics of *Moringa* seedlings. In addition, BEZERRA et al. (2004) evaluated the proportions of germinating seeds and the rates of germination of *M. oleifera* seeds collected in Pentecoste, Ceará (northeast Brazil) and observed that seeds from higher weight classes had higher germination rates and more vigorous seedlings. The influence of sowing depth and sowing positions on seed germination (SOUSA et al., 2007), in addition to the differences in germination rate and germination speed index (GSI) in *M. oleifera* seeds cultivated at different temperatures and in different substrates have also been investigated (PEREIRA et al., 2015).

The objective of the present work was to evaluate the germination vigor in *M. oleifera* seeds with different weights and evaluate initial seedling development to determine the influence of the physiological potential of seed lots and to facilitate the selection of high-quality seeds for planting.

6.4 MATERIAL AND METHODS

Biological material and characterization of seeds and germination

M. oleifera fruits were collected from six 3-year-old and 4-m-tall trees in the municipality of Narandiba, in the southeastern region of the state of São Paulo (22°24'28.19"S; 51°31'31.13"W) (Fig. 1A). The manually collected select fruits were dark brown and had longitudinal cracks (characteristics of ripe fruits) (Fig. 1B). They were taken to a greenhouse at the nursery of the Pontal Verde farm located in the same region in which they were collected. In the greenhouse, the fruits were opened manually; the seeds packed in paper boxes and sent to the Federal Institute of Education, Science and Technology (IFMT) - Bela Vista Campus, Cuiabá, Mato Grosso, Brazil.

In the laboratory, the seeds collected from different fruits were mixed to obtain a single sample composed of 2,028 seeds for classification based on weight. The seeds were weighed individually using an AY200 electronic weighing scale. Based on the frequencies of distribution of fresh weight classes, the seeds were classified as follows: L = light (0.022 to 0.133 g), M = medium (0.134 to 0.269 g), and H = heavy (0.270 to 0.475 g) (Figure S1), which was an adaptation of the method of BEZERRA et al. (2004).

The seeds were evaluated based on their external morphological parameters: shape, color, texture, and consistency of the integument; and position, shape, and color of the hilum, micropyle, and raphe. The methodological procedures and terminology used to evaluate the

external seed parameters were according to FIGLIOLIA & PIÑA-RODRIGUES (1993) and CHAVES (1994).

Forty seeds were obtained randomly from each of the subgroups (L, M, and H) and weighed again to determine the fresh weight (FW). The seeds were then stored for 24 h in an oven at 105°C and reweighed to determine the dry weight (DW). This way, the water weight per seed was obtained by estimating the difference between fresh weight and dry weight, and the water concentration (%) was determined using the following formula: $[(FW - DW) \cdot 100] / FW$. The dried seeds were then stored in a muffle furnace at 600°C for 24 h and reweighed to determine the calcined weight. The difference between the dry weight (DW) and the calcined weight (CW) in the seed was considered the weight of the organic matter of the seed, and the organic matter concentration was obtained using the following formula: $[(FW - CW) \cdot 100] / FW$.

6.4.1 Germination and treatments

Imbibition and influence of abiotic conditions on germination of different seed classes

For the germination tests based on imbibition rates, abiotic conditions, and seed classes, samples of 60 seeds were used for each treatment with five replicates. Initially, the seeds were treated with 2% sodium hypochlorite for superficial disinfestation. Subsequently, they were washed with running water until the disinfecting agent was completely removed and then dried using paper towels. To evaluate the effect of imbibition on the germination stimulus, 50% of the seeds (all seed classes) were left immersed for 24 h in distilled water in plastic trays measuring 18.5 × 19.0 × 11 cm. The other 50% of the seeds were not immersed in distilled water. Afterward, all seeds, treated or not, were planted in tubes containing substrate on vermiculite (V), between sand (BS), on paper (OP), on sand (OS), on a mixture of soil + sand + manure (SSM), and on paper roll (PR). The substrates were placed in plastic boxes,

moistened with distilled water until they achieved 60% of the water retention capacity, which was calculated according to Brazil (1992), and then transferred to a chapel model greenhouse with controlled light measuring 48 × 7 m, a floor to ceiling height of 3.5 m, with side and front faces covered with shading screens with 50% light interception. Irrigation was performed as needed, maintaining the humidity at 80%. During the entire period of the experiment, the minimum and maximum mean temperatures were 18.06°C and 36.81°C, respectively. Four treatments were then considered: (i) Immersion in water + room temperature (average of 27.15°C); (ii) Seeds not immersed + room temperature (average of 27.15°C); (iii) Immersion in water + constant temperature (27°C); (iv) Seeds not immersed + constant temperature (27°C). The treatments were conducted in Biological Oxygen Demand germination chambers, with a 10-h light photoperiod supplied using daylight fluorescent lamps (4 × 20 W), with a radiant flux density of 90 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, measured using a Li-Cor quantum radiometer, placed at the top of the containers.

6.4.2 Germination speed

To evaluate the germination speed of *M. oleifera* seeds, tests were performed using the three seed classes. Thirty seeds were obtained randomly from each class and cultivated in three Petri dishes (150 × 20 mm) with five replicates. The substrate used was germination paper (neutral Ph Germitest) with distilled and ionized water 2.5 times the paper weight. The Petri dishes containing the seeds were maintained in a greenhouse covered with a shading screen permitting 50% light interception for 15 days. Irrigation was performed as required to maintain humidity at 80%. The germination speed index (GSI) was calculated by summing the number of seeds germinated each day and dividing the sum by the number of days elapsed between seeding and germination, according to the formula of Maguire (1962): $\text{GSI} = (G1/N1) + (G2/N2) + (G3/N3) + \dots + (Gn/Nn)$, where: GSI = germination speed index; G1,

G2, G3, ..., Gn = number of seedlings computed in the first, second, third, and last count; N1, N2, N3, ..., Nn = number of days from seeding in the first, second, third, and last count.

Influence of sowing depth and position of the hilum on germination

The substrate used was black soil, consisting of 47.1 g/dm³ of organic matter, 507 g/kg of sand, 83 g/kg of silt, a mineral or rock fragment smaller than fine sand and larger than clay, and 410 g/kg of clay. The substrate was placed in plastic bags, where the seeds were planted. The soil was classified as sandy clay based on the soil textural classification triangle of LEMOS & SANTOS (1984). The seeding rate was one seed per pit. In total, 30 seeds were used for each treatment. To evaluate the effect of seeding depth on germination, the zero horizon depths used in the surface were labeled 1, 2, and 3, and the 2.0-cm depths were labeled 4, 5, and 6. To evaluate the effect of the sowing position, the seeds were planted with the hilum up (U), with the hilum on the horizontal (H), and with the hilum down (D), which is an adaptation of the methods applied by SOUSA et al. (2007). The seeds were considered to have germinated when an eophyll developed.

6.4.3 Primary growth

To evaluate primary growth, 24 seedlings produced within six months were obtained randomly from the entire lot, according to the method described previously. The total length, root length, and stem length of each of the seedlings were measured fortnightly. The fresh weights of the leaves, stems, and roots were obtained using a precision analytical balance, as described by BIDWEL (1979). The samples were then packed in previously prepared and labeled crucibles and transferred to a forced air oven at 60–70°C for 96 h. Subsequently, the samples were placed in a desiccator for 12 h and then weighed to obtain the dry weights. The calcined weight was determined after the seedlings were placed in porcelain crucibles and into

a muffle furnace at 600°C for 4 h. The seeds were weighed after they were left for 24 h in the desiccator.

6.4.4 Secondary growth

The secondary growth studies were conducted in the municipality of Cuiabá, Mato Grosso (15°34'44.14" S and 56°03'38.05" W), in an area within the Bela Vista campus of IFMT. The climate of the region is tropical continental, always hot, with a dry winter (June to September) and rainy summer (October to May). Therefore, it is the type Aw in the Köppen classification (PEEL et al., 2007), that is, humid and hot with a pronounced dry season in the winter. According to Holdridge's system (1982), the region is classified as "tropical semiarid" and has an average annual rainfall of 15.000 mm (EDIBAP, 1979). The area intended for planting *M. oleifera* seedlings was classified as a dystrophic Red Yellow Latosol with a loamy sand texture. Analysis of soil fertility and texture revealed the following values: pH (in water) = 5.4; MO= 21.49 (g dm⁻³); P (Mehlich I) = 1.09 mg dm⁻³; K = 2.30 mmol dm⁻³; Ca = 7.60 mmol dm⁻³; Mg = 2.40 mmol dm⁻³; Al = 1.50 mmol dm⁻³; V% = 20.45 and medium texture (500 g kg⁻¹ clay, 120 g kg⁻¹ silt and 380 g kg⁻¹ sand). The area measuring 1,930 m² had a cover characterized as Cerrado and the vegetation was removed in 2008 using chainsaws to cut trees and brush cutters to cut shrubs and grasses. The land has a slight incline to the north over 219 meters and to the south over 216 meters. The 112 seedlings selected for the test were cultivated in a nursery with filtered light. The plants were transferred to the experimental field at 6 months of age, when they were 45 cm tall, on average. The planting was carried out in the summer, at the end of the rainy season. The plants were monitored monthly for twelve months to measure the heights and collar diameters of each plant.

6.4.5 Statistical analyses

The water and organic matter weight and concentration data were compared using the Kruskal-Wallis test and the differences between treatments were evaluated using the Student-Newman-Keuls test in BioEstat v5.3. First germination, germination capacity, GSI, and mean germination time were compared using Analysis of Variance (ANOVA) followed by Tukey's test in IBM SPSS Statistics 20 (IBM Corp., Armonk, NY, USA). The data obtained from monitoring secondary plant growth were used in the ANOVA and in the linear regression model.

To calculate the secondary growth, an exploratory analysis of the data and the linear regression model with mixed effects (random and fixed effects) were performed. Linear mixed effects models are applied in data analysis where the responses are grouped (more than one measure for the same individual) and when the assumption of independence between observations in the same group is violated. This procedure was performed using PROC MIXED in SAS[®] v9.0 (SAS Institute, Cary, NC, USA).

6.5 RESULTS

Characterization of the Seeds

The *M. oleifera* seeds are globular, with 0.6–1.5-cm of diameter, with three thin membranes 0.5–2.5 cm long, and have a smooth and glossy surface that is dark brown color. The seeds have oval whitish hila with pointed, glossy, and smooth surfaces. Micropyles are located on the rounded end (Fig. 1C–D).

The seeds exhibited epigeal germination, with a yellowish-white embryo, leaning toward ivory, surrounded by a whitish endosperm. Two days after germination, the epicotyl is glabrous, ascending, thick, and cylindrical, with a greenish-yellow apex (Fig. 1E). The small cylindrical stem is slightly curved and glabrous, with greenish eophylls. The pivoting radicle

has an axial, cylindrical, slightly winding, thin, and glabrous primary root, with a brown base. The remaining whitish radicle, which is thicker at the base and tapered at the apex, has no lateral roots (Fig. 1F).

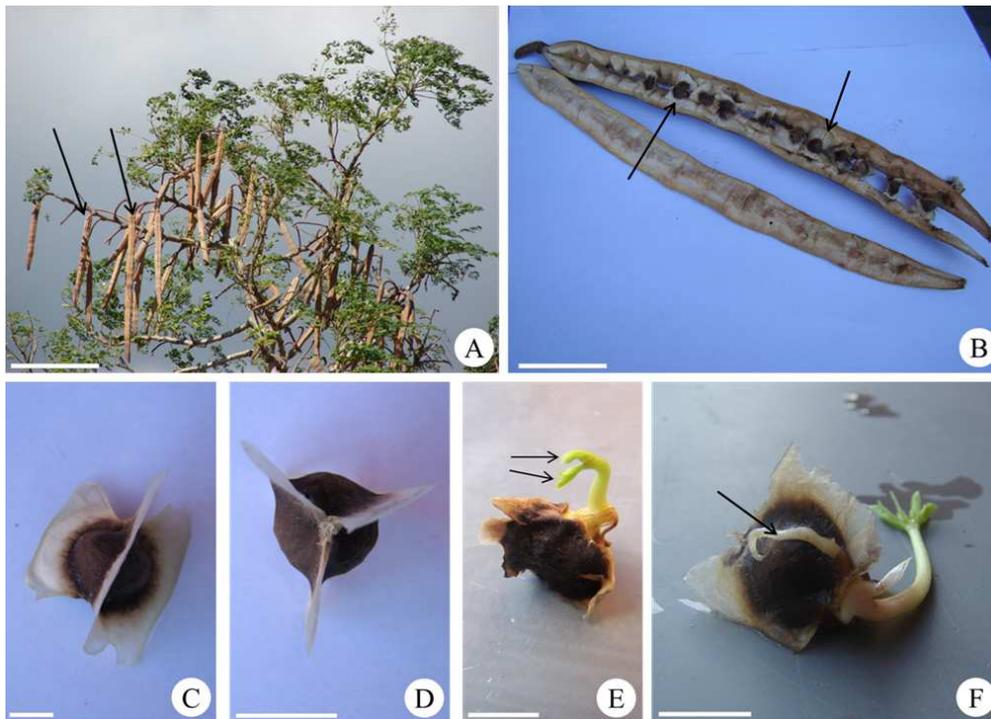


Figure 1. Details of *Moringa Oleifera*. Main tree with fruits in Cuiabá (A - scale bar = 30 cm); Open dried fruit, with the seeds in detail (B - scale bar = 5.5 cm); Seed in lateral view (C) and top view (D); Germinated seeds, highlighting the eophylls (E) and radicle (F). Scale bar C–F = 1 cm.

Statistical differences were observed when comparing fresh, dry, and calcined weights, as well as in the concentrations of water and organic matter (Tab. 1). However, when comparing the water and organic matter concentrations among the seeds, no significant differences were observed.

Table 1. Means \pm standard deviations of the characteristics of the seeds: fresh weight (g), dry weight (g), calcined weight (g), water/seed weight (g), organic matter/seed weight (g), concentration of water and organic matter/seed (%).

Variables	Seed Classes			Statistics	
	Light	Medium	Heavy	H	p
Fresh	0.084 \pm 0.043 c	0.228 \pm 0.023 b	0.328 \pm 0.054 a	104.5449	<0.001
Dry	0.081 \pm 0.042 c	0.219 \pm 0.022 b	0.315 \pm 0.052 a	104.5442	<0.001
Calcined	0.004 \pm 0.002 c	0.01 \pm 0.001 b	0.015 \pm 0.002 a	104.6001	<0.001
Water	0.003 \pm 0.002 c	0.009 \pm 0.001 b	0.013 \pm 0.002 a	104.6716	<0.001
Organic Matter	0.080 \pm 0.042 c	0.217 \pm 0.022 b	0.313 \pm 0.052 a	104.5446	<0.001
Water (%)	4.127 \pm 0.659 a	4.001 \pm 0.085 a	4.020 \pm 0.000 a	5.9496	0.0511
Organic Matter (%)	95.490 \pm 0.087 a	95.472 \pm 0.026 a	95.470 \pm 0.022 a	3.5767	0.1672

Different letters on the line indicate significant differences based on the Student-Newman-Keuls test at 5% probability.

Imbibition and influence of abiotic conditions on germination under different seed fresh weight classes

Table 2 lists the physiological potential results of the L, M, and H seeds, based on the treatments they were subjected to. The mean germination time (MGT) of L seeds was 6.6–8.6 days, with an average of 7.5 days. For the medium seeds, the time was 6.5–7.8 days, with an average of 7.1 days. In the case of the heavy seeds, the minimum and maximum times were 6.7 and 7.8 days, respectively, with an average of 7.2 days. Regardless of the treatments, the germination percentages (GM) and mean germination times (MGT) that did not differ significantly among the three seed types. The seeds classified as medium exhibited a shorter time to the First Germination Counts (FGC) in treatments under conditions with controlled temperature and humidity (T3 and T4), regardless of the application of imbibition for 24 h.

Table 2. Means \pm standard deviations of first germination count (FGC), germination pattern or germination capacity (GM), germination speed index (GSI), and mean germination time (MGT).

Seed Classes	FGC	GM (%)	GSI	MGT
Treatment		T1		
Light	4.96 \pm 2.70 ^a	64.22 \pm 16.35 ^a	13.17 \pm 3.70 ^a	7.75 \pm 0.56 ^a
Medium	18.00 \pm 7.48 ^a	85.78 \pm 11.01 ^a	19.69 \pm 2.71 ^a	6.87 \pm 0.21 ^a
Heavy	5.56 \pm 1.92 ^a	89.11 \pm 7.32 ^a	18.92 \pm 1.70 ^a	7.34 \pm 0.36 ^a
Treatment		T2		
Light	5.00 \pm 4.29 ^a	68.67 \pm 13.81 ^a	13.93 \pm 3.28 ^a	7.72 \pm 0.44 ^a
Medium	10.56 \pm 7.66 ^a	85.56 \pm 14.03 ^a	19.34 \pm 3.22 ^a	6.97 \pm 0.42 ^a
Heavy	5.00 \pm 6.42 ^a	84.22 \pm 16.85 ^a	17.85 \pm 4.02 ^a	7.35 \pm 0.40 ^a
Treatment		T3		
Light	4.22 \pm 2.55 ^a	69.33 \pm 14.33 ^a	14.10 \pm 2.67 ^a	7.43 \pm 0.17 ^a
Medium	4.33 \pm 4.13 ^{a,b}	88.44 \pm 9.50 ^a	19.49 \pm 2.40 ^a	7.20 \pm 0.31 ^a
Heavy	9.00 \pm 3.42 ^a	90.33 \pm 8.48 ^a	19.79 \pm 1.74 ^a	7.09 \pm 0.17 ^a
Treatment		T4		
Light	3.78 \pm 3.74 ^a	72.22 \pm 5.94 ^a	14.64 \pm 2.73 ^a	7.47 \pm 0.50 ^a
Medium	5.56 \pm 4.73 ^{a,b}	86.89 \pm 11.33 ^a	18.26 \pm 2.30 ^a	7.36 \pm 0.32 ^a
Heavy	10.56 \pm 4.94 ^a	89.56 \pm 9.54 ^a	19.66 \pm 2.03 ^a	7.12 \pm 0.11 ^a

Treatments: T1: immersion in water for 24 h + room temperature; T2: no immersion + room temperature; T3: immersion in water for 24 h + controlled temperature and humidity, and T4: no immersion + controlled temperature and humidity. Means followed by the same lowercase letter in the column do not differ significantly from each other based on the Tukey's test ($p < 0.05$).

Influence of the sowing depth and position of the hilum on germination capacity

The position of the hilum (down, up, and horizontal), as well as sowing on the surface or at a depth of 2.0 cm, did not influence the germination capacity (GM) ($F = 1.8534$; $P = 0.1325$), regardless of the treatment applied to the seeds.

6.5.1 Primary growth

The *M. oleifera* plants exhibited uniform growth trends regardless of whether the seedlings originated from the L, M, or H seeds. Fig. 2 illustrates the average growth rates of the plants associated with the L, M, and H seeds over the 24 fortnightly monitoring events. According to the results, the growth curve remained unaltered up to approximately 60 days, with subsequent rapid and constant growth until 180 days, with no significant differences among the three seedling weight classes. Polynomial trend lines and R^2 statistically supported a similar primary growth among the three seed types.

When considering the average dry weights of the leaves, stems, and roots separately for the 24 measurements from seedlings associated with the L, M, and H seeds, similar trends were observed. There was always a more rapid and more constant growth after 90 days for leaves and roots and after 75 days for stems, with no significant differences among the seed types ($P > 0.05$). Generally, during the first six months of plant development, the diameters of the collars exhibited slow growth up to 90 days followed by accelerated development, with the minimum diameter of 0.75 mm after fifteen days and a maximum of 2.05 mm after 180 days, which did not differ significantly among the seedlings originating from the L, M, and H seeds.

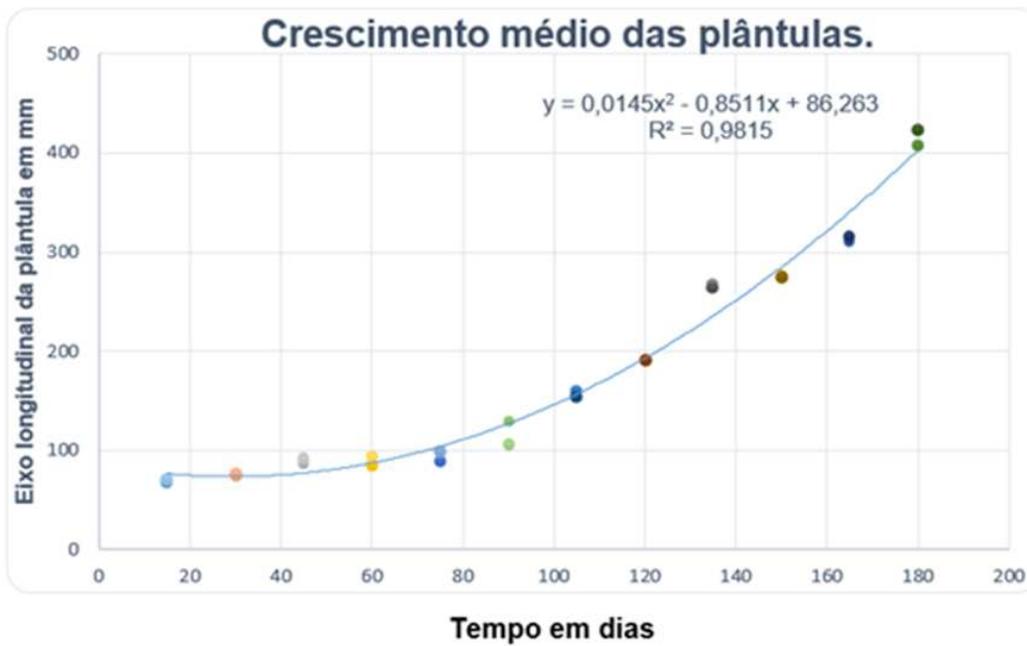


Figure 2. Average of the total lengths of the seedlings formed from the light seeds, averaged over a period of 180 days.

6.5.2 Secondary growth

Longitudinal growth was not significant within the first two months of planting. However, after the two months, growth was continuous and gradual (Fig. 3). The growth exhibited a slight reduction in June and July (dry period). Afterward, it was continuous. After the eighth month after planting, the averages of plant development in the experimental field exhibited continuous growth over a year, with a coefficient of determination R^2 (99.5%) and a polynomial trend line significantly supporting such growth.

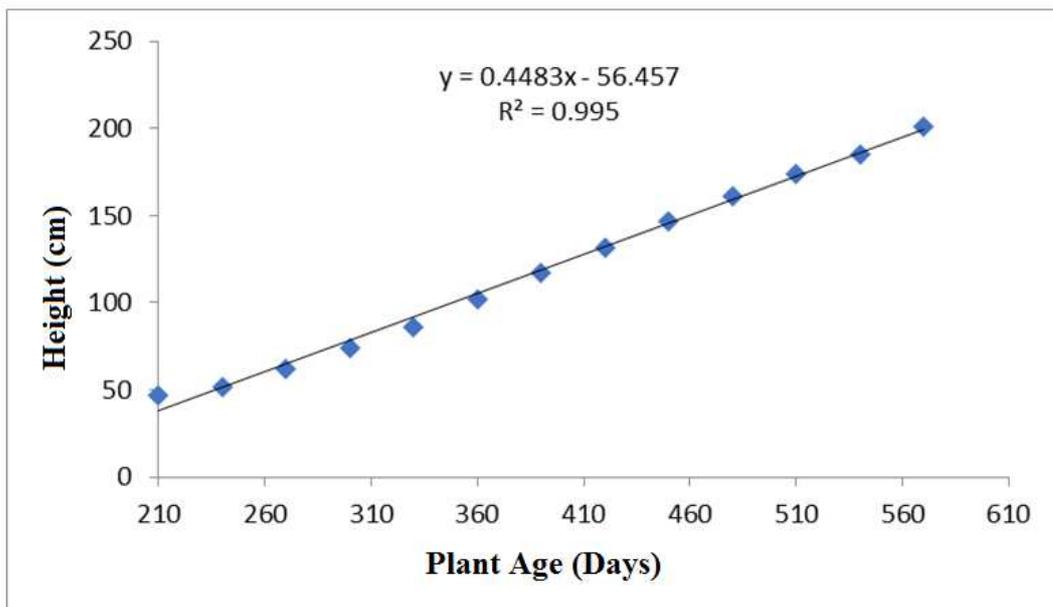


Figure 3. Plant height development in the experimental field from 210 days after planting until 610 days.

