

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE BOTÂNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BOTÂNICA

**PADRÕES FENOLÓGICOS NO DISTRITO FEDERAL: CONGRUÊNCIA ENTRE DADOS
DE HERBÁRIO E ESTUDOS EM CAMPO**

JULIANA SILVESTRE SILVA

Brasília - DF
03 de dezembro de 2014

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE BOTÂNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BOTÂNICA

**PADRÕES FENOLÓGICOS NO DISTRITO FEDERAL: CONGRUÊNCIA ENTRE DADOS DE HERBÁRIO E
ESTUDOS EM CAMPO**

Juliana Silvestre Silva

Orientadora: Carolyn Elinore Barnes Proença, Ph. D.

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Botânica do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Doutor em Botânica.

Brasília - DF
03 de dezembro de 2014

PADRÕES FENOLÓGICOS NO DISTRITO FEDERAL: CONGRUÊNCIA ENTRE DADOS DE
HERBÁRIO E ESTUDOS EM CAMPO

Juliana Silvestre Silva

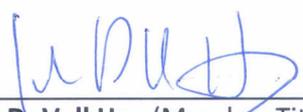
Tese apresentada ao programa de Pós-Graduação em Botânica da Universidade de
Brasília e aprovada pela Banca Examinadora abaixo discriminada



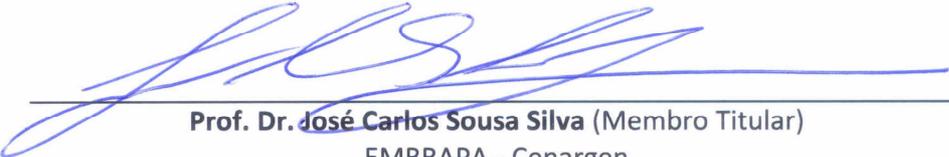
Profa. Dra. Carolyn Elinore Barnes Proença (Orientadora)
Universidade de Brasília - UnB



Profa. Dra. Cássia Beatriz Rodrigues Munhoz (Membro Titular)
Universidade de Brasília - UnB



Prof. Dr. John DuVall Hay (Membro Titular)
Universidade de Brasília - UnB



Prof. Dr. José Carlos Sousa Silva (Membro Titular)
EMBRAPA - Cenargen



Dra. Vanessa Grazielle Staggemeier (Membro Titular)
Universidade Estadual de São Paulo - Unesp

Prof. Dr. Christopher William Fagg (Suplente)
Universidade de Brasília - UnB

*"Se chorei ou se sorri, o importante
é que emoções eu vivi..."*

(O Rei)

Aos que nunca soltaram minha mão, dedico.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelas bolsas concedidas;

À orientadora e amiga Carol Proença por ter sido tão incrível (lê-se “tudo de bom”) durante o longo e árduo período de doutoramento, ensinando-me e aprendendo e descobrindo junto comigo o fantástico mundo da natureza (e da morfometria!);

Ao co-orientador no exterior Stephen Harris por todo o auxílio recebido, pelos quitutes preparados nos fins de semana em Oxford e pelos ensinamentos valiosos que muito contribuíram para o desenvolvimento da tese e de mim mesma como pesquisadora;

Ao Dennis Filer pela prontidão em atender nossos desejos brahmísticos, pelos *chats* matutinos no departamento e pela grande contribuição na nossa *social life* em Oxford;

Aos professores que compuseram todas as bancas de avaliação existentes no decorrer do processo (apresentação de projeto, qualificação e defesa): Cássia Munhoz, Eddie Lenza, Carlos Nobre, Fred Takahashi, Rosana Tidon, John Hay, José Carlos, Vanessa Staggmeier e Chris Fagg, pela disposição em participar e pelas ricas e positivas contribuições dadas até o momento;

Aos curadores dos herbários que visitei (IBGE, CEN e JBB) por me receberem sempre com muita atenção e disposição;

Aos órgãos ambientais que concederam a licença ambiental necessária para o desenvolvimento do estudo de campo no Parque Nacional de Brasília e na Estação Ecológica de Águas Emendadas;

Aos queridos que colaboraram com o enriquecimento do meu banco de dados enviando-me fotos e informações (Rosinha, Van, Manoel Cláudio, Jair, Aryanne, Chesterton, Wanderson), obrigada!!!;

Ao prof. John Hay que rapidamente e com muita boa vontade me ensinou a usar o Oriana e à Maria Stefania que me ajudou a aplicar o TPS aos meus dados – vocês me economizaram muitos neurônios;