6.6 DISCUSSION

The *M. oleifera* seeds studied exhibited trends similar to those described by FOIDL et al., (1999) and SÁNCHEZ (2006), with three wings. According to BARROSO et al. (1999), the presence of wings in the seeds could be associated with anemochory, with a small, linear, salient hilum at the end with coloration similar to that of the wings. The anemochory could not be demonstrated in the field observations in the secondary growth experiment. The seeds, when released from their pods, always fall very close to the parent plant, suggesting the requirement of a secondary mode of dispersal. BROWN (1950) described the seeds of *M. oleifera* as globular, almost 1.0 cm in diameter, with three wings from the base to the apex, 2.0–2.5 cm long, and 0.4–0.7 cm wide, similar to the ones observed in the fruits collected in the southeastern region of the state of São Paulo, which were selected and classified as light, medium, and heavy, as described by LORENZI & MATOS (2002).

The selection criteria used in the present study are different from the criteria applied in most works for seed analysis (BRASIL, 1992). Notably, g/1000 sample seeds criterion is used to calculate seeding density. The weight information adopted in this work does not refer directly to seed size. The size and weight of a seed are linked to a number of factors that influence the chances of survival and establishment of a new plant, therefore demonstrating a close correlation between vigor and germination capacity (SEDIYAMA, 1991). Seed size alone does not influence the germination since germination depends on other factors such as seed viability and environmental conditions. However, according to DELOUCHE (1980), certain species that have low seed production capacity would have some discernible relationship between their germination capacity and size.

The effects of seed size and weight on a seed and the developing plant have been studied extensively. However, we did not observe a relationship between the characteristics studied in *M. oleifera* seeds and their germination capacity or developmental potential. In a study by ALVES et al. (2005), with seed size and different populations of *Mimosa caesalpinifolia* Benth. (Fabaceae), a significant difference was observed in germination speed among populations when investigating germination and vigor trends. In *Artocarpus heterophyllus* Lam. (Moraceae) seeds, SILVA et al. (2010) investigated the influence of seed size on germination and seedling vigor and did not observe any relationship between seed size and emergence rate, which is similar to the results observed in the present study.

Variations in seed size and weight are influenced directly by ecophysiological and abiotic factors from regional weather conditions, as reported by FONTENELE et al. (2007) following a study on the biometric features of *Desmanthus virgatus* (L) Willd. Therefore, tests for determining organic matter become essential in the determination of the reserves of *M. oleifera* seeds, considering that ashes are inorganic residue after the calcination of organic matter. Ash content can be used to determine the richness of mineral elements in a sample

(MORETTO, 2008). Based on the results of the comparisons among treatments, the weights of the seeds varied among the groups. However, the concentrations of water and relative organic matter do not vary. Therefore, different seed sizes have different water and total organic matter weights, based on the genetic capacity of the plants to produce and sustain the seeds to maturity, in addition to environmental conditions. However, seed size did not influence germination. According to FONTENELE et al. (2007), in *Desmanthus virgatus* (L) Willd individuals native to Sergipe, abiotic factors influenced seed water volume.

FARIA et al. (2012) reported that low germination and GSI values indicate dormancy of newly harvested seeds. In the *M. oleifera* seeds, (Tab. 1), a similarity was noted between GSI and germination percentage. According to SILVA & VIEIRA (2006), the GSI test considers that lots from which seeds germinate faster are more vigorous, so that there is a direct relationship between germination speed and seed vigor. Therefore, seed size did not influence seed vigor in *M. oleifera* in the present study, and seed size did not influence organic matter concentration, since the organic matter concentration data were relatively constant.

Germination occurred between six and eight days after the beginning of the experiment, regardless of seed size. The values are low compared to the speed of emergence in other Bignoniaceae members, such as *Tabebuia* Gomes ex DC. (REYES et al., 2010), but similar to the speed of emergence in other species in the genus *Jacaranda* Juss. such as *Jacaranda mimosifolia* D.Don (SOCOLOWSKI & TAKAKI, 2004) and *Jacaranda decurrens* Cham. (SANGALLI et al., 2004).

The results indicate that the *M. oleifera* seeds exhibited very similar germination speeds regardless of the treatments with no significant differences. The seeds classified as M displayed a much shorter time to the FGC in treatments where temperature and humidity were controlled (T3 and T4), regardless of hydration for 24 h, a result that is consistent with the

finding of NAVARRO et al. (2015), which showed the effect of temperature on seed germination, with values between 67 and 71%. Therefore, temperature is the major factor influencing germination percentage and plant emergence.

The deposition of seeds on the surface or under the soil did not interfere with seed germination, which indicated that photoblastism, that is, the influence of light, was potentially not a factor influencing *M. oleifera* germination. The different sowing depths and treatments with and without water immersion, did not result in significant differences in germination among the three seed weight classes, which is similar to the results obtained in *Peltophorum dubium* seedlings (PEREZ et al., 1999). Therefore, seed treatment and depth are not factors that could influence *M. oleifera* cultivation. Considering the results of the germination tests performed in general, the species characteristics are very favorable to its propagation and potentially to its establishment, since it does not require light for germination and it germinates at high rates, producing seedlings capable of developing rapidly without relying on embryo reserves. Such characteristics are typical of fast-growing species called heliophiles (GOGOSZ et al., 2015), which explains the considerable ecological plasticity observed in the species during the early stages of development.

In the present study, the position of the hilum did not influence *M. oleifera* germination, which is inconsistent with the finding of GUEDES et al. (2010) on *Amburana cearensis* (Allemão) A.C. Smith, which had higher dry matter content when seeds germinated with the hila facing upward. Conversely, no significant differences were observed in the dry mass of *Peltophorum dubium* (Spreng) Taubert seedlings sown at different depths (PEREZ et al., 1999), which was also observed in the *M. oleifera* seedlings, indicating that both seed position and sowing depth did not significantly influence biomass formation in *M. oleifera*.

The inhibition of seed germination and initial seedling growth, and the physiological effects caused by allelopathic interactions are secondary responses to primary effects that

occur during plant metabolism (PEDROL et al., 2006). The indirect effects that can be observed include interference with plant productivity in agroecosystems and local biodiversity, through shifts in plant succession, structure and composition of plant communities, and dominance by certain plant species (RIZVI, 1992; BORELLA et al., 2010). Therefore, determining initial plant growth trends is important for understanding the ecology and evolutionary history of a species.

The samples investigated showed a typical primary growth pattern, with slow growth in the first 90 days, followed by exponential growth. Primary growth refers to seedling growth in the first six months, according to GARWOOD (1995). MAGALHÃES (1985) describes plant growth as an initially slow sigmoid curve, being rapid and stabilizing when the plant reaches maturity, which is similar to what was observed in *M. oleifera* in the very early stages. The slow growth in the first stage of development could be associated with the utilization of seed reserves and the beginning of nutrient removal from the substrate and photosynthesis. Each new leaf that is formed facilitates greater light interception, and since there is no mutual shading yet, the few leaves have typically similar contributions, as it occurred in the first 90 days with the leaves forming at the apex of the seedling (personal observation). The leaves gradually become self-shading, increasing the leaf area index (LAI) and moving to a linear growth phase after ninety days. This developmental process was similar to the one described by BENINCASA (2004) for *Tabebuia aurea* Benth. & Hook., which also led to the conclusion that leaf growth provides a plant growth variable. OTTO et al. (2013), when studying *Eucalyptus* L'Hér., concluded that obtaining data on the plant photosynthetic capacity is an important tool for models based on processes that require physiological information to predict the growth. According to LUCCHESI (1987), an annual plant under appropriate ecological conditions exhibits, at different stages, different growth phases, which are affected naturally by external factors (phenology) and those inherent to the

plant. Thus, such trends could be justified by the adaptability of the seedlings. In the first 60 days, their roots are still fixed in the substrate and depend more on their reserves than on the nutrients available in the environment. After the first two months, the seedlings, which are already adapted to the environment, begin to look for available nutrients and water to facilitate their development.

The *M. oleifera* individuals exhibited developmental behavior similar that observed in their original habitats during secondary growth. According to MAYER et al. (1993), the species adapts well to climatic conditions of both semi-arid and sub-humid climate under altitudes below 2000 m, a minimum rainfall of 600–700 mm, optimum temperatures between 24 and 30°C, and well-drained soils. According to an edaphic study by the same authors, the species did not have specific requirements in terms of soil type other than the inability to develop in waterlogged soils. DUKE (1987) studied the growth trends of *M. oleifera* in its original habitat to determine its growth based on increase in size, weight, or volume, and described it as a fast-growing species. The results confirm that the climatic conditions under which the *M. oleifera* individuals were tested were suitable for their development, and that the weights of the seeds, as well as the imbibition, temperature, and sowing positions and orientations of the seeds did not influence the germination of the seeds and the development of the plants.

6.7 ACKNOWLEDGMENTS

We would like to acknowledge the IFMT - Federal Institute of Education, Science and Technology of Mato Grosso and UNISINOS - University of the Vale do Rio dos Sinos for their support in the development of the project and Dr. Maria Salete Marchioretto, Dr. Tiago Closs de March, and Dr. Patrícia N. Silva for their contributions to the final version of the

manuscript. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico Tecnológico (CNPq; research grant nos 308996/2017-8).

6.8 REFERENCES

- ALVES, E.U.; BRUNO, R.L.A.; OLIVEIRA, A.P.; ALVES A.U.; PAULA R.C. Influência do tamanho e da procedência de sementes de *Mimosa caesalpinifolia* Benth. sobre a germinação e vigor. **Revista Árvore**, 29: 877-885, 2005.
- AMAYA, D.R.; KERR, W.E.; GODOI, H.T.; OLIVEIRA, A.L.; SILVA, F.R. Moringa: hortaliça arbórea rica em beta-caroteno. **Horticultura Brasileira**, 10 (2): pp.126. 1992.
- ANWAR, F.; ASHRAF, M.; BHANGER, M.I. Interprovenance variation in the composition of *Moringa oleifera* oil seeds from Pakistan. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, 82: 45–51, 2005.
- ANWAR, F.; BHANGER, M.I. Analytical characterization of *Moringa oleifera* seed oil grown in temperate regions of Pakistan. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 51: 6558–6563, 2003.
- FAROOQ, A.; LATIF, S.; ASHRAF, M.; GILANI, A.H. *Moringa oleifera*: A food plant with multiple medicinal uses. **Phytotherapy Research**, 21: 17–25, 2007.
- BARROSO, G.M.; MORIM, M.P., PEIXOTO, A.L.; ICHASO, C.L.F. Frutos e sementes: morfologia aplicada à sistemática de dicotiledôneas. Viçosa, UFV. 1999.
- BENICASA, M.M.P. Análise de Crescimento de Plantas (noções básicas). Jaboticabal, FUNEP. 2004.

- BEZERRA, A.M.E.; MOMENTÉ, V.G.; FILHO, S.M. Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) em função do peso da semente e do tipo de substrato. **Horticultura Brasileira**, 22 (2): 295-299, 2004.
- BIDWELL, R.G.S. **Plant physiology**. New York, Mcmillan. 1979.
- BORELLA, J.; TUR, C.M.; PASTORINI, L.H. Atividade alelopática de extratos aquosos de folhas de *Rollinia sylvatica* sobre a germinação e crescimento inicial do rabanete. **Revista Biociências**, 16 (2): 94-101, 2010.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Regras para análise de sementes. Brasília, SNDA/DNDV/CLAV, p.365. 1992.
- BROWN, W.H. Uraful phís of the PNIpphes. Manilla: Bureau of Sciences, Philippines. v.2, N.10, 1950 CTechnicd Bulletin.
- CARDOSO, K.C.; BERGAMASCO, R.; COSSICH, E.S.; MORAES, L.C.K. Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da *Moringa oleifera* Lam. **Acta Scientiarum. Technology**, 30 (2): 193-198, 2008.
- CHAVES, M.M.F. **Descrição morfológica de sementes, de plântulas e de mudas de 10 espécies arbóreas pioneiras, na microrregião de Viçosa, MG**. 1994. MSc Thesis, Universidade Federal de Viçosa, Brasil.
- COSTA, E.; LEAL, P.A.M.; REGO, N.H.; BENATTI, J. Desenvolvimento inicial de mudas de jatobazeiro do Cerrado em Aquidauana - MS. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 33 (1): 215-226, 2015.
- DELOUCHE, J. Environmental effects on seed development and seed quality. **HortScience**, 15 (6): 775-780, 1980.

- D'SOUZA, J.; KULKARNI, A.R. Comparative studies on nutritive values of tender foliage of seedlings and mature plants of *Moringa oleifera* Lam. **Journal of Economic and Taxonomic botany**, 17: 479–485, 1993.
- DUKE, J.A. Moringaceae: Horseradish-tree, Drumsticktree, Sohnja, Moringa, Murunga-kai, Mulungay. In: BENGE, M.D. (Ed.) **Moringa a Multipurpose Tree that Purifies Water**, Boston, Science and Technology for Environment and Natural Resources, pág.19-28, 1987.
- DUKE, J. A. The quest of tolerant germplasm. In: Young, G. **Crop tolerance to subtropical land conditions**. Madison. American Society Agronomical Special Symposium, v. 32, p. 1-16, 1978.
- EDIBAP. Estudo de desenvolvimento integrado da bacia do Alto Paraguai. Relatório da 1a Fase, Superintendência do Desenvolvimento da Região Centro Oeste (SUDECO), Ministério do Interior, Brasília, Brazil, in cooperation with the Organization of American States (OAS), in 4 volumes. 1979.
- FARIA, R.Q.; TEIXEIRA, I.R.; DEVILLA, I.A.; ASCHERI, D.P.R.; RESENDE, O. Cinética de secagem de sementes de crambe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 16 (5): 573-583, 2012.
- FIGLIOLIA, M.B.; OLIVEIRA, E.C.; PIÑA-RODRIGUES, F.C.M. **Análise de sementes**. In: Aguiar IB, Piña-Rodrigues FCM, Figliolia MB. Sementes florestais tropicais. Brasília, ABRATES, p.137-174. 1993.

- FOIDL, N.; MAYORGA, L.; VÁSQUEZ, W. **Utilización del marango (*Moringa oleifera*) como forraje fresco para ganado.** En: SÁNCHEZ, M.D.; ROSALES, M. (Eds.). Agroforestería para la alimentación animal en Latinoamérica. Estudio FAO, Producción y Sanidad Animal. 1999.
- FOIDL, N.; MAKKAR, H.P.S.; BECKER, K. **The potential of *Moringa oleifera* for agricultural and industrial uses.** In: What development potential for Moringa products? Dar Es Salaam. 2001.
- FONTENELE, A.C.F.; ARAGÃO, W.M.; RANGEL, J.H.A. Biometria de Frutos e Sementes de *Desmanthus virgatus* (L) Willd Nativas de Sergipe. **Revista Brasileira de Biociências**, 5 (1): 252-254, 2007.
- GARWOOD, N.C. **Functional morphology of tropical tree seedlings.** In: SWAINE, M.D.; ALEXANDER, I.J.; HADLEY, M. (eds.). The ecology of tropical forest tree seedlings. Paris, UNESCO and Carnforth. 1995.
- GOGOSZ, A.M.; BOEGER, M.R.T.; COSMO, N.L.; NOGUEIRA, A.C. Morfologia de diásporos e plântulas de espécies arbóreas da floresta com araucária, no sul do Brasil. **Floresta**, 45 (4): 819-832, 2015.
- GUEDES, R.S.; ALVES, E.U.; GONÇALVES, E.P.; VIANA, J.S.; MOURA, M.F.; COSTA, E.G. Emergência e vigor de plântulas de *Amburana cearensis* (Allemão) A.C. Smith em função da posição e da profundidade de semeadura. **Semina: Ciências Agrárias**, 31 (4): 843-850, 2010.

- HOLDRIDGE, L.R. 1982. **Ecologia basada en zonas de vida**. San José, IICA. 216 p.
- KALOGO, Y.; M'BASSINGUIÈ, S.A.; VERSTRAETE, W. Enhancing the start-up of a UASB reactor treating domestic wastewater by adding a water extract of *Moringa oleifera* seeds. **Applied Microbiology Biotechnology**, 55: 644-651, 2001.
- LEMOES, R.C.; SANTOS, R.D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 2.ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; Embrapa-SNLCS, 1984. 46p
- LINA, L.M.; COSTA, R.S.; MÔRO, F.V.; SILVA, R.C. Morfologia de frutos e sementes e morfofunção de plântulas de Moringa (*Moringa oleifera* Lam.). **Comunicata Scientiae**, 1(2): 156-160, 2010.
- LORENZI, H.; MATOS, F.J. Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas cultivadas. Nova Odessa, Instituto Plantarum. 2002.
- LUCCHESI, A.A. Utilização prática da análise quantitativa do crescimento vegetal. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 42: 401-428, 1987.
- MAGALHÃES, A.C.N. **Análise quantitativa do crescimento**. In: FERRI MG. (ed.) Fisiologia vegetal. São Paulo, EPU. p. 363- 50. 1985.
- MAGUIRE, J.D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, 2 (2): 176-177, 1962.
- MARCOS FILHO, J.; CICERO, S.M.; SILVA, W.R. Avaliação da qualidade das sementes. Piracicaba, FEALQ. 1987.
- MAYER, A.M.; POLJAKOFF-MAYBER, A. **The germination of seeds**. 4th. edn. Great Britain, Pergamon Press. 1993.

- MORETTO, E. **Introdução à Ciência de Alimentação**. 2ª Ed. Ampliada e Revisada. Florianópolis, Editora UFSC. 2008.
- NAVARRO, M.; CÍCERO, S.M.; GOMES-JÚNIOR, F.G. Determinação da germinação temperatura de *Moringa oleifera* sementes com apoio de testes de vigor. **Jornal Cubano de Ciências Agrícolas**, 49 (4): 509-514, 2015.
- NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, S.K. Influence of operating parameters on turbidity removal by coagulation with *Moringa oleifera* seeds. **Environmental Technology**, 17: 1103-1112, 1996.
- OKUDA, T.; BAES, A.U.; NISHIJIMA, W.; OKADA, M. Isolation and characterization of coagulant extracted from *Moringa oleifera* seed by salt solution. **Water Research**, 35 (2): 405-410, 2001.
- OLSEN, A.L. Technology water purification by bentonite clay and *Moringa oleifera* seeds flocculation as performed in Sudanese villages: effect on *Schistosoma mansoni* cercarie. **Water Research**, 21: 517-522, 1987.
- OTTO, M.S.G.; VERGANI, A.R.; GONÇALVES, A.N.; VRECHI, A.; SILVA, A.R.; STAPE J.L. Fotossíntese, condutância estomática e produtividade de clones de *Eucalyptus* sob diferentes condições edafoclimáticas. **Revista Árvore**, 37 (3): 431-439, 2013
- PALADA, M.C.; CHANGL, L.C. Suggested Cultural Practices for Moringa. International Cooperators' Guide AVRDC. AVRDC pub # 03-545: 1-5. 2003.
- PEDROL, N.; GONZÁLEZ, L.; REIGOSA, M.J. **Allelopathy and Abiotic Stress**. In: REIGOSA, M.J.; PEDROL, N.; GONZÁLEZ, L. (eds.). *Allelopathy: a physiological process with ecological implications*. Dordrecht, Springer. p.171-209. 2006.

- PEEL, M.C.; FINLAYSON, B.L.; MCMAHON, T.A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, 11: 1633-1644, 2007.
- PEREIRA, K.T.O.; SANTOS, B.R.V.; BENEDITO, C.P.; LOPES, E.G.; AQUINO, G.S.M. Germinação e vigor de sementes de *Moringa oleifera* lam. em diferentes substratos e temperaturas. *Revista Caatinga* 28 (2): 92 – 99, 2015.
- PEREZ, S.C.J.G.A.; FANTI, S.C.; CASALI, C.A. Influência do armazenamento, substrato, envelhecimento precoce e profundidade de semeadura na germinação de canafístula. **Bragantia**, 58 (1): 57-68, 1999.
- PEEL, M.C.; FINLAYSON, B.L.; MCMAHON, T.A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, 11: 1633-1644, 2007.
- PIO CORRÊA, M. **Dicionário das Plantas Úteis do Brasil e das Exóticas Cultivadas**. Rio de Janeiro: MA/IBDF 5: 233-234. 1984.
- RAMOS, A.C.S.; ZICKEL, C.S.; PIMENTEL, R.M.M. Fenologia da floração e frutificação de espécies do sub-bosque em um fragmento urbano de Floresta Atlântica do Nordeste – Brasil. **Revista de Geografia**, Recife, v. 23, p. 80-90, 2006.
- REYES-SÁNCHEZ, N.; SPÖRNDLY, E.; LEDIN, I. Effect of feeding different levels of foliage of *Moringa oleifera* to creole dairy cows on intake, digestibility, milk production and composition. **Livestock Science**, 1001: 24-31, 2006,
- RIZVI, S.J.H.; HAQUE, H.; SINGH, V.K.; RIZVI, V. **A discipline called allelopathy**. In: RIZVI, S.J.H.; RIZVI, V. (eds.). *Allelopathy: basic and applied aspects*. London, Chapman & Hall. p.1-10. 1992.

- SÁNCHEZ, N.R. *Moringa oleifera* and *Cratylia argentea*: Potential Fooder Species for Ruminants in Nicaragua. PhD Thesis, Swedish, University of Agricultural Sciences, Uppsala, Suécia. 2006.
- SANGALLI, A.; SCALON, S.P.Q.; VIEIRA, M.C. Cor, temperatura e pré-embebição na germinação de sementes de carobinha (*Jacaranda decurrens* subsp. *symmetrifoliolata* Farias & Proença) Bignoniaceae. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, 7: 79-85, 2004.
- SEDIYAMA, M.A.N. Influência da origem e do tamanho da semente na germinação de mandioquinha-salsa (*Arracaci xanthorrhiza* Banc.). **Revista Brasileira de Sementes**, 13 (2):127-129, 1991.
- SENGUPTA, A.; GUPTA, M.P. Studies on the seed fat composition of Moringaceae family. **Fette, Seifen, Anstrichm**, 72: 6–10. 1970.
- SILVA, A.R.; KERR, E.W. Moringa uma nova alternativa para o Brasil. Fortaleza: UFC DIRIU. 1999.
- SILVA, J.B.; VIEIRA, R.D. Avaliação do potencial fisiológico de sementes de beterraba. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 2, p. 128-134, 2006.
- SILVA, J.P.V.; SERRA, T.M.; GOSSMANN, M.; WOLF, C.R.; MENEGHETTI, M.R.; MENEGHETTI, S.M.P. Moringa oleifera oil: Studies of characterization and biodiesel production. **Biomass and Bioenergy**, v. 34, 1527-1530, 2010,
- SOCOLOWSKI, F.; TAKAKI, M. Germination of *Jacaranda mimosifolia* (D. Don - Bignoniaceae) seeds: Effects of light, temperature and water stress. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 47 (5): 785-792, 2004.

SOUSA, A.H.; RIBEIRO, M.C.C.; MENDES, V.H.C.; MARACAJÁ, P.B.; COSTA, D.M.

Profundidades e posições de semeadura na emergência e no desenvolvimento de plântulas de moringa. **Revista Caatinga**, 20 (4): 56-60, 2007.

TORRES, S.B.; MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado em sementes de maxixe (*Cucumis anguria* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, 23 (2): 108-112, 2001.

Supplementary Material

Figure S1 shows the distribution of the seeds according to weight and the bands that classifies them as light (red band), medium (white band) and heavy (blue band). The distribution of the weight of the seeds follows what is expected of a normal distribution.

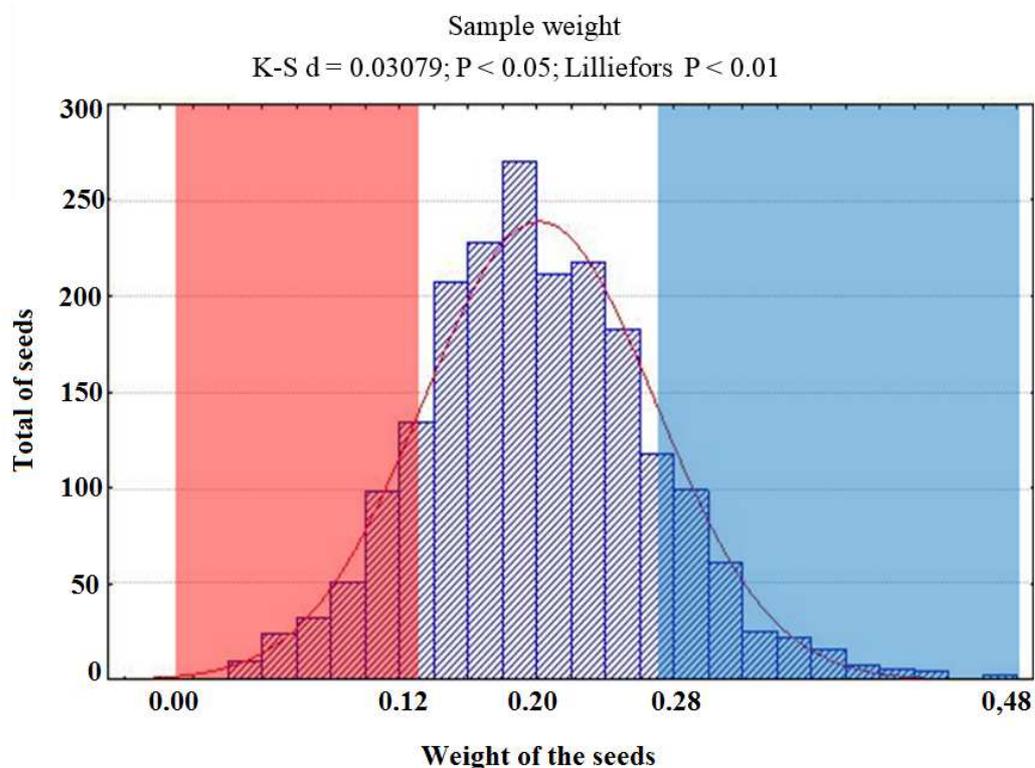


Figure S1. Distribution and frequencies of classes of fresh weight for seed classification. The Lilliefors statistical test proved the null hypothesis that the cumulative distribution function F_x is equal to a hypothesis distribution function, $S(x)$.

7. CAPÍTULO 2

Fenologia de *Moringa oleifera* em uma área de plantio na região centro-oeste do Brasil

7.1. Resumo

A fenologia estuda o comportamento dos eventos biológicos vegetativos e reprodutivos das plantas os estudos sobre fenologia e síndromes de dispersão contribuem para a compreensão da regeneração e reprodução das plantas. A *Moringa oleifera* Lam., trata-se de uma planta de múltiplo uso. Quase todas as partes da moringa são ditas como sendo de valor alimentar. Suas sementes possuem importância industrial e na purificação de água. Este estudo descreve os padrões fenológicos e relaciona-os a fatores abióticos (pluviosidade, temperatura e fotoperíodo) e bióticos (frequência de polinizadores) de *Moringa Oleifera*. O estudo foi realizado em uma área impactada pela ação humana na qual a vegetação nativa foi retirada no município de Cuiabá-MT. Foram realizadas observações quinzenais das fenofases durante 24 meses. Os fenômenos fenológicos foram avaliados durante os dois anos de estudo. Encontrou-se uma correlação positiva e significativa dessa fenofase com o fotoperíodo, a pluviosidade e temperaturas médias. *M. oleifera* caracteriza-se como uma espécie semidecídua com floração durante o ano todo e duas colheitas ao ano nos meses de setembro e dezembro.

Palavras-chave – Clima, Fenofases, Acácia, Sazonalidade.

7.2 Abstract

Phenology studies the behavior of vegetative and reproductive biological events of the plants. Studies on phenology and dispersal syndromes contribute to the understanding of plant regeneration and reproduction. The *Moringa oleifera* Lam., is a multipurpose plant. Almost all parts of the moringa has food value, their seeds have importance to the industry and in water purification process. This study describes the phenological patterns and relating them to *Moringa Oleifera's* abiotic (rainfall, temperature and photoperiod) and biotic (pollinator frequency) factors. The study was conducted in an area impacted by human action in which native vegetation was removed in the city of Cuiabá-MT. Fortnightly observations of the phenophases were made during 24 months. Phenological phenomena were evaluated during the two years of study. It was found a positive and significant correlation of this phenophase with photoperiod, rainfall and average temperatures. *M. oleifera* is characterized as a semideciduous species with year-round flowering and two year harvests in the months of September and December.

Key words – Climate, Phenophases, Acacia, Seasonality.

7.3. Introdução

A fenologia refere-se ao comportamento dos eventos biológicos vegetativos e reprodutivos das plantas, tais como brotamento, queda foliar, formações de botões, flores e frutos e sua relação com mudanças no ambiente biótico e abiótico (Morellato *et al.* 1990). Estudos sobre fenologia e síndromes de dispersão contribuem para a compreensão da regeneração e reprodução das plantas, distribuição temporal dos recursos dentro das comunidades e das interações planta-animal, além do entendimento da dinâmica e renovação dos ecossistemas (Lieth 1974, Bullock & Solis-Magallanes 1990, Newstrom *et al.* 1994). Além disso, a fenologia permite a caracterização da duração das fases do desenvolvimento em relação ao clima, especialmente às variações estacionais, além de ser utilizada para interpretar como as diferentes regiões climáticas interagem com a cultura, importante quando há a introdução de uma planta não nativa (Terra *et al.* 1998).

Em florestas tropicais sazonalmente secas, a época de ocorrência dessas fenofases ocorre, geralmente, durante a estação chuvosa (Opler *et al.* 1976; Bach 2002; McLaren & McDonald 2005), uma vez que a precipitação favorece o desenvolvimento da planta, que necessita de água para poder desenvolver suas estruturas vegetativas e reprodutivas. No entanto, independentemente da estação chuvosa, as plantas podem capturar água do subsolo ou podem usar água previamente armazenada nos seus próprios tecidos para desencadear as fenofases (Borchert 1994a; Frederic *et al.* 2005; Elliott *et al.* 2006).

Apesar de a precipitação ser o principal fator regulador do comportamento fenológico das plantas, existe uma grande diversidade de padrões fenológicos e fisiológicos nas florestas tropicais secas (Frankie *et al.* 1974; Bullock & Solís-Magallanes 1990; Justiniano & Fredericksen 2000). Algumas espécies lenhosas podem desencadear suas atividades reprodutivas e vegetativas independentemente da ocorrência sazonal da precipitação (Jolly *et al.* 2004; Otieno *et al.* 2005; Elliott *et al.* 2006; Williams *et al.* 2008). Este fato tem levado pesquisadores a investigar quais fatores ambientais e mecanismos fisiológicos e morfológicos estão relacionados a este comportamento (Borchert 1994a, b, c; Rivera & Borchert 2001; Rivera *et al.* 2002).

Moringa oleifera (Lamarck) (Moringaceae), conhecida como Lírio Branco ou Acácia-Branca (Rangel 2009; Amaglo *et al.* 2010; Passo *et al.* 2012) é a espécie perene mais conhecida dentre as quatorze espécies do gênero. A espécie é nativa do norte da Índia, alcança aproximadamente 10 metros de altura, tem crescimento rápido, produz frutos do tipo vagem, de coloração verde a marrom-esverdeado que se abrem longitudinalmente em três partes

quando seco, com cerca de 20 a 24 sementes aladas que contém aproximadamente 40% de óleo em seu peso. Suas folhas são longo-pecioladas, bipinadas, com folíolos obovais (Bezerra *et al.* 2004). Sua distribuição alcançou a Europa, Estados Unidos e grande parte da Ásia, até que chegou ao Brasil, a cerca de 40 anos no sertão nordestino e difundiu-se pelo país (Oliveira *et al.* 2013).

A planta apresenta valor alimentar (folhas, frutos verdes, flores e sementes torradas), forrageiro (folhas, frutos e sementes), medicinal (todas as partes da planta), condimentar (principalmente as raízes), culinário e na indústria cosmética (óleo extraído das sementes), melífero (flores), combustível (madeira e óleo) e no tratamento de água para consumo humano (cotilédones e tegumento das sementes) (Castigo, sd). Pelas propriedades floculantes e coagulantes, a moringa é utilizada em diversos países como método natural, eficiente e econômico de purificação de água. Além disso, pode ser utilizada na alimentação, devido ao seu valor proteico, na indústria de cosméticos, devido ao alto teor de óleo e como combate à diversas doenças. (Colombo 2012). Todas estas aplicações fizeram com que ao longo dos milhares de anos a espécie fosse levada para vários países (Fahey 2005), uma vez que além destes usos, a moringa também é utilizada para criação de cercas, quebra-ventos e desempenha um papel fundamental do ponto de vista ambiental (Castigo, sd).

Segundo Newstron *et al.* (1994) a fenologia das plantas, que diz respeito ao período e à duração de eventos como a floração, a frutificação e a emissão foliar, é pouco conhecida para muitas espécies de florestas tropicais úmidas, embora nestes ecossistemas ocorra a maior diversidade de padrões fenológicos, se considerarmos o número de espécie de angiospermas, conhecidas, versus a quantidade de espécies estudadas.

O conhecimento da fenologia das plantas, nas diferentes condições edafoclimáticas de diversas regiões, está ligado aos fatores ambientais, pois são estes que geralmente determinam os fenômenos biológicos. Por meio da fenologia, podem-se estudar as causas e as manifestações fisionômicas dos fenômenos de floração, frutificação, queda de folhas e brotação das plantas (Hojo *et al.* 2007). Informações como florescimento, frutificação e padrão de crescimento durante o desenvolvimento do fruto, são necessárias para definir manejos fitossanitários, hídricos e nutricionais, procedimentos de colheita, técnicas de manuseio e conservação pós-colheita, assim como para definir índices de maturação e qualidade.

Segundo Berilli *et al.* (2007), o estudo da taxa de crescimento dos frutos tem grande importância para o conhecimento das diferentes fases fenológicas envolvidas em seu desenvolvimento, como a época de maior ganho de massa ou a época de início da maturação

para definir os períodos de colheitas. A partir de estudos dessa natureza, podem revelar-se períodos críticos em seus desenvolvimentos que possibilitem a produção dos mesmos com alta qualidade, satisfazendo, assim, os consumidores mais exigentes.

Além disso, a fenologia permite a caracterização da duração das fases do desenvolvimento em relação ao clima, especialmente às variações estacionais, além de ser utilizada para interpretar como as diferentes regiões climáticas interagem com a cultura, importante quando há a introdução de uma planta não nativa (Terra *et al.* 1998).

A observação fenológica, obtida de forma sistemática, reúne informações sobre o estabelecimento de espécies, o período de crescimento, o período de reprodução e a disponibilidade de recursos alimentares (Morellato & Leitão-Filho 1992), que podem estar associados a mudanças na qualidade e à abundância de recursos, como luz e água (Morellato 2013).

A partir do monitoramento fenológico da moringa na região Centro-oeste do país os objetivos desse estudo foram: a) compreender a fenologia vegetativa e reprodutiva de *Moringa oleifera* em área de plantio e b) identificar quais as variáveis abióticas influenciaram a fenologia da espécie.

Espera-se que a estacionalidade climática da região reflita no comportamento sazonal dos eventos vegetativos e na manifestação bianual da floração e da frutificação.

7.4. Material e Métodos.

7.4.1. Área de estudo

Os estudos foram conduzidos no Estado do Mato Grosso, município de Cuiabá (15°34'44.14" S e 56°03'38.05" W), em área do campus Bela Vista do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Estado de Mato Grosso – IFMT. O clima da região de acordo com a classificação climática de Köppen é Aw, quente úmido com estação seca pronunciada (Camargo 1963). A estação seca ocorre de junho a setembro, durante o inverno e a estação chuvosa de outubro a maio, que compreende parte do verão. A temperatura média anual é de 27,15°C e a precipitação média anual é de 131,62 mm (Fig. 1). O fotoperíodo no inverno média anual de 1112:59 horas, no verão de 13:03:20 horas, ou seja, clima quente úmido com estação seca pronunciada no inverno. Pelo sistema de Holdridge (1982) a região é classificada como “tropical subárida”.

A área destinada ao plantio foi classificada como Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico de textura franco arenosa. Apresentava cobertura caracterizada como Cerrado e a vegetação foi retirada em 2008, utilizando motosserra para corte das árvores e roçadeira para arbustos e gramíneas, em uma área de 1.930 m². Terreno com ligeiro declínio ao norte 219 metros e ao sul 216 metros.

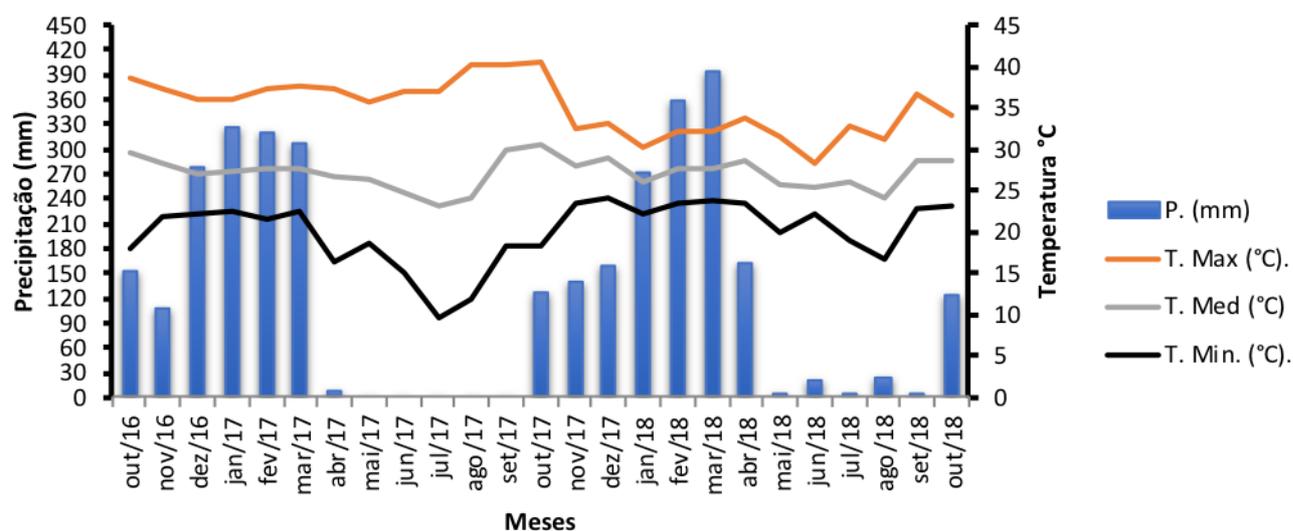


Figura 1. Variação de temperatura e intensidade pluviométrica no período de estudo em Cuiabá – MT. Com médias anuais de temperatura máxima de 35,15° C e mínima de 20,06° C e precipitação total acumulada de outubro de 2016 a outubro de 2018 de 3.290,60 mm. Fonte dos dados. Date and time.

Para o período de outubro de 2016 a outubro de 2018, a temperatura média foi de 27,1 °C e a precipitação anual de 1.351,50 mm. O período de dezembro a março pode ser considerado como o mais chuvoso com índices de precipitação média de 295,60 mm, sendo os maiores valores registrados nos meses Janeiro/2017 (327,00 mm fevereiro/2018 (359,30 mm) e março/2018 (393,10 mm). O período caracterizado pelos menores índices de precipitação mensal compreende os meses de maio/2017 a junho/2017 com 00 mm julho/2018 (1,20 mm) e agosto/2018 (22,50 mm). Os meses de maio e setembro representam uma situação intermediária, podendo o primeiro ser considerado como uma transição para a época menos chuvosa e o último para a época mais chuvosa.

O período de temperaturas mais elevadas praticamente coincide com o período mais chuvoso e ocorre entre os meses de setembro a março, sendo o pico médio (41,9 °C)

observado em outubro/2017. Nos meses de maio a agosto a temperatura tende a ser mais baixa, sendo registrada a menor média do período no mês de julho/2017 (9,6 °C).

7.4.2. Delineamento amostral

As observações dos eventos fenológicos foram realizadas no período de outubro/2016 e outubro/2018, no campo experimental no município de Cuiabá-MT. Uma população de cento e doze indivíduos foi marcada com placas de plástico numeradas na orientação sul/norte de 1 a 112. Neste trabalho, o termo população é utilizado com o sentido de amostra populacional, uma vez que a área estudada foi uma área de plantio, com espaçamento entre as árvores de estudo de 4 metros por 5 metros. As plantas apresentavam 18 meses, todas frutificando, no início dos estudos fenológicos.

A área foi dividida em sub-parcelas, sendo denominados de parcela norte 1 (N1), parcela norte2 (N2), parcela central (C), parcela Sul (S) e parcela leste (L). Para a análise do solo de cada parcela foram coletadas 05 subamostras para compor uma amostra geral. As amostras foram coletadas a 20 cm do horizonte do solo utilizando-se uma sonda de 40 cm. A análise da fertilidade e textura do solo, indicou os seguintes valores: pH (em água)= 5,4; MO= 21,49 (g dm⁻³); P(Mehlich I)= 1,09 mg dm⁻³; K=2,30 mmol dm⁻³; Ca= 7,60 mmol dm⁻³; Mg= 2,40 mmol dm⁻³; Al= 1,50 mmol dm⁻³; V%= 20,45 e textura média (500 g kg⁻¹ de argila, 120 g kg⁻¹ de silte e 380 g kg⁻¹ de areia).

7.4.3. Monitoramento da fenologia

As observações dos eventos fenológicos foram realizadas quinzenalmente por um período de 24 meses entre o período de outubro de 2016 a outubro de 2018. Foram observadas as seguintes fenofases: folhas (folhas jovens, folhas maduras e queda), floração (botões florais, flores abertas) e; frutificação (frutos jovens e frutos maduros)

O percentual de intensidade adotado foi o método proposto por Fournier (1974). Este método de análise permite verificar o comportamento fenológico da população amostrada, o período da manifestação fenológica em seu início, auge e declínio sensu Fournier (1974). Os valores obtidos em campo por meio de uma escala intervalar semiquantitativa de cinco categorias (0 a 4) e intervalo de 25% entre cada categoria, permitem estimar a porcentagem de intensidade da fenofase em cada planta. A cada quinze dias, faz-se a observação do percentual de folhas (folhas jovens, folhas maduras e queda), floração (botões florais, flores abertas) e;

frutificação (frutos jovens e frutos maduros) e a soma dos valores de intensidade obtidos para todos os indivíduos e divide-se pelo valor máximo possível (número de indivíduos multiplicado por quatro). O valor obtido, que corresponde a uma proporção, é então multiplicado por 100, para transformá-lo em um valor percentual (Bencke & Morellato 2002).

A escala foi: (i) 0 = ausência da fenofase, (ii): 1-25% = porcentagem da fenofase no indivíduo; (iii): 26-50% = porcentagem da fenofase no indivíduo; (iv): 51-75% = porcentagem da fenofase no indivíduo; e (v): 76-100% = porcentagem da fenofase no indivíduo.

7.4.4. Análise estatística

Para a caracterização dos fenômenos fenológicos de *M. oleifera*, foram utilizados o Índice de Intensidade (II) de Fournier (1974) e o Índice de Atividade (IA). No primeiro índice, utilizou-se uma escala semiquantitativa com números de 0 a 4, sendo que cada número corresponde a um intervalo de 25% (por exemplo, 0 = 0%, 1 = 1-25%, etc). Durante a coleta de dados, um número entre 0 e 4 foi atribuído para cada indivíduo, e então uma média para a população foi obtida e transformada em porcentagem. O IA é um índice qualitativo que correspondente à razão entre o número de indivíduos encontrados em determinada fenofase em relação ao número total da população estudada (Bencke & Morellato 2002). Para comparar a intensidade das fases seca e chuva foi utilizado o teste t. A comparação entre o clima e os fenômenos fenológicos foi utilizado a estatística circular (StatSoft, Inc. 2007; ZAR 2010). As atividades fenológicas foram calculadas através LMV – (Comprimento do vetor médio) e representados através de histogramas circulares da frequência mensal.

7.5 Resultados

7.5.1 Fenologia.

A temperatura, a pluviosidade e o fotoperíodo variaram consideravelmente ao longo dos anos estudados (Figura 1). Todos os indivíduos estudados floresceram, frutificaram e apresentaram variações de formação foliar durante o período de estudo. Considerando os períodos de seca e chuva as folhas apresentaram maior queda no período de seca e formação de folhas jovens e maduras no período de chuva (Tabela 1). A queda das folhas, folhas maduras, e folhas jovens diferem significativamente na seca e na chuva, enquanto os demais eventos fenológicos não apresentaram diferenças estatísticas significativas (Material Suplementar. Figuras S1, S2 e S3).

Tabela 1. Diferenças quanto a queda das folhas, período da seca e formação de novas folhas nos períodos de chuva e seco.

	Média Chuva	Média Seco	t-value	df	P	Std.Dev.	Std.Dev.
Botão Floral	35,89	27,22	1,12765	44	0,2655	25,86	26,21
Antese	35,94	23,11	1,92080	44	0,0612	23,68	21,63
Fruto Jovem	34,78	22,00	1,87490	44	0,0674	24,71	21,52
Fruto Maduro	35,42	31,77	0,66043	44	0,5124	18,88	18,64
Queda	13,56	44,34	-7,41349	44	<0,00001*	2,59	19,29
Folha Madura	72,17	29,39	9,32169	44	<0,00001*	6,44	20,61
Folha Jovem	68,84	30,39	10,23720	44	<0,00001*	8,53	15,59

Utilizou-se a estatística circular (Batalha & Martins 2004, Rossatto *et al.* 2008) para determinar a ocorrência dos picos de atividade e intensidade e se os mesmos foram significativos. A estatística circular estima um ano de cada vez, assim os testes estatísticos foram separados em 2016 e 2017. A hipótese nula da estatística circular é que os dados se distribuem de modo uniforme ao longo do ano, contudo, os resultados apresentaram P significativo, portanto, a hipótese nula foi rejeitada e aceitamos que a distribuição não é uniforme, havendo, portanto, clara sazonalidade nos fenômenos fenológicos. A Tabela 2 apresenta P significativo e o vetor r (LMV – Length of Mean Vector) demonstrando a maior concentração de atividade fenológica nos meses de agosto, na fenofase de queda de folhas.

A Figura 2 mostra os histogramas circulares da frequência mensal (média de dois anos de observações) expressa em porcentagens em cada fenofase.

Tabela 2. Atividade fenológica de *M. oleífera* entre 2016 e 2017.

2016	MV	MG	LMV(r)	C	CV	CSD	Rayleigh Test (Z)	Rayleigh (P)
Folha Jovem	6,21°	janeiro	0,274	0,57	0,7	92,219°	94,999	P<0,0001
Folha Madura	8,599°	janeiro	0,316	0,67	0,7	86,981°	124,841	P<0,0001
Queda	213,394°	agosto	0,439	0,98	0,6	73,494°	144,321	P<0,0001
Botão Floral	310,398°	novembro	0,228	0,47	0,8	98,541°	35,88	P<0,0001
Antese	320,092°	novembro	0,209	0,43	0,8	101,321°	31,084	P<0,0001
Fruto Jovem	333,508°	dezembro	0,215	0,44	0,8	100,512°	31,885	P<0,0001
Fruto Maduro	323,4°	novembro	0,151	0,31	0,8	111,47°	19,257	P<0,0001
2017								
Folha Jovem	13,082°	janeiro	0,261	0,54	0,7	93,977°	79,193	P<0,0001
Folha Madura	30,508°	fevereiro	0,327	0,69	0,7	85,618°	130,261	P<0,0001
Queda	219,34°	agosto	0,475	1,08	0,5	69,889°	161,479	P<0,0001
Botão Floral	287,885°	outubro	0,203	0,41	0,8	102,358°	31,654	P<0,0001
Antese	340,54°	dezembro	0,169	0,34	0,8	108,078°	19,173	P<0,0001
Fruto Jovem	351,679°	dezembro	0,151	0,31	0,8	111,462°	15,517	P<0,0001
Fruto Maduro	237,736°	agosto	0,081	0,16	0,9	128,421°	5,843	P=0,003

Legenda: MV= Grupo Médio; LMV= Comprimento Médio do Vetor (r); C= Concentração; CV= Variação Circular; CSD= Desvio Padrão Circular.

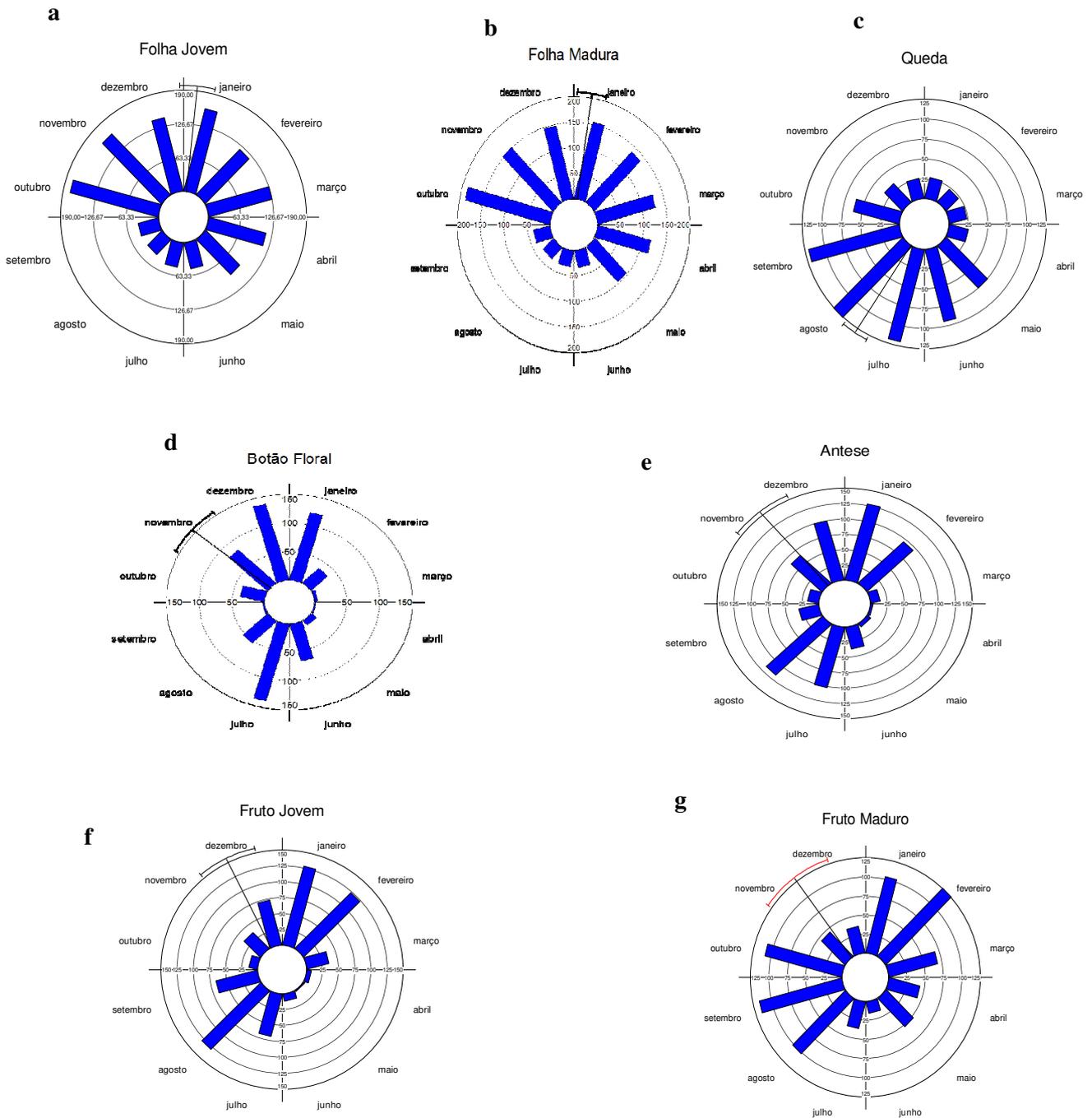


Figura 2. Histogramas circulares da frequência mensal (média de dois anos de observações) expressa em porcentagens em cada fenofase. **a.** folha jovem; **b.** folha madura; **c.** queda foliar; **d.** botão floral; **e.** antese; **f.** fruto jovem; **g.** fruto maduro. A linha de coloração preta representa o comprimento do vetor r marcando o ângulo médio.

A *Moringa oleifera* apresentou maior brotamento foliar durante o período chuvoso, entre os meses de outubro a março de 2016, com intensidades superiores a 40% e com o pico de produção no mês de outubro/2016 com intensidade próxima a 90%. A menor intensidade de renovação foliar ocorreu durante a estação seca, com intensidades inferiores a 30%. Os indivíduos não ficaram totalmente desprovidos de folhas em nenhum mês durante o período de observação, mesmo no período seco. (Fig.2). Esta fenofase correlacionou-se significativa e positivamente com o fotoperíodo, com a pluviosidade e com a temperatura. (Tab. 2)

A maior intensidade de queda foliar da *Moringa oleifera* ocorreu durante o período seco, com os indivíduos perdendo mais de 30% das suas folhas. O pico de queda foliar ocorreu em julho/2017 (64,19%) e agosto/2017 (63,96%). Essa espécie pode ser considerada semidecidual, por ter apresentado mais de 50% de queda das folhas durante o período de baixa pluviosidade do ano.

7.5.2. Fenologia reprodutiva

A *M. oleifera* apresentou grande produção de flores coincidindo com dois períodos de transição, da estação chuvosa para seca e da estação seca para chuvosa. (Fig. 2d). O pico de formação de botões florais na primeira floração ocorreu nos meses de julho e agosto/2016 (72,07%) e na segunda floração de dezembro e janeiro 2017 (72,75%) (Fig. 2d). A ausência de botões florais foi observada apenas em três períodos, na primeira quinzena de abril/2016, na segunda quinzena de setembro/2016 e na primeira de outubro/2017. A antese ocorreu nos meses de junho a agosto, período seco e de janeiro a fevereiro, período chuvoso. (Fig. 2e), a sincronia de produção de botões florais e antese a *M. oleifera* não ficou em nenhum mês do período de observação com ausência total destes dois tributos florais (Fig. 2d).

A primeira formação dos frutos teve seu início no mês de junho/2017 com o pico de frutos jovens no mês de agosto/2017 (66,67%), período de baixa pluviosidade e segunda formação com início em dezembro/2017 e atingiu o pico de produção no mês de janeiro/2018 com (64,66%), no período chuvoso (Fig. 2f). Os frutos maduros apresentaram o pico de produção nos meses de fevereiro/2017 (66,67%) e setembro/2017 (64,86%), período de alta e baixa pluviosidade, respectivamente. Durante todo o período de observação encontrou-se frutos maduros nas plantas e considerou-se o período ideal para a colheita os meses de fevereiro e setembro por apresentar pico em produção de frutos maduros (Tabela 3). A

ocorrência de duas florações no ano e posteriormente de frutos demonstra que a planta possui padrão sub-anual, de duração intermediária.

Tabela 3 – Dinâmica dos tributos florais e frutos durante o período de um ano.

Atributos	1a	1b	2a	2b	3a	3b	4a	4b	5a	5b	6a	6b
Botão floral	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+
Antese	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+
Frutos jovens	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+
Frutos maduros	+	+	+	+ ^a	+	+	+	+	+	+	+	+

Atributos	7a	7b	8a	8b	9a	9b	10a	10b	11a	11b	12a	12b
Botão floral	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+
Antese	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+
Frutos jovens	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+
Frutos maduros	+	+	+	+	+ ^a	+	+	+	+	+	+	+

- = Ausência de tributos, + = presença de tributos e +^a = período ideal para a colheita. O número representa o respectivo mês do ano e a letra a quinzena (a = primeira quinzena do mês, b = segunda quinzena do mês).

7.6. Discussão

O comportamento fenológico das fenofases vegetativas de *Moringa oleifera* demonstra como a estacionalidade climática da região influenciou a mudança foliar na espécie estudada. A renovação foliar foi regulada pelo aumento do fotoperíodo, da pluviosidade e da temperatura, havendo clara sazonalidade dos fenômenos fenológicos e da variação climática. Segundo Van Schaik *et al.* (1993), a produtividade das plantas é potencialmente limitada por conjunto de fatores abióticos: água, luz, gás carbônico e minerais. Por isto pode haver máxima produção em determinado período, evitando a emissão de folhas novas durante estações desfavoráveis. A espécie estudada pode ser beneficiada pela maior disponibilidade de nutrientes no solo e pela maior quantidade de luz neste período, pois, segundo Morellato (1992), possivelmente com o aumento da temperatura e da pluviosidade a partir de outubro, há

aumento na decomposição da serrapilheira e como este processo disponibiliza os nutrientes para a vegetação, é provável que as espécies vegetais iniciem suas atividades vegetativa e reprodutiva nesta época.

O período de floração pode servir como mecanismo de isolamento na especiação de plantas, e a competição por polinizadores pode atuar como força seletiva, estabelecendo e mantendo a divergência sobre o período de floração de espécies vegetais simpátricas (Gentry 1974; Stiles 1975; Campbell 1985; Gottsberger 1986; Newstrom *et al.* 1994). O fato da maior produção de flores na *Moringa oleifera* ocorrer antes e no término da estação primavera, momento de maior oferta de néctar aos visitantes, sugere um mecanismo para reduzir a competição interespecífica pelos polinizadores. A interpretação adaptativa é o compartilhamento de polinizadores, isto é, a competição interespecífica pelos polinizadores funciona como força seletiva que causa segregação temporal no período de floração, segundo Brandão, (2010) Na Índia *M. oleifera* floresce o ano todo produzindo néctar e pólen para os visitantes o ano todo e o mel obtido a partir de suas flores é considerado medicinal. Corroborando com os resultados obtidos nesse estudo que a planta floresceu o ano todo ofertando alimento aos visitantes no período que há escassez de alimentos para os visitantes florais.

O extenso período de frutificação da planta *M. oleifera* pode ser explicado pelas hipóteses de Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger (1983) e Oliveira & Moreira (1992). Os autores postularam que a estratégia de frutificação longas estaria relacionada com mecanismos de dispersão e Oliveira (1991) acrescentou que, geralmente, o período de desenvolvimento de frutos é decorrente de um ajustamento entre a fenologia de florescimento e o período de dispersão e suas restrições ambientais. Segundo Santos (2004) agricultores que utilizam espécies frutíferas em seus sistemas agrofloretais podem obter um rendimento financeiro mais significativo por apresentar frutos durante todo o ano que podem ser utilizados para diferentes fins, como por exemplo: alimento humano, forração animal, uso medicinal. Ademais, a interação com os animais pode ser uma alternativa de renda extra ao agricultor, considerado a presença de frutos durante todo o ano dispensaria a necessidade de colheita para estoque. Por fim, sendo a planta em estudo exótica e desconhecemos seus dispersores, podemos considerar a hipótese de Oliveira (1991) plausível, pois, manteve-se com inflorescência com flores e/ou botões durante todo o período de 2016 a 2018 ano de estudo.

7.7. Conclusão.

Moringa oleifera é uma planta exótica pertencente à família *Moringaceae*, de origem indiana que vem sendo utilizada para fins agrônomo, medicinal, industrial, alimento e na decantação de águas barrentas no Brasil.

O clima, na área de estudo e os padrões fenológicos foram constantes nos dois anos de estudo, repetindo os padrões fenológicos de sua origem. Os resultados observados demonstram que indivíduos da espécie tendem a manifestarem as fenofases vegetativas e reprodutivas de maneira semelhante quando o clima se mantém sem anomalias interanuais.

A maior produção foliar ficou disponível para a sua utilização medicinal, alimentação e forração animal na estação chuvosa, e a floração ao longo de todo o ano manteve-se disponível aos visitantes fornecendo recursos necessários para as suas atividades e a frutificação contínua garante a colheita para usos econômicos (ou outros usos) e para a fauna local.

Considerando que a planta apresenta muitos aspectos econômicos atrativos, apresenta grande potencial de colonização na região equatorial, entende-se que mais estudos são necessários para esclarecer o comportamento de *M. oleifera*, bem como, o grau de competição com as plantas nativas.

7.8. Referências bibliográficas

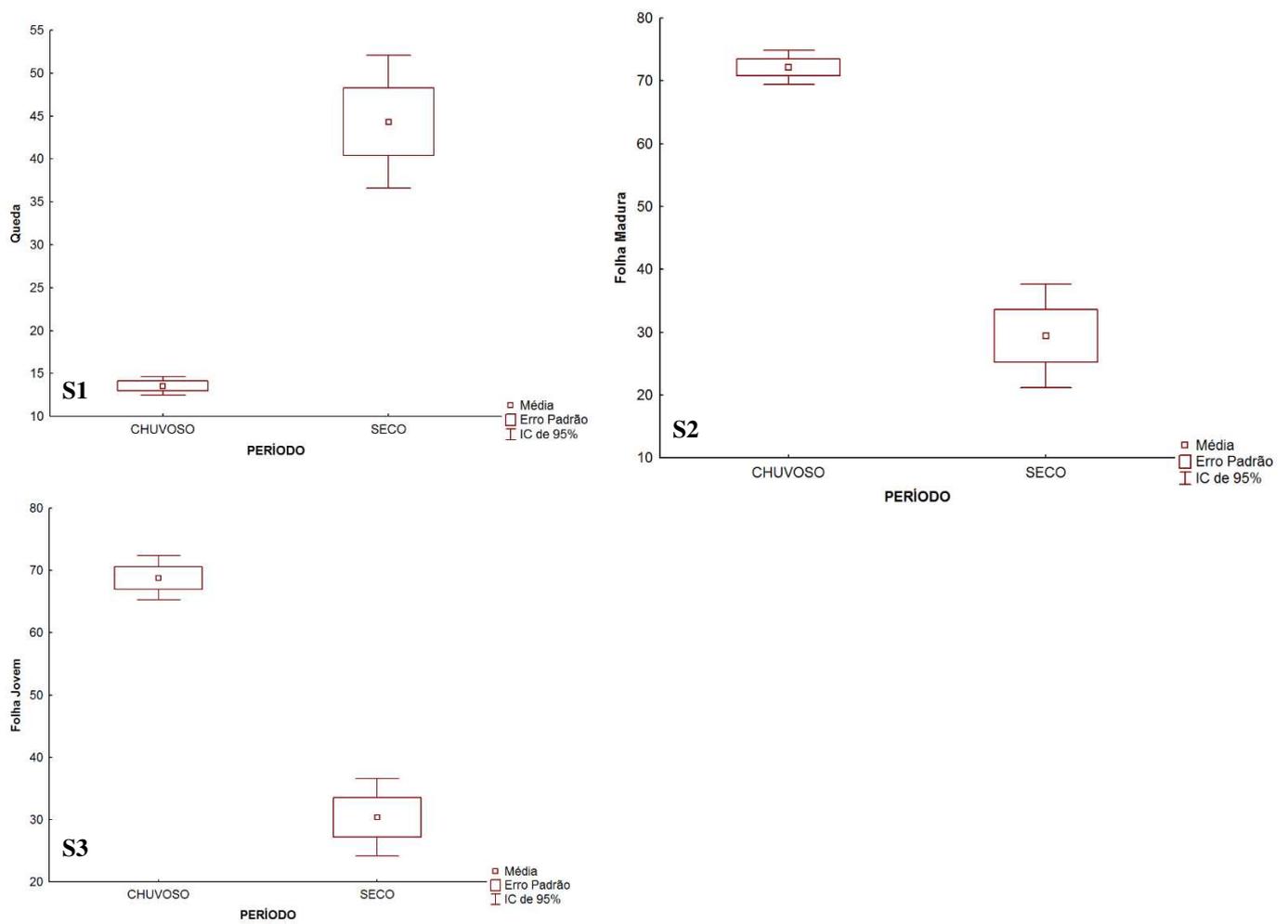
- Amaglo, N.K.; Bennett, R.N.; Curto, R.B.; Rosa, E.A.S.; Turco, V.; Giuffrida, A.; Curto, A.; Crea, F.; Timpo, G.M. 2010 Profiling selected phytochemicals and nutrients in different tissues of the multipurpose tree *Moringa oleifera* L., grown in Ghana. *Food Chemistry*, v. 122, p. 1047-1054.
- Batalha, M.A. & Martins, F.R. 2004. Reproductive phenology of the cerrado plant community in Emas National Park (central Brazil). *Australian Journal of Botany*, 52: 149-161.
- Bencke C.S.C, Morellato L.P.C., 2002. Comparação de dois métodos de avaliação da fenologia de plantas, sua interpretação e representação. *Revista Brasileira de Botânica* 25:269-275.

- Berilli, S.S.; Oliveira, J.G.; Marinho, A. B.; Lyra, G.B.; Sousa, E.F.; Viana, A.A.P.; Bernardo, S.; Pereira, M.G. 2007. Avaliação da taxa de crescimento de frutos de mamão (*Carica papaya* L.) em função das épocas do ano e graus-dias acumulados. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal, v.29, n.1, p.11-14.
- Bezerra AME, Momenté VG, Medeiros Filho S. 2004. Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) em função do peso da semente e do tipo de substrato. Horticultura Brasileira, v.22, n.2, p.295-299.
- Brandão, C. Moringa oleifera. A verdadeira carne verde. 2010. Disponível em: <http://www.sempresustentavel.com.br/terrena/Moringa_oleifera/moringa-oleifera.htm>. Acesso 10 agosto 2016.
- Carlton JT, Ruiz GM. 2005. Vector science and integrated vector management in bioinvasion ecology: conceptual frameworks, pp 36–58. In: Mooney, H.A.; Mack, R.N.; McNeely, J.A.; Neville, L.E.; Schei, P.J. & Waage, J.K. (orgs.). Invasive alien species: a new synthesis. Island Press, Washington DC.
- Castigo, P. Aplicação da multifuncionalidade da Moringa oleifera na gestão integrada dos recursos naturais. CDS-Recursos Naturais. Chimoio, sd.
- Colombo, M. Moringa Oleifera. 2012. Disponível em: <http://www.granjaparaiso.com.br/index.php?l=Plantas_Supervitaminadas&op=Moringa_Oleifera> Acesso em: 24 mar. 2017.
- Endereço dateandtime.inf/pt/citysurisesunset.php?id=346
- Fahey, J. W. 2005. Moringa oleifera: A review of the medical evidence for its nutritional, therapeutic and prophylactic properties. Trees for Life Journal, [S.I.], v.1, p.5.
- Fournier LA. 1974 Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas em árboles. Turrialba 24:422-423
- Grandisoli EAC. 1997. Biología reproductiva e estrutura da população de *Psychotria suterella* Muell. Arg. (Rubiaceae) em um fragmento de mata secundária em São Paulo (SP). Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/0D/abb/v14n3/5178.pdf>>. Acesso em: 18 jul. 2016.

- Grantsau, R. 1989. *Os beija-flores do Brasil*. Expressão e Cultura, Rio de Janeiro.
- Hojo, R.H.; Chalfun, N.N.J.; Hojo, E.T.D.; Souza, H.A.; Paglis, C.M.; São José, A.R. 2007. Caracterização fenológica da goiabeira 'Pedro Sato' sob diferentes épocas de poda. *Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal*, v.29, n.1, p.20-24.
- MMA 2006. Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Espécies exóticas invasoras: situação brasileira / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas. – Brasília: MMA, 2006. ISBN 85-7738-019-X. Disponível em:
<http://www.mma.gov.br/estruturas/174/_publicacao/174_publicacao1709200911340.pdf>. Acesso em: 18 maio. 2017.
- Morellato, L. P. C. et al. 2016. Linking plant phenology to conservation biology. *Biological Conservation*, v. 195, p. 60-72.
- Morellato, L. P. C.; Camargo, M. G. G.; Gressler, E. 2013 A review of plant phenology in South and Central America. In: *Phenology: An Integrative Environmental Science*. Springer Netherlands, p. 91-113.
- Morellato, L.P.C. & Leitão-Filho, H.F. 1992. *Estratégias fenológicas de espécies arbóreas em floresta mesófila na Serra do Japí, Jundiá – SP*. *Rev. Bras. Biol.*, 50:163-173
- Nachtigall, G.R. 2011 O Projeto Inovamaçã. In: Nachtigall, G.R., ed. *Inovações tecnológicas para o setor da maçã: INOVAMAÇÃ*. Bento Gonçalves, Embrapa Uva e Vinho, 2011. p.13-22 Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000118&pid=S0100-0683201400050002900018&lng=en>. Acesso em: 18 agosto. 2017.
- Newstrom, L.E., Frankie, G.W. and Baker, H.G., 1994. A new classification for plant phenology based on flowering patterns in lowland tropical rain-forest trees at La Selva, Costa Rica. *Biotropica*, 26(2), 141-159
- Oliveira, C. C. et al. 2015 Functional groups of woody species in semi-arid regions at low latitudes. *Austral Ecology*, v. 40, n. 1, p. 40-49.

- Oliveira, F. de A. de; Oliveira, M. K. T. de; Silva, R. C. P. da; Silva, O. M. dos P. da; Maia, P. de M. E.; Cândido, W. dos S. 2013. Crescimento de mudas de moringa em função da salinidade da água e da posição das sementes nos frutos. *Revista Árvore*, v.37, p.79-87. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622013000100009>
- Oliveira, P. E. & Moreira, A. G., 1992, Anemocoria em espécies de cerrado e mata galeria de Brasília, DF. *Revista Brasileira de Botânica*, 5: 163-174
- Passos, R. M.; Santos, D. M. C.; Santos, B. S.; Souza, D. C. L.; Santos, J. A. B.; Silva, G. F. 2012 Qualidade pós-colheita da moringa (*moringa oleifera lam*) utilizada na forma in natura e seca. São Cristovão: *Revista GEINTEC*, v. 3, n. 1, p.113-120.
- Rangel, M. S. 2009 Um purificador natural de água e um complemento alimentar para o nordeste do Brasil. Tabuleiros Costeiros, Aracajú, SE. Disponível em: <<http://www.jardimdeflores.com.br>>. Acesso em: abril. 2017
- Rossatto, D.R.; Hoffmann, W.A. & Franco, A.C. 2008. Differences in growth patterns between co-occurring forest and savanna trees affect the forest-savanna boundaries. *Functional Ecology*, 23: 689-698.
- Silberbauer-Gottsberger, I. 2001. A hectare of cerrado. II. Flowering and fruiting of thick-stemmed woody species. *Phyton-Annales Rei Botanicae* 41:129-158
- StatSoft, Inc. 2007. STATISTICA (data analysis software system), version 8.0. www.statsoft.com.
- Terra, M.M., Pires, E.J.P., Nogueira, N.A.M. 1998. Tecnologia para produção de uva 'Itália'na região Noroeste do Estado de São Paulo. Campinas: CATI. 51p
- Van Schaik, C.P; Terborgh, J.W. & Wright, S.J. 1993. *The phenology of tropical forests: Adaptive significance and consequences for primary consumers*. *Annual Review of Ecology and Systematics* 24: 353–377
- ZAR, J.H. 2010. *Biostatistical Analysis*. New Jersey: Prentice Hall International.

7.9. Material Suplementar



Figuras S1, S2 e S3 - Para as três diferenças significativas os gráficos no material suplementar: queda S1, folha madura S2 e folha jovem S3.

8. CAPÍTULO 3

Biologia reprodutiva de *Moringa oleifera* Lam.: estudo das relações com os visitantes e o clima

8.1. Resumo

A biologia reprodutiva de *Moringa oleifera* Lam. (Moringaceae) é ainda pouco conhecida no Brasil, principalmente em relação aos seus polinizadores e fenologia. Assim, o objetivo do estudo foi compreender a biologia reprodutiva da *M. oleifera* em área de plantio experimental localizada no município de Cuiabá – MT. Indivíduos foram marcados e acompanhados periodicamente para as observações fenológicas. Flores nas inflorescências foram marcadas e acompanhadas até a formação dos frutos nas avaliações morfológicas. Além disso, os visitantes florais foram observados ao longo do período do experimento, anotando-se frequência, horário e comportamento de suas visitas. *M. oleifera* demonstrou padrão de duas florações no ano, sub-anual, de duração intermediária. Os atributos florais estão relacionados à síndrome da melitofilia. A antese ocorre predominantemente entre às 06 h e 12 h, observando-se a presença de néctar desde a fase de pré-antese. Os visitantes florais que procuraram a *Moringa oleifera* tiveram comportamento semelhantes aos que mantêm com as plantas nativas e em relação ao clima a *M. oleifera* apresentou desenvolvimento semelhante ao da sua origem.

Palavras-Chave: Floração, Néctar, Frutos, Acácia.

8.2 Abstract

The reproductive biology of *Moringa oleifera* Lam. (Moringaceae) is still poorly known in Brazil, especially in relation to its pollinators and phenology. Thus, the objective of this study was to study the reproductive biology of *M. oleifera* in an experimental planting area located in the city of Cuiabá - MT. Individuals were tagged and periodically monitored for phenological observations. Flowers on inflorescences were tagged and monitored until fruit formation in morphological evaluations. In addition, floral visitors were observed throughout the experiment period, noting frequency, time and behavior of their visits. *M. oleifera* demonstrated two flowering pattern during a year, sub-annual, of intermediate duration. Floral attributes are related to melitophilia syndrome. The anthesis occurs predominantly between 06h and 12h, with the presence of nectar since the pre-anthesis phase. Floral visitors, which sought the *Moringa oleifera*, had similar behavior to those with native plants in relation to the climate. The *M. oleifera* presented similar development to its origin.

Key words: Flowering, Nectar, Fruits, Acacia.

8.3. INTRODUÇÃO

A fenologia é uma ciência que envolve o conhecimento dos eventos biológicos vegetativos e reprodutivos das plantas (Morellato *et al.* 1990), que possibilita o entendimento acerca do comportamento de suas comunidades, condição primordial no planejamento de ações que visam a implantação de uma cultura para a agricultura (Mantovani *et al.* 2003; Batalha *et al.* 1997). Os estudos fenológicos podem ser enquadrados dentro de dois tipos de abordagem. A primeira apresenta uma abordagem mais mecanicista, associando os padrões fenológicos de populações e comunidades à variação dos fatores climáticos (Morellato & Leitão-Filho 1990, Foster 1992; Ferraz *et al.* 1999). Já a segunda, de caráter evolutivo, sugere que a ocorrência dos eventos reprodutivos é uma resposta à coevolução das espécies vegetais e seus polinizadores e dispersores, sendo estes os agentes de seleção (Rathcke & Lacey 1985; van Schaik *et al.* 1993; Mahoro 2002).

Alguns autores que trabalharam nas regiões tropicais colocam que o clima, nesta região, tende a ser não-sazonal e a presença constante de polinizadores e dispersores de sementes podem promover um processo mais constante de florescimento e frutificação, ocorrendo múltiplas vezes ao longo do ano (Opler *et al.* 1980; Newstrom *et al.* 1994; Berlim *et al.* 2000). Observa-se, porém, que nas diversas formações florestais no Brasil, os processos fenológicos são comumente sazonais, sendo apontados como indutores de processos de florescimento e/ou frutificação (Borchet 1996; Talora & Morellato 2000).

A polinização é um evento básico para a reprodução vegetal, quando ocorre a recombinação de genes entre as plantas. Para as angiospermas, o mecanismo de polinização ocorre pela disponibilização de pólen pelas anteras e transferência do pólen da antera para o estigma (Faegri & van der Pijl 1980). A maioria das espécies vegetais depende de serviços prestados por polinizadores, resultado de relações mutualísticas e evolutivas, que apontam para a importância das relações bióticas (van Schaik *et al.* 1993; Talora & Morellato 2000). Estes agentes, por sua vez, sofrem variações populacionais e pressões ambientais decorrentes de fatores abióticos, principalmente temperatura e umidade, que têm efeitos diretos sobre suas taxas de atividade (Mikich & Silva 2001). Vale ressaltar que as relações bióticas são de enorme importância para o estabelecimento de padrões fenológicos, especialmente pelo fato dessas interações terem direcionado as espécies vegetais a desenvolverem síndromes de polinização ou dispersão (Silva 2002; Morellato & Leitão-Filho 1992).

Moringa oleifera Lam. é uma espécie de interesse econômico nativa da Índia e atualmente distribuída por diversos países (Pio Côrrea 1984; Duke 1987), sendo introduzida

no Brasil na década de 1980 e adaptando-se muito bem ao clima do semiárido nordestino (Reyes-Sánchez *et al.* 2006; Costa *et al.* 2015). Apesar de *M. oleifera* ser amplamente cultivada em várias regiões do mundo, devido à sua grande capacidade de adaptação às condições subtóxicas de cultivo (Palada & Changl 2003; Morton 1991), existem limitações na disponibilidade de dados científicos acerca de seu plantio (Muhl *et al.* 2013).

Alguns estudos caracterizam determinados aspectos de sua reprodução, como os estádios de maturação das flores, que vão do surgimento dos botões florais ao desenvolvimento dos frutos (Mathew & Rajamony 2004), avaliando também a capacidade de germinação dos grãos de pólen (Muhl *et al.* 2013). Apesar de a indução da floração ser beneficiada pela baixa disponibilidade de água, esta condição reduz a viabilidade dos grãos de pólen e reduz a produção de frutos (Muhl *et al.* 2013). Bhattacharya & Mandal (2004) descreveram as flores de *M. oleifera* crescidas na Índia (seu país de origem), avaliaram a qualidade das flores quanto à capacidade de germinação do pólen, receptividade do estigma e os insetos visitantes de suas flores. Em estudo realizado em Minas Gerais, Brasil, abelhas do gênero *Xylocopa* Latreille, 1802 (Hymenoptera) foram consideradas como os principais polinizadores de *M. oleifera* (Silva & Kerr 1999), já considerado por Bhattacharya & Mandal (2004), como um dos mais efetivos polinizadores da espécie.

Este trabalho teve como objetivo descrever o comportamento reprodutivo de *Moringa oleifera* cultivadas no município de Cuiabá-MT, onde a sazonalidade pluviométrica é bastante pronunciada, analisando possíveis relações a) entre a produção e a fecundidade e b) entre a sazonalidade ambiental e seus polinizadores.

8.4. Material e Métodos

8.4.1. Área de Estudo

O estudo foi desenvolvido em um campo experimental localizado no município de Cuiabá, Mato Grosso, (15°34'44.14" S e 56°03'38.05" O), em área do campus Bela Vista do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Estado de Mato Grosso – IFMT. O clima da região é tropical continental sempre quente, com estação seca bem definida, que ocorre no inverno (junho a setembro). O período chuvoso ocorre no verão, de outubro a maio. Assim, o clima é do tipo Aw na classificação de Köppen (Peel *et al.* 2007), ou seja, clima quente úmido com estação seca pronunciada no inverno.

No período de estudo, de outubro de 2015 a outubro de 2017, a temperatura média foi de 27,15 °C e a precipitação média de 131,62 mm. O período de dezembro a março pode ser considerado como o mais chuvoso e os com menores índices de precipitação mensal

compreende os meses de maio a agosto. Os meses de maio e setembro representam uma situação intermediária, podendo o primeiro ser considerado como uma transição para a época menos chuvosa e o último para a época mais chuvosa. O período de temperaturas mais elevadas praticamente coincide com o período mais chuvoso e ocorre entre os meses de setembro a março, sendo o pico médio (41,9 °C) observado em outubro/2016.

A área de cultivo de *Moringa oleifera* teve seu solo classificado como Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico de textura franco arenosa. O terreno possui um ligeiro declive ao norte 219 metros e ao sul 216 metros. No campo, foram marcados 112 indivíduos de *M. oleifera*, os quais apresentavam em média 1,90 metros de altura e 18 meses de idade, adultos em idade reprodutiva e produzindo múltiplas inflorescências (Fig. 1A).

8.4.2. Morfologia floral

Foram selecionados cinco indivíduos de *Moringa oleifera* para o estudo da antese. Estas plantas foram marcadas com uso de etiquetas plásticas amarradas no ramo. De cada indivíduo foram coletadas duas inflorescências no mês de fevereiro de 2017, de forma aleatória, totalizando dez inflorescências avaliadas. O material fresco foi estudado com o auxílio de um microscópio estereoscópio binocular biótica com dupla iluminação de LED, para descrição das estruturas reprodutoras, análise de fotografias e para as medidas das estruturas florais foram medidas com auxílio de um paquímetro, metodologia descrita por Carvalho, (1980) com as adaptações que se fizeram necessárias. Essas metodologias foram testadas, respectivamente, por Newstrom et al., (1994) em trabalho realizado na Floresta Nacional do Tapajós, no município de Santarém/Pará e Freitas (1996), em pesquisa desenvolvida em uma Floresta de várzea, no município de Afuá/ Pará.

8.4.3. Volume de néctar

Para a avaliação do volume de néctar, 40 flores foram previamente isoladas em sacos de organza de náilon e marcadas com linhas coloridas, no mês fevereiro de 2017. Destas, 20 flores foram analisadas em pré-antese e 20 flores em antese. Na manhã seguinte ao isolamento, a quantidade de néctar foi tomada entre 6 h e 18 h, sendo efetuada com auxílio de microseringas introduzidas na base da corola, método utilizado por Inouye *et al.* (1980). A medida do volume de néctar foi realizada em intervalos regulares de 3 h.

8.4.4. Visitantes Florais

Para as observações sistematizadas dos visitantes florais, foram marcadas dez plantas e oito inflorescências por planta, totalizando 80 inflorescências estudadas. Foram registrados os aspectos referentes ao horário, frequência, duração e comportamento de visita no período da chuva e no período seco, bem como local de contato com pólen e estigma. Para isso, foram realizadas observações durante dez dias, das 6 às 18 h, totalizando 120 horas por observador, um observador para cada planta selecionada, totalizando 1.200 horas de observação no período de 21 a 30 de janeiro/2010 (período de chuva) e de 1.200 horas de observação no período 10 a 19 de julho/2010 (período de seca).

A frequência de visitas consistiu em anotar o número de vezes que os visitantes frequentavam as flores. As aves foram identificadas por meio de fotografias, por comparação, usando-se bibliografia especializada (Grantsau 1989). Os insetos foram coletados com auxílio de rede entomológica e espécimes-testemunho depositados na coleção entomológica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – MT (IFMT).

8.4.5. Fertilização natural

8.4.5.1. Fertilização x Formação de Frutos

Para o teste de formação de frutos foram escolhidas aleatoriamente 50 plantas, e em cada uma das plantas foi marcada uma inflorescência, com uso de barbantes e fita adesiva numeradas (Fig. S1 A-B). Abaixo de cada inflorescência foi instalado um coletor feito de organza de náilon para coleta. As coletas de flores foram feitas diariamente às 18 horas, quando também se fez a observação de início de formação de frutos.

8.4.6. Tratamentos de polinização

Foram selecionadas e previamente marcadas com fitas coloridas 50 inflorescências de forma aleatória. Os tratamentos de polinização estão descritos abaixo e foram determinados a partir de adaptações dos estudos de Bhattacharya & Mandal (2004):

- 1** – 50 flores marcadas com fitas vermelhas para a autopolinização espontânea, onde flores de indivíduos distintos contendo botões florais em pré-antese foram ensacadas com sacos feitos de organza de náilon e não receberam tratamento posterior;
- 2** – 50 flores marcadas com fitas pretas para a polinização cruzada. As flores de indivíduos distintos contendo botões florais em pré-antese foram ensacadas com sacos feitos de organza de náilon e diariamente, sempre às 6 horas observando o

desenvolvimento das flores e após o início da antese foi colocando-se no estigma pólen proveniente de flores de outros indivíduos distantes pelo menos 50 m diariamente, até a alteração da coloração das pétalas.

- 3 – 50 flores marcadas com fitas brancas para a apomixia, no qual botões florais em pré-antese tiveram todas as anteras extraídas, sendo posteriormente ensacados com sacos feitos de organza de náilon e observados diariamente, sempre às 6 horas.
- 4 - Além desses tratamentos foram feitas marcações com fitas amarelas em 50 flores sem cobertura e sem tratamento, para verificar-se o sucesso da polinização em condições naturais (controle), estando as flores expostas à visitação, para estimar-se a eficiência do polinizador.

8.4.7. Frutos

Para a formação e desenvolvimento do fruto foram marcadas e numeradas 10 plantas (Fig. S1 C-D). A distância entre as plantas foi de aproximadamente 15 metros. Em cada uma das plantas foram selecionadas quatro inflorescências da borda da copa e a mais próxima do solo, para facilitar a observação. As inflorescências foram marcadas com fitas numeradas de 1 a 40. Os botões do ápice das inflorescências foram marcados com tinta e acompanhados diariamente, sempre às 6 horas. A partir da antese foi registrado o dia e o procedimento semelhante ao período antes da antese. Para a descrição morfológica e padrão de números de sementes foram coletados 110 frutos de forma aleatória. Do material estudado fresco foi realizado registro fotográfico, o diâmetro dos frutos foi medido com auxílio de paquímetro, o comprimento com escala de metal, e, após as medidas, os frutos foram abertos manualmente e contado do número de sementes.

8.4.8. Análises estatísticas

Os dados de volume de néctar e de visitantes florais foram calculados inicialmente através de uma análise exploratória com posterior utilização do modelo de regressão linear com efeitos mistos (efeitos aleatórios e fixos) (Schall 1991). Esses modelos têm como pressuposto que seus resíduos têm distribuição normal com média 0 e variância σ^2 . Este procedimento foi realizado por meio do software SAS® 9.0, utilizando a PROC MIXED. Para as comparações foi utilizado o pós-teste por contrastes ortogonais. Os dados de fertilização e

formação de frutos foram avaliados pelo coeficiente de correlação de Pearson (r), para quantificar a associação entre duas variáveis quantitativas.

Dados obtidos pelos tratamentos de polinização foram analisados com uso do teste de Qui-quadrado para verificar a associação entre as variáveis categóricas e o modelo de regressão logística simples (Hosmer & Lemeshow 2000), dado que a resposta era binária. O ajuste do modelo foi feito por meio do software Minitab.

8.5. Resultados

8.5.1. Morfologia Floral

As flores individuais de *Moringa oleifera* apresentaram entre de 0,6 e 1 cm de comprimento e 1,6 a 2,5 cm de largura, com cinco pétalas e cinco sépalas brancas de tamanho igual de cor branca na antese e tornam-se amarelada após a fertilização (Material Suplementar, Fig. S2), actinomórfica com simetria bilateral, homoclamídea, corola dialipétala, cálice dialissépala (Fig. 1C). As sépalas brancas, com pontos avermelhados que se formam antes da antese e permanecem em algumas sépalas até a completa abertura da flor (Material Suplementar, Fig. S3). Apresentam-se agrupadas formando inflorescências terminais do tipo cimosa, apresentaram de 8 a 19 cm de comprimento (Fig. 1A-B).

Durante a ontogenia floral, o ovário emerge ao mesmo tempo em que as anteras. A metade basal do ovário é revestida de uma camada densa de tricomas unicelulares longos que formam uma barreira para a parte inferior nectaríferas do hipanto (Material Suplementar, Fig. S4).

O nectário floral da *M. oleifera* ocorre em torno de um longo ginóforo constituído por uma epiderme secretora recoberta por tricomas nectaríferos e parênquima nectarífero vascularizado (Fig. 1D). O androceu é formado por cinco estames isostêmones com filetes 0,7 a 0,8 cm, as anteras são amarelas; dorsifixa e rimosa ou longitudinal, apresentando de três a cinco filamentos de estaminoides (Fig. 1E). Inicialmente as anteras estão voltadas para o centro da flor. Ao aproximarem-se do estigma, os filetes têm uma torção. Três anteras se deslocam sobre o estigma e duas têm uma rotação de 90° (orientação 2/3) (Material Suplementar, Fig. S4). O ovário é formado por um tubo cilíndrico de três a cinco mm de comprimento com estilete fino (0,3 – 0,5 mm), glabro e desprovido de lóbulos no estigma (Fig. 1F).

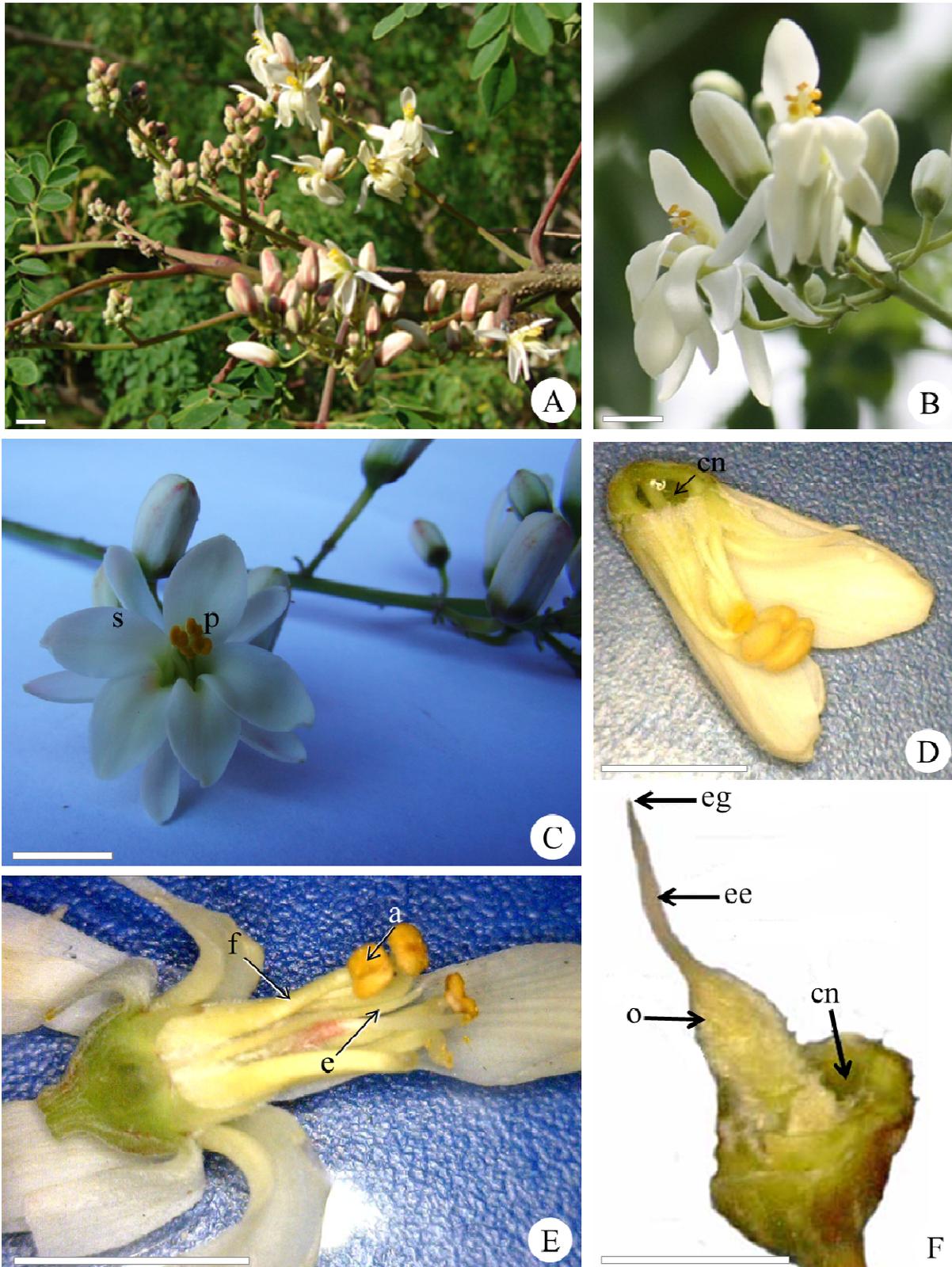


Figura 1. Detalhes da morfologia floral de *Moringa oleifera*. Inflorescências em botão e com flores em antese (A-B); Detalhe de flor actinomorfa, com destaque para pétala (p) e sépala (s) (C); Corte longitudinal de flor, com destaque para a câmara nectarífera (cn) (D); Corte longitudinal de flor para observação das estruturas do androceu, com destaque para o filete (f), antera com fissura longitudinal (a) e estaminoide (e) (E); Órgão reprodutor feminino e câmara nectarífera, com destaque para o estigma (eg), estilete (ee), ovário (o) e câmara nectarífera (cn) (F). Barras de escala de A - E = 1 cm; F = 0,5 cm.

8.5.2. Volume de néctar

Em relação ao volume de néctar, observamos que as flores apresentam néctar do início da antese até a fertilização disponibilizando alimento a todos seus visitantes, polinizadores e pilhadores de néctar. A Tabela 1 apresenta a variação no volume de néctar no período de 12 horas (6 h às 18 h) considerando flores no início e quando em antese.

As flores apresentam disponibilidade de néctar durante todo o período de observação, com o pico as 6 h ($4,75 \pm 1,0$ mm) e as 15 h ($4,25 \pm 0,7$ mm). Flores abertas apresentaram maiores volume as 6 h ($3,20 \pm 0,8$ mm), 15 h ($3,53 \pm 1,0$ mm) e 18 h ($3,39 \pm 1,0$ mm) e os valores da mediana estão próximos à média. Quando comparadas entre si através do modelo de regressão com intervalo de confiança de 95%, a flor no início da antese apresenta maior volume de néctar que as flores em antese, exceto às 18 h que a flor no início da antese apresentou uma média de 3,26 mm e a flor em antese apresentou média de 3,39 mm (Tab. 1).

Tabela 1 – Médias Estimadas do volume de néctar em mm pelo modelo de regressão comparando os horários de observação das flores no início da antese e em antese.

Fase	Horário	Média Estimada	Erro Padrão	Intervalo de confiança 95%	
Antese	6:00	3,20	0,19	2,83	3,57
	9:00	2,90	0,19	2,53	3,27
	12:00	2,07	0,21	1,64	2,49
	15:00	3,53	0,19	3,15	3,90
	18:00	3,39	0,20	3,00	3,78
Início da Antese	6:00	4,75	0,19	4,38	5,12
	9:00	3,20	0,19	2,83	3,57
	12:00	2,11	0,20	1,72	2,50
	15:00	4,25	0,19	3,88	4,62
	18:00	3,26	0,19	2,89	3,64

8.5.3. Visitantes Florais

Ao longo do período de observação as flores de *M. oleifera* foram visitadas por diversos taxa de animais. Foram registradas abelhas dos gêneros *Xylocopa*, *Apis* Linnaeus, 1758, *Trypoxylon* Latreille, 1796 e *Trigona* Sakagami & Moure, 1975 (Hymenoptera). Dentre Lepidoptera, foram observados taxa de seis gêneros: *Agraulis* Boisduval & LeConte, 1835, *Diaethria* Billberg, 1820, *Urbanus* Hübner, 1807, *Danaus* Latreille, 1809 e *Macroglossum*

Scopoli, 1777) e dentre as aves foram registradas duas espécies: *Coereba flaveola* (Linnaeus, 1758) e *Amazilia fimbriata* (Gmelin, 1788) (Tab. 2). As himenópteras são polinizadoras e procuram as flores pelo pólen e néctar enquanto os lepidópteros são pilhadores e procuram as flores pelo néctar. As aves observadas procuram as flores pelo néctar e são pilhadoras e polinizadoras respectivamente.

As abelhas pertencentes à *Xylocopa* apresentaram comportamento de polinizador efetivo visitando as flores durante todo o tempo de observação, nos dois períodos (seca e chuva) com ligeira diminuição no período mais quente com um tempo médio de visitação por flor de 33 s 43 ms. *Apis*, *Tripoxylon* e a *Trigona* também apresentaram comportamento de polinizador efetivo visitando as flores durante todo o tempo de observação, nos dois períodos (seca e chuva). *Apis* foi mais ativo entre 8 h e 10 h e após as 15 h com o tempo médio de visitação por flor de 33 s 33 ms, enquanto *Tripoxylon* e *Trigona* o tempo médio de visitação por flor de 18 s 56 ms e 24 s 59 ms respectivamente. Os himenópteros retiraram das flores da *Moringa oleifera* néctar e pólen

Os lepidópteros são visitantes eventuais, nos períodos de seca e de chuva apresentaram com baixa frequência e com comportamento de pilhadores retiram o néctar com a longa probóscides sem tocar as anteras com o tempo médio de visitação por flor de 20 s 01 ms. Não se registrou a presença do *Macroglossum* no período da seca, durante o período de observação e no período das chuvas o tempo médio de visitação por flor foi de 03 s 01 ms.

Amazilia fimbriata teve comportamento de polinizador eventual com baixa frequência de visitação durante todo o tempo de observação, nos dois períodos (seca e chuva) tornando-se mais ativo ao entardecer com tempo médio de visitação por flor de 04 s 29 ms. *Coereba flaveola* foi visitante eventual e teve comportamento de pilhador, retira o néctar com bico, que, por ser curto, provoca a queda das flores e tocam as anteras com a cabeça. Com baixa taxa de visitação todo o tempo de observação, nos dois períodos (seca e chuva) com o tempo médio de visitação por flor de 09 s 43 ms (Tabela 3).

Tabela 2 – Média por hora de visitas observadas no período de 21 de dezembro a 30 de dezembro (período de chuva) e 21 de junho a 30 de junho (período de seca).

Visitantes			Horário													
Ordem	Gênero	Período	6h00	7h00	8h00	9h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00	
Hymenoptera	<i>Xylocopa</i>	Seca	10,1	11,5	10,7	12,4	9,5	10,6	8,1	10,1	11,3	10,2	11,5	11,8	10,7	
		Chuva	9,8	12,0	12,1	12,4	11,0	8,6	7,0	8,9	11,3	10,2	11,1	11,4	8,3	
	<i>Apis</i>	Seca	6,3	10,7	13,3	16,2	13,5	12,3	10,8	13,7	14,5	18,3	17,9	16,5	13,3	
		Chuva	5,4	8,0	13,3	1,2	13,5	12,3	10,8	9,8	14,5	18,3	17,9	16,5	15,9	
	<i>Trypoxylon</i>	Seca	1,4	2,9	3,2	2,6	2,1	2,4	2,0	1,9	1,7	2,6	2,8	1,6	1,4	
		Chuva	1,9	2,3	3,0	2,2	1,8	2,3	2,0	2,1	2,3	2,4	2,1	1,8	1,6	
	<i>Trigona</i>	Seca	0,6	1,9	1,5	2,7	2,1	1,9	1,7	1,6	2,4	2,7	2,7	3,2	2,3	
		Chuva	9	2,6	2,3	2,4	1,6	1,3	1,1	1,1	1,8	2,3	2,4	2,6	2,9	
	<i>Agraulis</i>	Seca	0,0	0,0	0,2	0,2	0,2	0,0	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,0	0,0	
		Chuva	0,1	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	0,9	0,6	0,9	0,9	1,3	0,9	0,4	
	<i>Diaethria</i>	Seca	0,0	0,0	0,0	0,3	0,4	0,3	0,0	0,1	0,2	0,0	0,3	0,0	0,0	
		Chuva	0,4	0,1	0,6	0,5	1,1	1,0	1,2	1,1	1,2	1,0	1,4	1,1	0,6	
	Lepidoptera	<i>Urbanus</i>	Seca	0,0	0,0	0,0	0,6	0,4	0,0	0,1	0,0	0,1	0,3	0,4	0,0	0,0
			Chuva	0,3	0,6	0,9	0,8	1,2	0,8	0,6	0,7	1,2	1,0	1,5	1,6	0,6
<i>Danaus</i>	Seca	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	0,1	0,2	0,4	0,5	0,1	0,0		
	Chuva	0,0	0,3	0,4	0,5	0,5	0,3	0,1	0,4	0,5	0,6	0,5	0,7	0,0		
<i>Macroglossum</i> spp.	Seca	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
	Chuva	2,5	4,1	3,1	1,0	0,1	0,0	0,0	1,7	0,5	0,9	1,6	5,3	3,4		
Passeriformes	<i>Coereba flaveola</i>	Seca	0,5	0,6	0,6	0,4	0,4	0,0	0,3	0,0	0,3	0,7	1,4	1,0	1,3	
		Chuva	0,7	1,2	0,8	0,9	0,4	0,2	0,3	0,0	0,1	0,5	1,1	0,8	1,5	
Apodiformes	<i>Amazilia fimbriata</i>	Seca	1,1	0,9	0,6	0,3	0,2	0,0	0,0	0,2	0,3	0,3	0,8	1,3	2,4	
		Chuva	1,0	0,7	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,2	0,6	0,5	2,1	

Tabela 3 - Médias estimadas de visitação pelo modelo de regressão comparando o período de chuva e seca para um mesmo visitante.

Visitante	Período	Média Estimada (seg.)	Erro Padrão	Intervalo de confiança 95%	
<i>Xylocopa</i>	Chuva	2,29	0,03	2,22	2,36
	Seca	2,33	0,03	2,26	2,40
<i>Apis</i>	Chuva	2,50	0,03	2,43	2,57
	Seca	2,55	0,03	2,48	2,61
<i>Trypoxylon</i>	Chuva	0,67	0,04	0,60	0,74
	Seca	0,77	0,04	0,70	0,84
<i>Trigona</i>	Chuva	0,62	0,04	0,55	0,69
	Seca	0,76	0,04	0,68	0,83
<i>Agraulis</i>	Chuva	0,18	0,05	0,08	0,28
	Seca	0,01	0,10	-0,19	0,21
<i>Diaethria</i>	Chuva	0,21	0,04	0,13	0,30
	Seca	-0,01	0,10	-0,21	0,18
<i>Urbanus</i>	Chuva	0,09	0,04	0,01	0,17
	Seca	-0,04	0,09	-0,22	0,14
<i>Danaus</i>	Chuva	-0,04	0,06	-0,15	0,07
	Seca	-0,06	0,10	-0,25	0,14
<i>Macroglossum</i>	Chuva	0,78	0,05	0,69	0,86
	Seca	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Coereba</i>	Chuva	0,25	0,05	0,15	0,35
	Seca	0,20	0,05	0,10	0,31
<i>Amazilia</i>	Chuva	0,27	0,06	0,14	0,39
	Seca	0,25	0,05	0,15	0,36

A frequência de visitação comparada por organismo entre o período de chuva e seca apresentou diferenças significativas apenas para *Diaethria* que mostrou maior frequência de visitação no período de chuva e *Trigona* no período de seca (Tab. 4). O *Macroglossum* não aparece na porque não foi registrada sua presença no período de seca durante a observação.

Tabela 4 – Comparações para a variável frequência por organismo entre os dois períodos de observação (chuva e seca).

Comparações	Estimativa Média da diferença	P-valor	Intervalo de Confiança (95%)	
<i>Xylocopa</i>	-0,04	0,42	-0,14	0,06
<i>Apis</i>	-0,05	0,36	-0,14	0,05
<i>Trypoxylon</i>	-0,09	0,06	-0,19	0,00
<i>Trigona</i>	-0,13	0,01*	-0,23	-0,03
<i>Agraulis</i>	0,17	0,13	-0,05	0,39
<i>Diaethria</i>	0,23	0,04*	0,01	0,44
<i>Urbanus</i>	0,13	0,19	-0,07	0,33
<i>Danaus</i>	0,02	0,89	-0,21	0,24
<i>Coereba</i>	0,05	0,52	-0,10	0,19
<i>Amazilia</i>	0,01	0,86	-0,15	0,17

8.5.4. Fertilização x Formação de Frutos

Em média, 34,4% das flores disponíveis foram fertilizadas. Contudo, detectou-se um alto índice de aborto com uma média próximo de 2,6% das flores fertilizadas tornando-se frutos. De maneira geral, os resultados permitem aferir que das plantas observadas 70% das inflorescências formaram apenas um fruto, 20% formaram dois frutos e 10% três frutos (Tabela 5).

Tabela 5 – Descritivas para comparação entre a fertilização das flores, aborto espontâneos e formação de frutos.

Variáveis	N Obs	Média	Intervalo de confiança 95%		Desvio Padrão	Mínimo	Mediana	Máximo
Flores	50	26,3	25,41	27,19	3,12	19	26	33
Flores Fertilizadas	50	17,2	15,86	18,54	4,7	7	17	27
Aborto	50	15,88	14,54	17,22	4,71	6	16	26
Frutos	50	1,4	1,21	1,59	0,67	1	1	3

8.5.5. Tratamentos de polinização

A análise dos resultados dos diferentes tratamentos de polinização evidencia que nem todos os tratamentos responderam com a fertilização e frutificação. O resultado negativo para os tratamentos de apomixia, onde nenhuma flor frutificou sem a presença de grãos de pólen (fertilização), demonstrou que a *M. oleifera* não é uma espécie apomítica, isto é, não possui a agamospermia como uma estratégia reprodutiva.

O resultado positivo para o tratamento de polinização cruzada manual em flores femininas com 56% de formação de frutos demonstrou que esta espécie é dióica, e que suas flores são díclinas. Sua estratégia de polinização é a cruzada, desta forma necessitando de agentes bióticos para o transporte dos seus grãos de pólen. A autopolinização espontânea apresentou 20% de formação de frutos, o que mostra que o pólen pode ser transferido pela gravidade de uma flor a outra em uma mesma inflorescência (Tab. 6).

Os resultados obtidos com os tratamentos de polinização foram comparados entre si, exceto o tratamento para a apomexia por não ter gerado nenhum fruto (Tab. 7).

Tabela 6 – Descritivas para tratamento de polinização (Pz), considerando o grupo controle (PzNat. Ctl), polinização cruzada (PzCruzada), apomexia e a autopolinização (Auto Pz).

Tipo Pz	N Obs	Média	Intervalo de confiança 95%		Desvio Padrão	Mínimo	Mediana	Máximo
Auto Pz	50	0,200	0,085	0,315	0,404	0	0	1
Apomexia*	50	0	0	0	0	0	0	0
PzCruzada	50	0,560	0,418	0,703	0,501	0	1	1
PzNat. ctl	50	0,740	0,614	0,866	0,443	0	1	1

* Nenhum fruto se desenvolveu sem fecundação prévia.

Tabela 71 – Relação entre o número de flores e os tratamentos de polinização, considerando o grupo controle (PzNat. Ctl), polinização cruzada e a autopolinização.

Efeitos	O. R.	Intervalo de confiança 95%		P-valor
Pz cruzada vs autopolinização	5,09	2,09	12,4	<0,01
controle vs autopolinização	11,38	4,46	29,08	<0,01
controle vs Pz cruzada	2,24	0,96	5,2	0,06

O. R.= razão entre a chance de um evento ocorrer em um grupo em comparação a outro grupo.

Os resultados obtidos nos diversos tipos de tratamento de polinização mostram que a polinização natural (grupo controle) apresentou a maior eficiência, sendo o controle aproximadamente onze vezes a chance de produzir frutos em relação à autopolinização. A polinização cruzada tem cinco vezes a chance de produzir frutos em relação à autopolinização e são significativas as diferenças. A comparação entre o tratamento de polinização cruzada e o controle não foi significativo ($P > 0,05$), e, portanto, não há diferença entre esses tratamentos.

8.6.6. Frutos

Após a antese em média sete dias é possível observar os frutículos de cor verde que permanecem até o início da maturação que é quando adquirem a cor marrom esverdeado. Em média cinquenta e oito dias após a formação do frutículo, com vinte e sete dias em média após o início da maturação os frutos estão totalmente marrons, neste período as sementes estão aptas à germinação. O período da colheita se caracteriza com início da fissura, período ideal pela facilidade de abertura dos frutos, que ocorre em média dezessete dias após a maturação (Tab. 8).

Os frutos observados são vagens fibrosas pendulares, possuem uma cor verde quando jovem e marrom quando maduros. De formato triangular, durante o processo de maturação desidrata e apresenta 3 fissuras longitudinais (Material Suplementar, Fig. S5), quando seca abre em três partes e libera as sementes, fruto deiscente.

Os 30 frutos que formam a amostra são vagens pendulares, possuem cor verde quando imatura e durante a maturação de verde a marrom esverdeado até atingir a cor marrom, período indicado para coleta para formação de mudas. A biometria dos frutos tem de 12,0 a 48,0 cm de comprimento com média de 34,37 e 1,3 a 2,1 cm de espessura com a média de 2,21 (Tab. 9).

As vagens apresentaram de 10 a 35 sementes armazenadas em uma polpa branca, com média de 20,38 sementes. As sementes escuras e trialadas, período indicado para coleta dos frutos, podem ser vistas na Figura S7 do material suplementar.

Houve interação significativa entre o comprimento do fruto e o número de sementes, nos frutos observados com coeficiente de determinação de $R^2 = 0,7044$, apresentando intervalo de confiança de 95% e erro padrão de 0,00283 (Fig. 2). Quanto maior o comprimento do fruto no eixo longitudinal maior é o número de sementes. Portanto, os resultados permitem assumir que nos frutos observados o número de sementes está fortemente associado ao comprimento do fruto.

Tabela 8 – Descritivas para determinação do desenvolvimento do fruto a partir da antese até o início da fissura.

Variáveis	N Obs	Média	Intervalo de confiança 95%		Desvio Padrão	Mínimo	Mediana	Máximo
Tempo da Antese à Maturação	32	85,3	84,2	86,4	3,1	81,0	85,0	92,0
Tempo da Antese ao IF	32	102,3	101,5	103,0	2,1	97,0	103,0	106,0
Tempo entre Maturação e IF	32	17,0	15,8	18,1	3,3	9,0	16,5	23,0

IF – Início da fissura no fruto. – Período em dias.

Tabela 9 – Descritivas para determinação da biometria dos frutos e número de sementes.

Variáveis	N Obs	Média	Intervalo de confiança 95%		Desvio Padrão	Mínimo	Mediana	Máximo
Comprimento	110	34,76	331,84	355,69	62,81	239	32,4	501
Diâmetro	110	22,17	21,7	22,64	2,47	18,2	21,5	28,5
Sementes	2221	20,38	19,73	21,02	3,39	10	20	28

N. Obs. Comprimento e diâmetro = Representa o total de frutos. Sementes = Representa o total de sementes encontradas nos frutos.

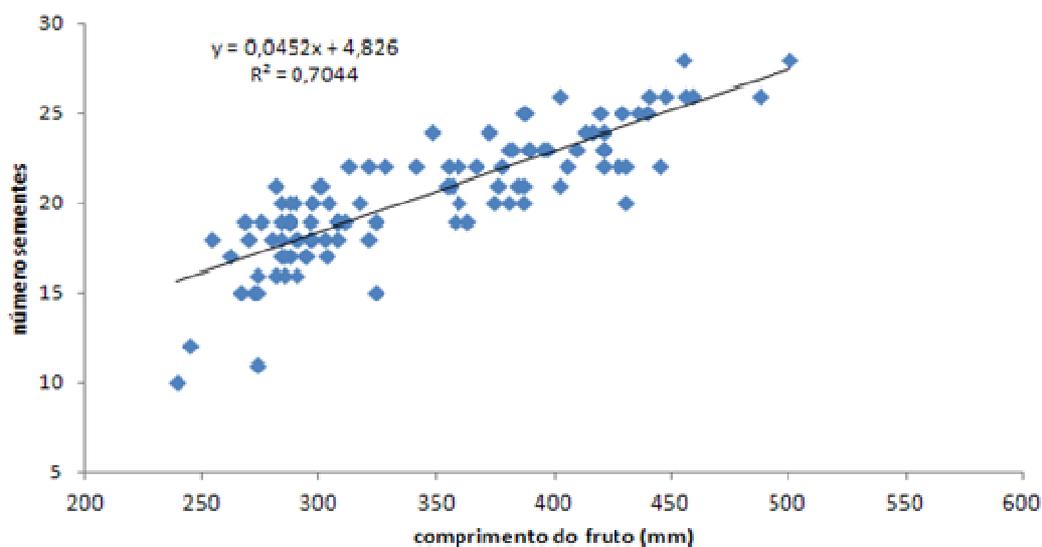


Figura 2. Regressão linear entre o comprimento do fruto e número de sementes.

8.6. Discussão

A frutificação de *Moringa oleífera* começa logo após o início do período de floração e se estende até o início da frutificação seguinte. Na população estudada, observamos que esta espécie ostenta frutos o ano inteiro, quando se considera a fase de frutos verdes e de frutos maduros. No período de maior atividade de floração da espécie observa-se frutos secos que ainda não foram dispersos. A associação dos períodos de floração e frutificação ao período de chuva está de acordo com o descrito por Marques e Oliveira (2004), quando os autores afirmam que nos estudos realizados em Uttaranchal, na Índia, mostrou que a frutificação ocorre durante todo o ano sendo o pico os meses de maio e outubro.

As fenofases de floração e frutificação estão associadas, na região de estudo, ao ciclo das chuvas. Entretanto, *M. oleífera* também apresentou picos de floração no final da estação seca. Segundo Frederic *et al.* (2005) e Elliott *et al.* (2006) o período de precipitação favoreceria o desenvolvimento das estruturas vegetativas e reprodutivas, portanto, tal associação seria esperada. No entanto, independentemente da estação chuvosa, as plantas poderiam capturar água do subsolo ou usar possíveis reservas armazenadas nos seus próprios tecidos para desencadear as fenofases. Portanto, a fenologia das espécies deve ser influenciada pela ação conjunta dos fatores climáticos, associados a características inerentes às espécies (Ferraz *et al.* 1999). Sendo assim, é plausível afirmar que os picos de floração encontrados, um no período da seca e outro das chuvas, é o resultado da influência de fatores bióticos e abióticos, respectivamente. Sendo assim, a produção e o desenvolvimento de botões, flores e frutos devem necessariamente serem influenciados pela temperatura, umidade relativa e o fotoperíodo (Marques & Oliveira 2004), além da plasticidade fenotípica da espécie.

Na área estudada a espécie demonstrou padrão de floração sub-anual de acordo com classificação proposta por Newstrom *et al.* (1994). O fato da *Moringa oleífera* apresentar floração bianual, disponibilizando recursos alimentares durante oito meses do ano as aves nectarívoras e uma grande diversidade de insetos, torna-a uma espécie importante no equilíbrio de um ecossistema. Além disso, a inflorescência apresentou padrão de antese que disponibiliza alimento para os visitantes florais por longo período. Dos 365 dias do ano a *M. oleífera* fica desprovida de flores abertas apenas na segunda quinzena de abril e na segunda quinzena de outubro. Ademais, o processo de floração gradual no qual em uma única inflorescência encontramos botão, flor em antese, flor fertilizada e embrião, o que garantiria fidelidade dos agentes polinizadores.

Nesse sentido, o volume de néctar que *Moringa oleifera* disponibiliza demonstra que a planta é eficiente na oferta para os visitantes a partir da antese. Estes visitantes teriam uma disponibilidade constante no período da manhã com uma redução ao meio do dia, fato que pode ser explicado pela intensidade de visitação no período da manhã, pois, a redução do volume de néctar coincide com a redução de visitantes. Da mesma forma, no período da tarde o pico de volume coincide com intensa visitação.

Os verticilos de proteção apresentam pétalas brancas e sépalas brancas com manchas vermelhas na face dorsal o que difere das descrições dos autores Ramachandran *et al.* (1980). Uma possível explicação para esta diferença pode estar relacionada com o processo de introdução da planta no Brasil. Considerando os registros históricos que descrevem as flores como brancas, tanto na região nordeste, como centro oeste e sudeste, permite inferir que se trata de uma variação genética da linhagem de flores das plantas introduzidas no país.

Os resultados obtidos nos diferentes experimentos de polinização não se observam a formação de frutos apomíticos, sendo que os botões florais submetidos à autopolinização apresentaram 10% de frutificação. A polinização natural apresentou eficiência de 74% e a polinização cruzada 56%. A comparação entre os resultados obtidos da tabela 8 deixa evidente a dependência da *Moringa oleifera* dos agentes polinizadores para a fertilização e que seu mecanismo de evitar a autopolinização é eficiente. Dogterom *et al.* (2000) obtiveram resultados similares com a cultivar Bluecrop, na qual observaram um incremento de frutificação efetiva de 40% comparando a autopolinização e a polinização cruzada manual. Segundo Free (1993), observa-se um aumento no rendimento de frutos quando acontece a polinização entre distintas variedades, se comparado com a autopolinização.

As flores no estágio de antese verificado em *Moringa oleifera* apresentam o mesmo padrão que fora encontrado em *Mucuna japira* A.M.G. Azevedo & K.Agostini & Sazima (Agostini *et al.* 2011), ou seja, permanecem abertas e ativas durante sete dias produzindo um grande número de flores durante várias semanas, diferindo de *Mucuna urens* (L.) Medik., que se abre por apenas uma noite (Agostini 2008). A manutenção das flores por mais de um dia é vantajosa para a planta, pois mantê-las exige um gasto energético menor do que as produzir, podendo reduzir assim, à metade a produção de flores novas todos os dias. Desta forma, as flores que já não estão mais receptivas funcionam como um “display” (Bezerra & Machado 2003). Este modelo demonstra um favorecimento ao polinizador em encontrar facilmente várias flores para visitação, proporcionando a este uma importante economia energética, pois não precisa forragear a longas distâncias pelo alimento requerido (Pyke 1981). A mudança da coloração das pétalas e manutenção de flores não receptivas geralmente estão relacionadas

com proporcionar um aumento na atratividade através de longas distâncias e direcionar os visitantes a flores que lhes ofereçam recursos (Brito *et al.* 2015).

As flores de *Moringa oleifera* foram visitadas por diversas espécies de abelhas (Material Suplementar, Fig. S6). Representando 43,50% no período das chuvas e 57,80% na seca a *Apis* spp. e 33,90% no período das chuvas e 47,07% na seca a *Xylocopa*, que, do total de visitantes se destaca como polinizador efetivo. Abelhas do gênero *Xylocopa* utilizam néctar e pólen como únicas fontes de alimento. Muitas das espécies encontram-se associadas a flores com anteras poricidas (Buchmann 1983), contudo, a maioria é generalista, visitando grande número de espécies vegetais, concentrando-se, porém, em alguns recursos mais produtivos (Gerling *et al.* 1989) corroborando com os resultados encontrados, considerando que a planta *Moringa* é exótica na região. A atividade de *Xylocopa* registrado neste estudo ocorreu 6:00 horas as 18:00 horas nos dias observados não distinguindo período de chuva e seca diferente do indicado em outros estudos realizados com espécies de plantas diferentes que afirmam a maior frequência no período matutino. (Freitas & Oliveira Filho 2003) embora alguns trabalhos tenham indicado atividade mais tardia, após as 14:00 h (Camillo 1978).

Macroglossum como o mais frequente dos pilhadores de néctar no período das chuvas e ausente no período da seca. As *Xylocopa* e *Macroglossum*. realizaram as primeiras visitas entre 06h00 e 06h30, período em que as flores estavam com grande concentração de néctar. As aves *Coereba flaveola* e *Amazilia fimbriata*, as *Xylocopa* e *Macroglossum* desenvolveram grande atividade após as 17h00. A mariposa *Macroglossum*. apresentou intensa atividade de forrageamento no início e no término de fortes chuvas.

Para os organismos *Diaethria* houve diferença significativa entre os períodos, mais visitas na chuva que na Seca, e *Trigona* visita mais no período da seca que no período de chuva. O *Macroglossum* visita apenas no período de chuva, os demais visitantes foram constantes nos dois períodos.

As abelhas e vespas se apresentaram como polinizadoras, sendo *Trypoxylon* spp. e *Trigona* spp., pela baixa visitação, foram identificadas como polinizadoras eventuais e *Xylocopa* spp. e *Apis* spp. como polinizadoras efetivas. Os lepidópteros são predadores e as aves *Coereba flaveola* derrubam grande parte das flores que visitam, portanto foram identificadas como predadoras e *Amazilia fimbriata* como polinizadora eventual.

Por outro lado, embora uma espécie possa realizar visitas legítimas e polinizar as flores, nem sempre irá contribuir positivamente para a reprodução da planta se há grande oferta de néctar os polinizadores visitarão poucas flores contribuindo pouco para a transferência de pólen (Yamamoto *et al.* 2007; Aleixo *et al.* 2013).

Os visitantes ilegítimos ou pilhadores, não deveriam constar como polinizadores nas redes mutualistas. Mas, ressaltamos que vários trabalhos avaliaram o papel dos pilhadores como positivo, já que ao diminuírem a oferta do recurso, obrigam os polinizadores a realizar mais visitas, aumentando conseqüentemente o número de polinizações (Milet-Pinheiro & Schlindwein 2009; Irwin *et al.* 2010).

Os polinizadores observados visitaram as flores da *Moringa oleifera* durante todo o período de observação (no período de 21 a 30 de janeiro/2016 (período de chuva) e de 1.200 horas de observação no período 10 a 19 de julho/2016 (período de seca).

Frequentemente o comportamento da abelha *Trigona* spp. é descrito pela literatura como pilhadora por coletar néctar e danificar os tecidos florais (Boiça Jr *et al.* 2004 e Oda & Oda 2007). Espécies pilhadoras comumente fazem um furo na base da flor para coletar néctar, danificando-a sem auxiliar no transporte de pólen (Oliveira *et al.* 2015).

Apesar deste comportamento corriqueiro, *Trigona* spp. pode também apresentar grandes benefícios para alguns tipos de plantas cultivadas como a abóbora, o caju, o girassol, a laranja, a melancia, a pitanga e o tamarindo (Silva *et al.* 2015), também à cenoura, manga, pimentão, morango, açaí, cupuaçu, cajá, chuchu, romã e umbu (Giannini *et al.* 2014). Além disso, diante da perda e modificação de habitats naturais, esta espécie tem a capacidade de persistir em paisagens fortemente alteradas e pode ser considerado como um polinizador de resgate, ou seja, é propenso para polinizar espécies de plantas nestas áreas, que são potencialmente pobres de polinizadores (Jaffé *et al.*, Giannini *et al.* 2015) corroborando com os autores citados a *Trigona* spp. atua como polinizadora da *Moringa oleifera*.

Com relação ao comportamento de visita, as abelhas e vespas apresentaram semelhanças entre si, sobrevoando as inflorescências e pousando sobre o estandarte. As vespas o deslocam para baixo com suas pernas traseiras e introduzem a língua na base dos elementos florais para alcançar o néctar que se localiza na base do ovário. Esse movimento faz com que a parte anterior de seu abdome e o seu tórax pressionem a antera e o estigma, realizando a polinização enquanto coletam o néctar. As abelhas movimentam as pernas medianas e traseiras sobre os estames em direção ao abdômen, realizando a coleta do pólen e armazenando seus grãos em suas escopas, na parte ventral do abdômen. As abelhas e vespas visitam em média três flores por cacho visitado com tempo médio de 0min 33s 47ms

Xylocopa spp. apresentou uma alta frequência de visitas durante toda a floração da planta, visitando várias flores por planta e várias plantas diferentes, coletando pólen com grande eficiência e contatando também o estigma, podendo promover polinização cruzada. Quando a *Xylocopa* spp. pousa sobre a flor, o pólen é depositado na parte de trás da cabeça e

no tórax. De acordo com Faegri & van der Pijl (1980), este modo de deposição de pólen é conhecido pela eficácia e economia na utilização do pólen. Ainda, durante seu movimento sobre as anteras, parte do pólen adere na porção ventral e por ela são levados para a próxima flor, realizando a polinização.

Os lepidópteros foram identificados como pilhadores de néctar, porque posam sobre as pétalas das flores e alcançam a câmara nectarífera com sua longa probóscida, sem tocarem nas anteras ou estigma. Visitam uma flor no tempo médio de 0min 40s 20ms. A *mariposa Macroglossum* spp. imita o comportamento do beija-flor; “paira” no ar e introduz sua longa probóscida, sem tocar nenhum dos verticilos florais, e retira o néctar. O tempo médio de visita por flor é de 0 min 02 s 46 ms.

A ave nectarívora *Coereba flaveola* pousa no ramo e introduz seu bico para atingir a câmara nectarífera, tocando as anteras e o estigma com sua cabeça perfurando externamente tubo floral como afirma Sick, (1997); Vasconcelos & Lombardi, (2001). A ave foi identificada como pilhadora de néctar, pois derruba grande parte das flores visitadas. O beija-flor *Amazilia fimbriata* visitava pela manhã, por curto período, e, após as 17h00 sua permanência aumentava, sendo que as aves permaneciam retirando néctar das flores até as 19h00. *A. fimbriata* sobrevoa os cachos introduzindo seu bico entre os verticilos de reprodução para atingir a câmara nectarífera. Há muita discussão sobre a eficiência da transferência de pólen realizada por beija-flor, segundo Guedes *et al.* (2009) beija-flores visitam flores que apresentam padrões melitófilos para poder manter sua dieta alimentar com néctar. Estes autores afirmam que estes animais são considerados generalistas.

As plantas adaptadas à polinização por beija-flores apresentam flores com características que estão incluídas na “síndrome de ornitofilia” (Grant & Grant, 1968; Faegri & van der Pijl, 1979). De acordo com esses autores, flores ornitófilas apresentam antese diurna, néctar muito abundante escondido na base do tubo floral, são horizontais ou pendentes, tubulares, de coloração vermelha ou vermelha combinada com amarela e inodoras. Entretanto, os beija-flores não restringem suas visitas às flores ornitófilas (Araújo, 1996), especialmente quando atuam como pilhadores de néctar.

Os beija-flores pilham néctar, furando externamente o tubo floral ou aproveitando orifícios feitos por outras aves, como as cambacicas (*Coereba flaveola*, Coerebinae), ou por abelhas e vespas (Sick, 1997; Vasconcelos & Lombardi, 2001). Neste caso, eles não atuam como polinizadores, mas como pilhadores de néctar (Inouye, 1983; Arizmendi *et al.*, 1996; Buzato *et al.*, 2000).

A *Moringa oleífera* é uma planta cuja as flores não apresentam o padrão das flores ornitófilas, porém apresenta néctar em abundância e antese diurna e como afirma Guedes *et al.* (2009) os beija-flores são aves generalistas procurando diversos tipos de flores par manter sua dieta alimentar e não a caso as observações na área de estudo possibilitou a identificação da ave *A. fimbriata* como polinizadora com tempo médio de visita por flor é de 0min 11s 32ms.

Em geral os estudos de polinização consideram apenas a frequência como uma variável de eficiência dos polinizadores, como no caso deste em específico, no entanto, apenas a frequência de um visitante não é suficiente para indicar sua eficiência. Segundo Alves-dos-Santos *et al.* (2016), quando não se realiza a qualificação da eficiência de um visitante não é possível dizer que este é um polinizador. Sendo assim estudos que envolvam aspectos quanto a qualidade da eficiência de polinizadores são importantes quando se trata de estudos da biologia da polinização.

Moringa oleífera teve baixa formação de frutos em relação ao número de flores, entretanto a produção de sementes em relação ao número de óvulos/ovário é alta, ou seja, a relação de frutos/flores é baixa, mas a de sementes/óvulo é alta. Muitas hipóteses têm sido levantadas para explicar esse modelo de baixa produção de frutos, fato que pode estar relacionado com o processo de fertilização e o aborto durante a embriogênese (Bawa & Webb 1984). Existem alguns fatores que podem acarretar o aborto de flores e frutos (Bawa & Webb 1984), dentre estes: a qualidade e quantidade de grãos de pólen depositados sobre os estigmas (Mogensen 1975) e competição do óvulo pelos recursos maternos necessários para o desenvolvimento da semente (Lloyd 1980). A limitação de pólen ou de polinizadores e a limitação de nutrientes maternos - aborto seletivo (Stephenson 1981; Bawa & Webb 1984; Sutherland 1987; Charlesworth 1989). Na espécie em estudo, parece não haver limitação da quantidade de pólen e de polinizadores, uma vez que ocorre intensa visitaçào às flores. Além do mais, a liberação gradativa dos grãos de pólen permite que eles fiquem disponíveis ao longo da antese. Estudos realizados em *Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Hook. e *T. ochracea* (Cham.) Standl. mostram que a baixa produção de frutos nas polinizações naturais e polinizações cruzadas manuais não está relacionada à ausência de polinizadores, já que as espécies também são intensamente visitadas (Barros 2001).

Essa taxa pode representar um indício sobre o sucesso reprodutivo dessas espécies. Para *Moringa oleífera* podemos considerar que essa alta taxa de aborto ocorre por competição entre as flores fertilizadas, já que o fruto formado é grande, se for considerado o espaço entre flores da inflorescência

Os resultados obtidos de frutos e sementes, quanto à morfologia são semelhantes ao descrito na literatura. De formato triangular, durante o processo de maturação desidrata e apresentam três fissuras longitudinais, quando seca abre em três partes e libera as sementes, fruto deiscente, a descrição semelhante à por Cáceres *et al.* (1991) que descreveu os frutos como vagens pendulares, possuem cor verde a marrom esverdeado, formato triangular e se quebram longitudinalmente em três partes quando secos, é uma cápsula. Cáceres *et al.* (1991) e Palada (1996) descreve as sementes de cor marrom escura, onde cada uma delas possui três asas. Lorenzi & Matos (2002) descreveram as sementes como globoídes, são escuras por fora e contêm no seu interior uma massa branca e oleosa. O núcleo é encoberto por uma concha sendo trilobadas, oleaginosas, e medindo até 1 cm de diâmetro. Morfológicamente as sementes são semelhantes as descrições encontradas na literatura.

Quanto à biometria dos frutos e sementes há algumas diferenças na descrição do comprimento e pequena diferença quanto à quantidade de sementes. Quanto ao comprimento dos frutos encontrados apresentaram 23,9 a 50,1 cm, média de 34,37cm. Cáceres *et al.* (1992) descreve os frutos de 30 a 120 cm de comprimento, o referido autor encontrou média de 18 mm de diâmetro Al Azharia Jahn (1991) determina três grupos considerando comprimento das vagens da *M. oleifera* vagens curtas com um comprimento variando entre 15 a 25 cm; vagens médias com um comprimento variando entre 25 a 40 cm e vagens longas com um comprimento variando entre 50 a 90 cm, considerando os autores citados há divergência quanto o comprimento mínimo e máximo. Os frutos coletados apresentaram média de 34,37 cm de comprimento e a média de 2,21 cm de diâmetro, o que enquadraria os frutos na categoria “vagens médias”, de acordo com Al Azharia Jahn (1991). Cáceres *et al.* (1992) encontrou comprimento mínimo de 30 cm e máximo de 120 cm, de acordo com Al Azharia Jahn (1991) o comprimento mínimo é de 15 cm e o máximo de 90 cm.

Dos frutos observados apresentaram em média 20 sementes, com o número mínimo de 10 e máximo de 28 sementes Parrotta (1993) e Sanchez (2006) afirmam que os frutos produzem de 12 a 25 sementes, os resultados encontrados apresentam diferença não significativa quanto ao número de sementes.

Os resultados obtidos entre a relação comprimento do fruto e o número de sementes permite aferir, que nos frutos observados que o tamanho do fruto está associado ao número de sementes. Segundo Siqueira *et al.* (2009) há correlação direta entre o número de sementes e o número de grãos de pólen depositados no estigma, independentemente do número de estigmas polinizados. Os frutos produzidos por flores que receberam maior quantidade de pólen tendem a produzir maior número de sementes e apresentam frutos maiores.

8.7 Referências bibliográficas

- Agostini K, Sazima M, Galetto L. 2011. Nectar production dynamics and sugar composition in two *Mucuna* species (Leguminosae, Faboideae) with different specialized pollinators. *Naturwissenschaften* 98 (11): 933-942.
- Agostini K. 2008. Ecologia da reprodução de duas espécies de *Mucuna* (Leguminosae, Faboideae, Phaseoleae) – embriologia, citogenética e variabilidade genética – do litoral norte de São Paulo. PhD Thesis, Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Brasil.
- Al Azharia Jahn S. 1991 *The Traditional Domestication of a Multipurpose Tree Moringa Stenopetala* (bAK. f) In the Ethiopian Rift Valley”, p. 244- 247, in *ambio* vol. 20 n° 6, sept.
- Aleixo, K.P.; Biral, L.F.; Imperatriz Fonseca, V.F.; Garófalo, C.A. & Silva, C.I. 2013. Pollen collected and foraging activities of *Frieseomelitta varia* (Lepelletier) (Hymenoptera: Apidae) in an urban landscape. *Sociobiology* 60: 266-276.
- Alves-dos-Santos I, Silva CI, Pinheiro M, Kleinert AMP. 2016. Quando um visitante floral é um polinizador? *Rodriguésia* 67 (2): 295-307.
- Araújo, A. C. 1996. Beija-flores e seus recursos florais numa área de planície costeira. In: V Congresso Brasileiro de Ornitologia. Campinas. Universidade Estadual de Campinas. *Anais*.
- Arizmendi, M. C.; Dominguez, C. A. & Dirzo, R. 1996. The role of an avian nectar robber and of hummingbird pollinators in the reproduction of two plant species. *Functional Ecology*, 10: 119-127
- Barros, M.G. 2001. Pollination ecology of *Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Hook. and *T. ochracea* (Cham.) Standl. (Bignoniaceae) in Central Brazil cerrado vegetation. *Revista Brasileira de Botânica* 24(3): 255-261.
- Batalha, M.A.; Aragaki, S. & Mantovani, W. 1997. Variações fenológicas das espécies do cerrado em Emas (Pirassununga, SP). *Acta Botanica Brasilica* 11(1): 61-78. Castro, A.A.J.F. 1999. Cerrados no nordeste do Brasil: caracterização, biodiversidade e desastres. *Publicações avulsas em Ciências ambientais* 1: 1-19

- Bawa, K. S., e Weeb, C. J. 1984. Flower, fruit and seed abortion in tropical forest trees implications for the Evolution of paternal and maternal reproductive patterns. *American Journal of Botany*. 71 (5): 736 – 751.
- Berlin, K.E.; Pratt, T.K.; Simon, J.C.; Kowalsky, J.R. & Hatfield, J.S. 2000. *Plant Phenology in a Cloud Forest on the Island of Maui, Hawaii*. *Biotropica*, 32(1): 90–99.
- Bezerra ES, Machado IC. 2003. Biologia floral e sistema de polinização de *Solanum stramonifolium* Jacq. (Solanaceae) em remanescente de Mata Atlântica, Pernambuco. *Acta Botanica Brasilica* 17 (2) 247-257.
- Bhattacharya A, Mandal S. 2004. Pollination, pollen germination and stigma receptivity in *Moringa oleifera* Lamk. *Grana* 43: 48–56.
- Boiça Jr AL, Santos TM, Passilongo J. 2004. *Trigona spinipes* (Fabr.) (Hymenoptera: Apidae) em Espécies de Maracujazeiro. *Neotropical Entomology* 33 (2): 135-139.
- Borchert, R. 1996. *Phenology and flowering periodicity of neotropical dry forest species: evidence from herbarium collections*. *Journal of tropical ecology*, 12(1): 65-80.
- Brito VLG, Weynans K, Sazima M, Lunau K. 2015. Trees as huge flowers and flowers as oversized floral guides: the role of floral color change and retention of old flowers in *Tibouchina pulchra*. *Frontiers in Plant Science* 6: 1-10.
- Buchmann, S.L. 1983. Buzz pollination in Angiosperms. Pp. 73-113. In: *Handbook of experimental pollination biology* (C.E. Jones & R.J. Little, eds.). New York, Scientific and Academic Editions
- Buzato, S.; Sazima, M. & Sazima, I. 2000. Hummingbird pollinated floras at three Atlantic Forest sites. *Biotropica*, 32: 824-841.
- Cáceres, A.; Freire, V.; Girón, L. M.; Avilés, O.; Pacheco, G. 1991. *Moringa oleifera* L. (Moringaceae): ethnobotanical studies in Guatemala. **Economic Botany**, New York, v. 45, n. 4, p. 522-523, 1991.
- Cáceres, A.; Tseire, V.; Girón, L.; Aviles, O.; Pacheco, G. 1991. *Moringa oleifera* L. (Moringaceae): ethnobotanical studies in Guatemala. *Economic Botany*, New York, v. 45, n. 4, p. 522-523.

- Camillo, E. 1978. Estudos sobre o incremento da população de polinizadores de maracujá (Hymenoptera, Anthophoridae). *Ciência e Cultura* 30: 594
- Carvalho, J. O. P. 1980. Fenologia de espécies florestais de potencial econômico que ocorrem na Floresta Nacional do Tapajós. Belém: EMBRAPA-CPATU. p.15, 1980
- Charlesworth, D. 1989. Evolution of low female fertility in plants: pollen limitation, resource allocation and genetic load. *Tree* 4(10): 289-292.
- Costa E, Leal PAM, Rego NH, Benatti J. 2015. Desenvolvimento inicial de mudas de jatobazeiro do Cerrado em Aquidauana - MS. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33 (1): 215-226.
- Dogterom MH, Winston ML, Mukai A. 2000 Effect of pollen load size and source (self, outcross) non seed and fruit production in Highbush Blueberry cultivar 'Bluecrop' (*Vaccinium corymbosum*: Ericaceae). *American Journal of Botany* 87 (11): 1584-1591.
- Duke JA. 1987. Moringaceae: horseradish-tree, drumstick-tree, sohnja, moringa, murungakai, mulungay. In: BENGE, MD. (ed.). *Moringa a multipurpose tree that purifies water*. Boston, Science and Technology for Environment and Natural Resources, p.19-28.
- Elliott S, Baker Jp, Borchert R. 2006 *Leaf flushing during the dry season: the paradox of Asian monsoon forests*. *Global Ecology and Biogeography* 15:248-257
- Fægri, K. & van der Pijl, L. 1979. *Principles of pollination ecology*. Oxford, Pergamon Press.
- Faegri, K., Pijl, L. van der., 1980. *The principles of pollination ecology*. Oxford : Pergamon. 244p.
- Ferraz, D.K.; Artes, R., Mantovani, W. & Magalhães, L. M. 1999. *Fenologia de árvores em fragmento de mata em*
- Foster, R.B. 1992. *Ciclo estacional de caída de frutos em la isla de Barro Colorado*. In: E.G. Leight; A.S. Rand & D.M. Windsor (Eds.). *Ecologia de um bosque tropical*. Smithsonian tropical research institute, Balboa. pp. 219-241.
- Frederic C. D., Goudiaby Va, Gimenez O, Diagne A. L., Diouf M, Rocheteau A, Akpo L. E.. 2005. Environmental influence on canopy phenology in the dry tropics. *Forest Ecology and Management* 215:319-328

- Free JB. 1993. Insect pollination of crops. London: Academic Press.
- Freitas, B. M. & J. H. Oliveira Filho. 2003. Ninhos racionais para mamangava (*Xylocopa frontalis*) na polinização do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis*) *Ciência Rural* 33: 1135–1139.
- Gerling, D.; Velthuis, W.H.D. & Hefetz, A. 1989. Bionomics of the large carpenter bee of the genus *Xylocopa*. *Annual Review of Entomology* 34: 163-190
- Giannini TC, Boff S, Cordeiro GD, Cartolano Jr EA, Veiga AK, Imperatriz-Fonseca AL, Saraiva A. 2014. Crop pollinators in Brazil: a review of reported interactions. *Apidologie* 46 (2): 209-223.
- Giannini TC, Garibaldi LA, Acosta AL, Silva JS, Maia KP, Saraiva AM, Guimarães Jr, PR, Kleinert AMP. 2015. Native and non-native supergeneralist bee species have different effects on plant-bee networks. *PloS ONE* 10 (9): 1-13.
- Grant, K. A. & Grant, V. 1968. Hummingbirds and their flowers. New York, Columbia University Press.
- Grantsau R. 1989. *Os beija-flores do Brasil*. Expressão e Cultura, Rio de Janeiro.
- Hosmer, D.W.; Lemeshow, S. 2000. Applied logistic regression. New York: John Wiley & Sons. 375p.
- Inouye, D. 1980. "The Terminology of Floral Larceny". *Ecology*, 61(5): 1251-1253.
- Inouye, D. W. 1983. The ecology of nectar robbing. In: Bentley, B. & Elias, T. (Ed.). *The biology of nectaries*. New York, Columbia University Press, pp. 153-173.
- Irwin R.E.; Bronstein J.L.; Manson J.S. & Richardson L. 2010. Nectar robbing: ecological and evolutionary perspectives. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 41: 271-292.
- Jaffé R, Castilla A, Pope N, Imperatriz-Fonseca VL, Metzger JP, Arias MC, Jha S. 2015. Landscape genetics of a tropical rescue pollinator. *Conservation Genetics* 17 (2): 1-12.
- Lloyd, D. G. 1980. Sexual strategies in plants. 1. An hypothesis of sexual adjustment of maternal

- Lorenzi, H., Matos, F. J. 2002 *Plantas medicinais no Brasil – nativas e exóticas cultivadas*. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, p. 346-347.
- Mahoro, S. 2002. *Individual flowering schedule, fruit set, and flower and seed predation in *Vaccinium hirtum* Thunb. (Ericaceae)*. Can. J. Bot., 80: 82–92
- Mantovani, M.; Ruschel, A.R.; Reis, M.S.; Puchalski, A. & Nodari, R.O. 2003. *Fenologia reprodutiva de espécies arbóreas em uma formação secundária da Floresta Atlântica*. Rev. **Árvore**, Viçosa – MG, V. 27, n. 4, p. 451-458.
- Marques, M.C.M. & Oliveira, P.E.A.M. 2004. *Fenologia de espécies do dossel e do sub-bosque de duas Florestas de Restinga na Ilha do Mel, sul do Brasil*. Revista Brasil. Bot., 27(4): 713-723.
- Mathew S, Rajamony L. 2004. Flowering biology and palynology in drumstick (*Moringa oleifera* Lam.). The Planter 80: 357–370.
- Mikich, S. & Silva S. M. 2001. Composição florística e fenologia das espécies zoocóricas de remanescentes de floresta estacional semidecidual no centro-oeste do Paraná. Acta Bot. Bras. 15(1): 89-113
- Milet-Pinheiro, P. & Schlindwein, C. 2009. Pollination in *Jacaranda rugosa* (Bignoniaceae): euglossine pollinators, nectar robbers and low fruit set. Plant Biology 11: 131-141.
- Mogensen, H. L. 1975. Ovule abortion in *Quercus* (Fagaceae). American Journal of Botany, v. 62, p. 160–165.
- Morellato LPC, Leitão-Filho HF. 1992. Estratégias fenológicas de espécies arbóreas em floresta mesófila na Serra do Japí, Jundiá – SP. Revista Brasileira de Biologia 50: 163-173.
- Morellato, L.P.C.; Leitão-Filho, H.F.; Rodrigues, R.R.; & Joly, C.A. 1990. Estratégias fenológicas de espécies arbóreas em floresta de altitude na Serra do Japí, Jundiá – SP. Rev. Bras. Biol., 50:149-162.
- Morton J F. 1991. The horseradish tree, *Moringa pterigosperma* (Moringaceae). A boon to arid lands? Economic Botany 45 (3): 318–333.

- Muhl QE, du Toit ES, Steyn JM, Apostolides Z. 2013. Bud development, flowering and fruit set of *Moringa oleifera* Lam. (Horseradish Tree) as affected by various irrigation levels. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics* 114 (2): 79–87.
- Newstrom LE, Frankie GW, Baker HG. 1994. A new classification for plant phenology based on flowering patterns in lowland tropical rain-forest trees at La Selva, Costa Rica. *Biotropica* 26 (2): 141-159.
- Oda FH, Oda TM. 2007. Comportamento pilhador de *Trigona spinipes* Fab. (Hymenoptera: Apidae) em flores de *Schlumbergera truncata* (Haworth) Moran (Cactaceae). *INSULA Revista de Botânica* 36: 95-97.
- Oliveira JEM, Nicodemo D, Oliveira FF. 2015. Contribuição da polinização entomófila para a produção de frutos de aceroleira. *Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics)* 45 (1): 56- 65.
- Opler, P.A., Frankie, G.W. & Baker, H.G. 1980. Comparative phenological studies of treelet and shrub species in tropical wet and dry forests in the lowlands of Costa Rica. *Journal of Ecology* 68:189- 209.
- Palada MC, Changl LC, 2003. Suggested Cultural Practices for Moringa. *International Cooperators' Guide AVRDC*. AVRDC pub # 03-545: 1–5.
- Palada, M.C. 1996 Moringa (*Monnga oleifera* Larn.): a versatile tree crop with honicultural potential in me Subtropical United States. *HortSciEnce*, v.31, n.5, p.794-797.
- Parrotta, J.A. 1993. Moringa oleifera Lam. Resedá, árbol de rábano. <http://www.colmoringa.com/textosdeinteres/HABITAD 20Y 20DEMÁS.pdf> <Acesso em 5 jul. 2010.
- Peel, MC, Finlayson BL & McMahon TA. 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences* 11: 1633-1644.
- Pio Corrêa M. 1984. *Dicionário das Plantas Úteis do Brasil e das Exóticas Cultivadas*. Rio de Janeiro: MA/IBDF 5: 233-234.
- Pyke GH. 1981. Why hummingbirds hover and honeyeaters perch. *Animal Behavior* 29 (3): 861-867.

- Ramachandran, C.; Peter, K. V.; Gopalakrishnan, P. K., 1980. Drumstick (*Moringa oleifera*): a multipurpose Indian vegetable. *Economic Botany*, New York, v. 34, p. 276-283
- Rathcke, B. & Lacey, E. P. 1985. Phenological patterns of terrestrial plants. *Annual Review of Ecology and Systematics* 16: 179-214
- Reyes-Sánchez N, Spöndly E. 2006, Ledin I. Effect of feeding different levels of foliage of *Moringa oleifera* to creole dairy cows on intake, digestibility, milk production and composition. *Livestock Science* 1001: 24-31.
- Sánchez NR. 2006. *Moringa oleifera* and *Cratylia argentea*: Potential Fooder Species for Ruminants in Nicaragua. PhD Thesis, Swedish, University of Agricultural Sciences, Uppsala, Suécia.
- Schall, R. 1991. Estimation in Generalized Linear Models with Random Effects. *Biometrika*. Vol. 78, nº. 4, 719-727, 1991
- Sick, H. 1997. *Ornitologia brasileira*. Rio de Janeiro, Editora Nova Fronteira, 862 pp.
- Silva AR, Kerr WE. 1999. *Moringa: uma nova hortaliça para o Brasil*. Uberlândia: UFU: DIRIU.
- Silva IS, Pacheco-Filho AJS, Freitas BM. 2015. Polinizadores manejados no Brasil e sua disponibilidade para a agricultura. In: Associação brasileira de estudos das abelhas – A.B.E.L.H.A. Agricultura e Polinizadores, São Paulo, p. 19-31.
- Silva, A. A. G., 2002. Maracujá amarelo (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.): aspectos relativos à demanda hídrica e conservação pós-colheita. 2002, 98p. Tese (Tese em Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu.
- Siqueira, K. M. M. de, Kiill, L. H. P., Martins, C. F., Lemos, I. B., Monteiro, S. P. & Feitoza, E. de A. (2009). Ecologia da polinização do maracujá-amarelo, na região do vale do submédio São Francisco. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 31(1), 1-12.
- Stephenson, A. G. 1981 Flower and fruit abortion: proximate causes and ultimate functions. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, v. 12, p. 253–279.

- Sutherland, S. 1987. Why hermaphroditic plants produce many more flowers than fruits: experimental testes with *Agave mckelveyana*. *Evolution* 4(4): 750-759.
- Talora, D.C. & Morellato, L.P.C., 2000. Fenologia de espécies arbóreas em floresta de planície litorânea do sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 23:13-26.
- Teixeira, S. P.; Pereira, R. A. S.; Ranga, N. T. 2006. Components of fecundity and abortion in a tropical tree, *Dahlstedtia pentaphylla* (Leguminosae). *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 46, p. 905-913, 2006.
- Van Schaik CP, Terborgh JW, Wright SJ 1993. The phenology of tropical forests: Adaptive significance and consequences for primary consumers. *Annual Review of Ecology and Systematics* 24: 353–377.
- Vasconcelos, M. F. & Lombardi, J. A. 2001. Hummingbirds and their flowers in the campos rupestres of Southern Espinhaço Range, Brazil. *Melopsittacus*, 4: 3-30.
- Yamamoto L.F.; Kinoshita L.S. & Martins, F.R. 2007. Síndromes de polinização e de dispersão em fragmentos da floresta estacional semidecídua Montana, SP, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 21: 553-573

8.8. Material Suplementar

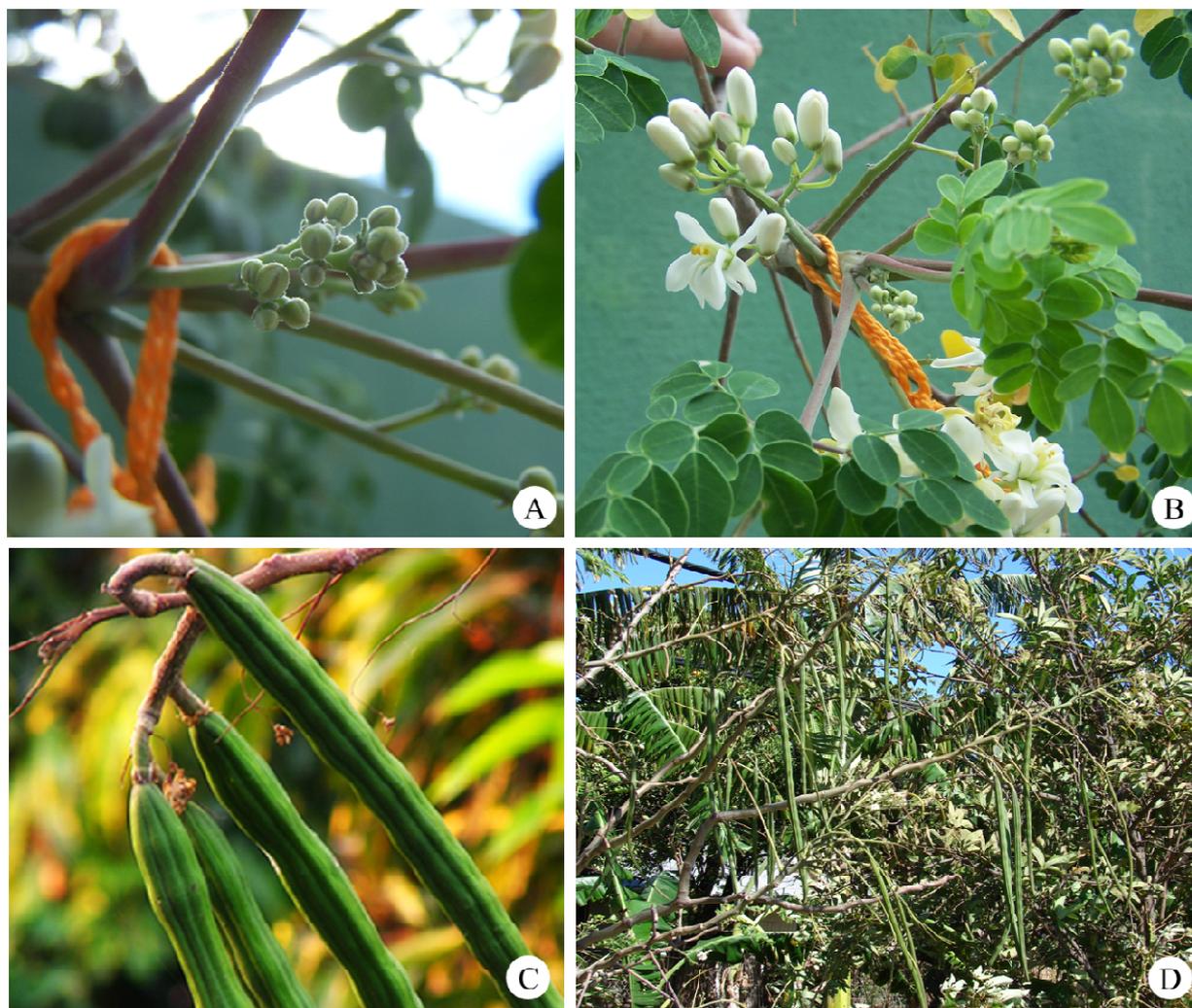


Figura S1. Inflorescência jovem e em antese demarcadas com uso de barbante (A-B); frutos verdes em formação após polinização (C); planta com frutos verdes em desenvolvimento (D). Fotos de Bernardi, C. J.

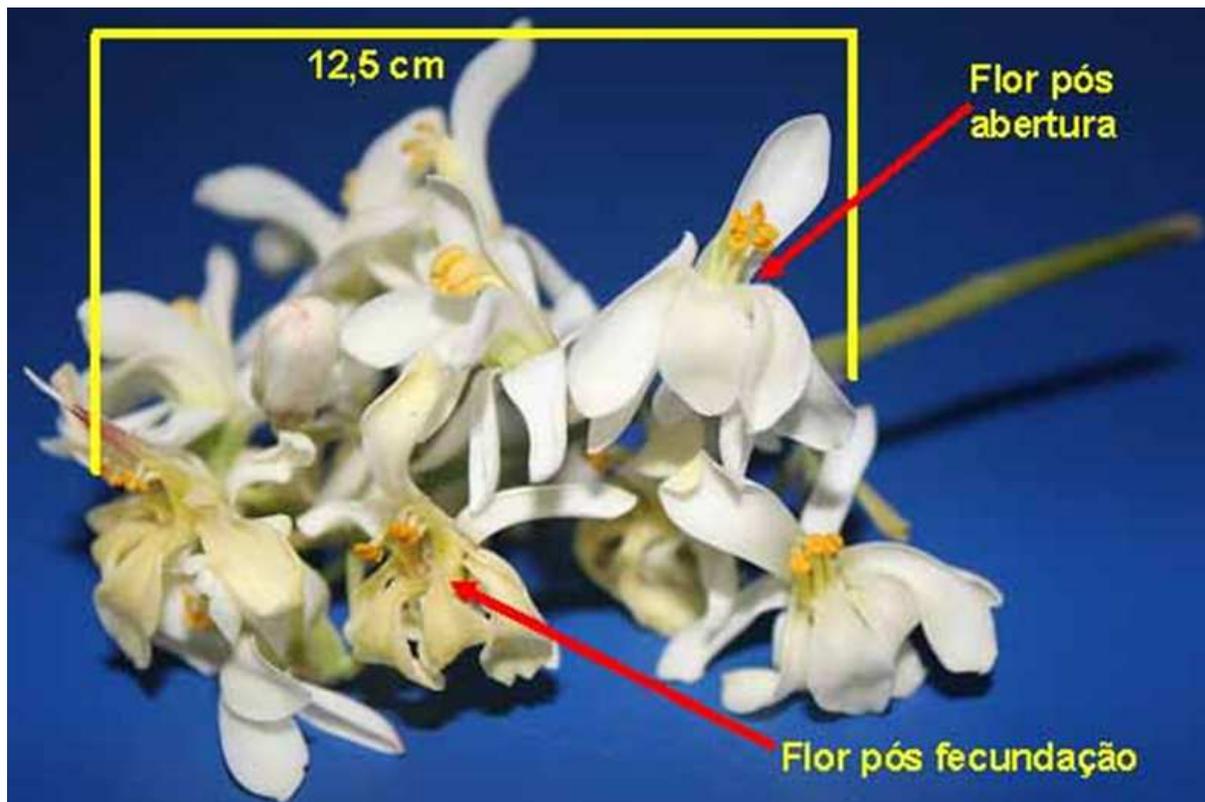


Figura S2. Inflorescência com flores em antese e fertilizadas. Foto de Bernardi, C. J.

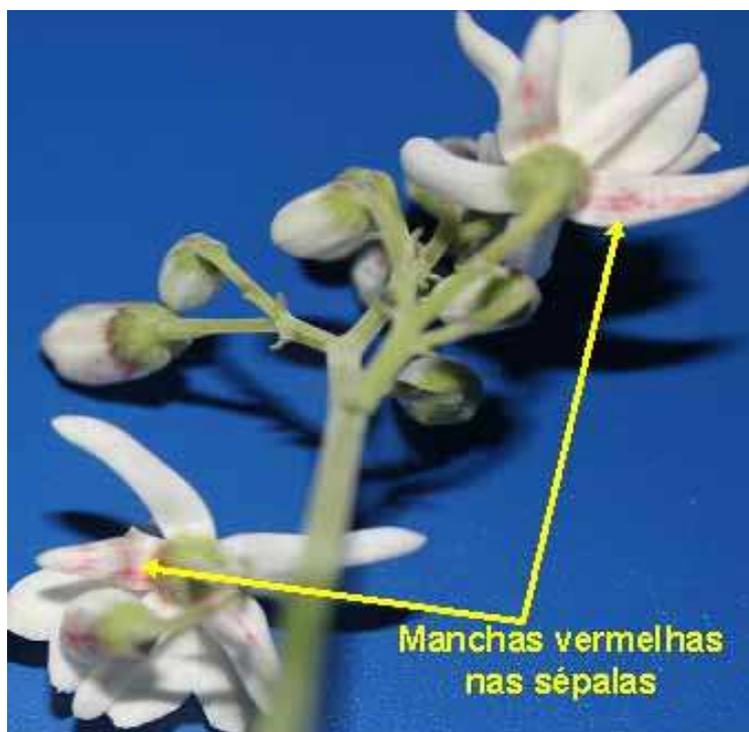


Figura S3. Inflorescência de *Moringa oleifera* destacando a face dorsal das flores. Foto de Bernardi, C. J.

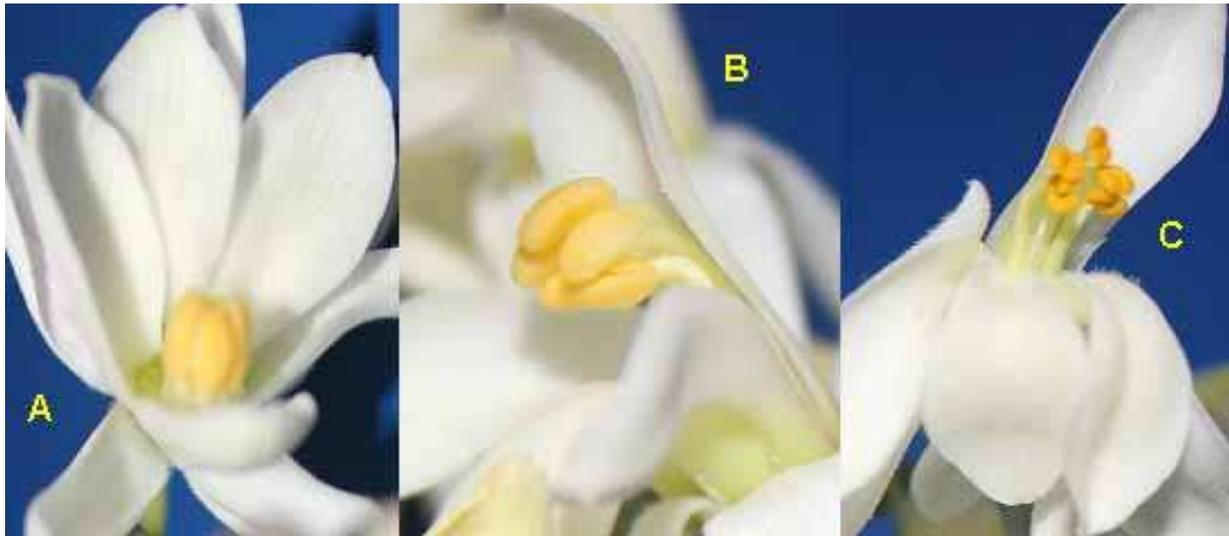


Figura S4. Desenvolvimento do androceu, órgão reprodutor masculino de *Moringa oleifera*. No início as anteras estão voltadas para o gineceu (A); As anteras superam o estigma e continuam voltadas para o centro da flor (B); Duas das anteras apresentaram uma rotação de 90° e 3 continuam voltadas para o centro da flor (C). Fotos de Bernardi, C. J.



Figura S5. Fruto maduro com início da fissura longitudinal, colhido da planta do município de Cuiabá. Foto de Bernardi, C. J.



Figura S6. Flores sendo visitadas por duas espécies de abelhas. Foto de Bernardi, C. J.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados provenientes deste trabalho sustentam a possibilidade do cultivo da *Moringa oleifera* no clima tropical continental sempre quente, com inverno seco (junho a setembro) e verão chuvoso (outubro a maio), sendo, portanto, do tipo Aw na classificação de Köppen. Isso se dá por ser uma espécie que se adapta a uma ampla faixa de condições climáticas, desde regiões semiáridas a regiões de clima tropical, contudo, com restrição a temperaturas baixas. Considerando que o clima de Cuiabá é favorável à sua floração e frutificação apresentando flores, sendo botões ou em antese durante todo o ano, que garante a *M. oleifera* uma competição positiva aos visitantes florais, considerando que a planta oferta alimento para os visitantes durante todo o ano.

O processo de germinação e desenvolvimento da *Moringa oleifera* correspondem ao descrito na literatura por diversos autores, crescimento rápido e floração a partir do sexto mês de plantio. A emergência e o crescimento inicial das plântulas não são afetadas pelas posições e profundidades das sementeiras de suas sementes. Sua forma de cultivo é simples e não exige muitas especificações, o seu crescimento é relativamente rápido e a adaptação é considerada boa, tornando a disseminação da moringa algo possível.

As respostas fenológicas de plantas podem ser moduladas por fatores abióticos e pelas restrições filogenéticas. Neste trabalho estudamos a resposta fenológica da planta *Moringa oleifera* que apresentou maior índice de queda de folha entre os meses de junho a setembro que corresponde ao período de seca na região e o menor índice de queda de folha entre os meses de outubro e abril, que corresponde ao período de chuva. A precipitação e a insolação foram as variáveis que apresentaram elevado poder discriminatório na formação do componente em estudo.

A espécie *M. oleifera* apresentou calendário fenológico bem definido quanto às suas fenofases. A fenofase desfolhamento se destacou por ter sido observada durante todo o período de estudo, variando apenas em seu grau de intensidade. A população apresentou uma sincronia perfeita entre os indivíduos para o desfolhamento e para a brotação.

Durante os dois anos de observação, todos os indivíduos floresceram, frutificaram e dispersaram seus frutos anualmente. Todas as fenofases observadas em 2015 repetiram-se no ano posterior.

Neste estudo, pode-se concluir que houve grande disponibilidade de recursos ao longo do ano inteiro para os polinizadores. Durante o período de observação concluímos que

há interação da planta e animais, os polinizadores foram eficientes no processo de reprodução e formação de frutos. A sua biologia reprodutiva e seu sistema de polinização ainda precisam ser melhor estudados, visto que se trata de uma espécie pouco investigada cientificamente no Brasil. Na região de Cuiabá-MT, *M. oleifera* apresentou um padrão fenológico muito próximo ao da Índia, sua região de origem, por encontrar ótimas condições de crescimento em zonas semiáridas e quentes e ser tolerante a períodos de estiagem.

A espécie *M. oleifera* apresentou floração e frutificação, em estações diferentes durante todos os meses ao longo do período estudado, sendo que os indivíduos apresentaram suas fenofases influenciadas pela precipitação pluviométrica.

A espécie apresentou maiores intensidades de fenofases reprodutivas entre o fim do inverno e meados da primavera, coincidindo com o período mais chuvoso. As fenofases de floração demonstram maiores sincronias entre os indivíduos. Verificou-se um longo período de frutificação da espécie ao longo do ano, o que ocasiona muita disponibilidade de frutos, podendo ser um fator facilitador da colonização da espécie em locais próximos.

O presente estudo demonstrou a existência de sazonalidade fenológica para a área de estudo. A fenologia dessa espécie, para a área estudada, parece ser influenciada mais fortemente pela precipitação do que fotoperíodo e temperatura.

As maiores intensidades tanto de floração quanto de frutificação ocorreram durante o período com as maiores taxas de precipitação, comportamento comum entre as plantas. (SEGHERI et al., 1995), pois a umidade do solo pode influenciar no desenvolvimento das flores e frutos (JEESHNA & PAULSAMY, 2011), o que torna essencial a floração durante esse período, para assegurar a ocupação de novos nichos (SEGHERI et al., 1995).

Os múltiplos usos da *M. oleifera* a torna uma planta altamente valiosa. O uso das folhas como um complemento alimentar altamente nutritivo a torna ideal para o desenvolvimento de comunidades rurais, onde há escassez de plantas para nutrição humana, as flores, cascas, sementes, todas possuem uma utilidade, servindo como fonte de renda ou de alimentos aos seres humanos e animais, incluindo até o uso na limpeza da água. Os muitos produtos e usos da planta, combinados com sua habilidade de florescer com o mínimo de cuidados horticulturais, em condições extremas de clima e solo.

Adicionalmente, o uso disseminado da planta em população asiática tem criado um mercado em expansão para exportação de frutos frescos e em conserva. Em várias cidades da Europa, os frutos podem ser obtidos frescos vindos de países da África, como o Quênia.

O uso da *M. oleifera* dentro de um programa de reflorestamento em distritos próximos a fronteiras da Somália/Quênia, demonstram seu potencial para tal investimento em

áreas com climas mais áridos, pois, a planta apresenta características de sobreviver em condições adversas e em solos marginais. Sendo assim, dependendo da forma de manejo, a planta pode ser explorada de diversas formas. Quando se pretende utilizar as sementes para a produção de óleo ou tratamento de água, então os frutos não poderão ser usados como vegetais, embora as folhas possam ainda serem usadas só para fins culinários. Cuidados são necessários quando removê-las, para garantir que os botões florais e as sementes jovens não sejam danificadas prejudicando as colheitas subsequentes.

Os muitos produtos e usos da planta, combinados com sua habilidade de florescer com o mínimo de cuidados hortícolas, em condições extremas de clima e solo, a facilidade de germinação e crescimento em de solo pobre demonstrou boa adaptação intrínsecas e um alto potencial para se tornar uma planta invasora.

Vale ressaltar que o sucesso das invasões biológicas depende da interação entre as adaptações intrínsecas das espécies, das características ecológicas da comunidade, da eficiência dos inimigos naturais, da disponibilidade de recursos adequados e das condições ambientais (FUNK & VITOUSEK, 2007). As principais teorias sobre as invasões biológicas sugerem que elas sejam conduzidas por flutuações na disponibilidade de recursos, que causam variações na disponibilidade do nicho, independentemente do mecanismo de liberação de recurso (MENON & CARVALHO, 2012).

O conhecimento do comportamento da espécie exótica é primordial para estabelecer a capacidade de colonização da planta e o estudo da fenologia fornece informações sobre o potencial da planta se tornar invasora. Para Terra et al. (1998) na introdução de novas variedades, a fenologia desempenha importante função, pois permite a caracterização da duração das fases do desenvolvimento em relação ao clima, especialmente às variações estacionais, além de ser utilizada para interpretar como as diferentes regiões climáticas interagem com a cultura

Embora diversas espécies exóticas invasoras tenham seu lugar na geração de renda e emprego, com mercados estabelecidos, é importante considerar os aspectos culturais e sociais envolvidos. É comum que espécies exóticas invasoras inseridas no mercado gerem benefícios para pequenos grupos sociais privados e que os prejuízos associados ao processo de invasão sejam socializados, ou seja, compartilhados pela sociedade civil e muitas vezes vistos como problemas a serem resolvidos pelos governos, com recursos públicos.

O incentivo constante do plantio da *M. oleifera* sem orientação pode tornar essa planta uma invasora causando prejuízos irreversíveis a flora nativa. Precisam ser incorporadas práticas adequadas ao manejo dessa espécie, de modo a atribuir os custos do controle aos

beneficiários e aos responsáveis pela introdução. Sendo assim, recomenda-se mais estudos de diferentes abordagens com a planta *M. oleifera*, porque atualmente não há nenhum controle da área e local de plantio no Brasil.

9.1 Referências bibliográficas

Funk JL, Vitousek, PM. 2007. Resource-use efficiency and plant invasion in low-resource systems. *Nature*. Apr; 446:1079-1081, doi:10.1038/nature05719

Menon TA, Carvalho FA. 2012. Estrutura populacional de *Pinus elliottii* em áreas de regeneração florestal em Juiz de Fora, MG. *Pesq Florestal Bras*. 2012 Dez;32(72):367-372, doi:10.4336.pfb.32.72.367

Jeeshna M. V. & S. Paulsamy. 2011. Phenology of *Exacum bicolor* Roxb., an endangered medicinal herb of Kannur and Wayanad districts, Kerala, India. *Maejo International Journal of Science and Technology*. 5(3): 358-364.

Seghier, J.; C. Floret & R. Pontanier. 1995. Plant phenology in relation to water availability: herbaceous and woody species in the savannas of northern Cameroon. *Journal of Tropical Ecology*. 11: 237-225.