Aos fiéis escudeiros de campo que, por muitas ou nem tantas vezes, enfrentaram chuva, sol, frio, calor, carrapatos (infinitos, de cores e tamanhos variados), vespas, serpentes, tamanduás, bois, troncos caídos, pegadas assustadoras, atolamentos (e desatolamentos): Rosinha (sempre, em todas as aventuras, minha toddynho), Thiago Roure, Jair, Thaís Nogales (desculpe-me por seu carro ter ido parar na oficina), Rafael Dias, Bruno (o meu), André Moreira e Vandélio. Esses mereciam o título de Doutor junto comigo!!!;

Aos colegas da Botânica (técnicos, docentes e dicentes) e agregados, simplesmente por estarem lá, na hora do almoço, do cafezinho ou da breja gelada – muito obrigada! Foram todos essenciais na manutenção da minha sanidade mental;

Às amigas de sempre que não faltam jamais: Ana Silvia, Bélin, Dani, Débora, Isabela e Paulinha. O mundo é pequeno pra nós, meninas!;

Aos amados Cláudia e Aldemir por tudo que representam, por estarem comigo em momentos felizes e nem tanto, e por terem me proporcionado (e ao Bruno) uma grande aventura na roça!;

À Bélin, Marcela e ao Eugênio por terem sempre me recebido em nível 5 estrelas! Obrigada pela força, pelas jantinhas e conversas que sempre me acalmam;

À minha família (a melhor que eu poderia ter): D. Quitéria, pelas constantes orações e pelo cobertor exclusivo que me salvou nas noites do outono inglês; Carol que, mesmo sem saber, alivia meus dias enviando fotos e vídeos do seu lindo e delicioso rebento; e aos meus irmãos, cunhada e sobrinha por não me deixarem deixar a peteca cair. Matheus, obrigada por me “socorrer informaticamente” quase sempre que eu precisei; Rafa e Aline vocês não tem noção do quanto o Murilo foi importante nessa etapa final, recebam esse “obrigada” todos os dias de suas vidas;

E por fim, um “obrigada” do tamanho do mundo para os meus amores maiores: Bruno, mãe e pai (*in memoriam*). É tanto amor e tanta gratidão que não cabem em palavras. Desculpem-me por viverem o estresse e a angústia desse período junto comigo, agora a gente colhe os louros! Amo vocês infinitamente...

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| RESUMO..... | 1 |
| ABSTRACT | 3 |
| INTRODUÇÃO GERAL | 5 |
| 1. Mudanças climáticas e estudos fenológicos como detectores dessas mudanças..... | 5 |
| 2. O Cerrado brasileiro no contexto das mudanças climáticas | 7 |
| HIPÓTESES | 9 |
| OBJETIVOS GERAIS..... | 9 |
| ESTRUTURA DA TESE | 10 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 11 |
| CAPÍTULO 1 - PHENOLOGICAL PREDICTABILITY INDEX IN BRAHMS: A TOOL FOR HERBARIUM-BASED PHENOLOGICAL STUDIES | 15 |
| CAPÍTULO 2 - ÍNDICE DE PREVISIBILIDADE FENOLÓGICA NA BUSCA DE PADRÕES FENOLÓGICOS NO DISTRITO FEDERAL | 21 |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 22 |
| 1.1. O uso das coleções botânicas em estudos de fenologia | 22 |
| 1.2. Software BRAHMS (<i>Botanical Research And Herbarium Management System</i>) e PPI (<i>Phenological Predictability Index</i>) | 24 |
| 2. OBJETIVOS | 26 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS..... | 26 |
| 3.1. Seleção das áreas de estudo | 26 |
| 3.2. Seleção das espécies..... | 28 |
| 3.3. Aquisição dos dados de campo | 33 |
| 3.4. Reconhecimento das fenofases..... | 34 |
| 3.5. Coleta dos dados de herbário..... | 34 |
| 3.6. Testes Estatísticos para comparação das amostras – ESECAE x PNB..... | 36 |
| 3.7. Padrões fenológicos..... | 41 |
| 4. RESULTADOS..... | 42 |
| 4.1. Fenologia vegetativa..... | 42 |
| 4.2. Fenologia reprodutiva | 50 |
| 5. DISCUSSÃO | 103 |
| 5.1. Padrões vegetativos..... | 103 |
| 5.2. Padrões reprodutivos | 107 |
| 6. CONCLUSÕES | 120 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 121 |

| | |
|---|------------|
| CAPÍTULO 3 - A IMPORTÂNCIA DO ÍNDICE DE PREVISIBILIDADE FENOLÓGICA (PPI) PARA O SUCESSO EM EXPEDIÇÕES DE CAMPO | 133 |
| 1.INTRODUÇÃO..... | 134 |
| 2.METODOLOGIA..... | 135 |
| 2.1. Seleção das espécies..... | 135 |
| 2.2. Seleção do local | 136 |
| 2.3. Levantamento e análise dos dados | 139 |
| 3.RESULTADOS E DISCUSSÃO | 140 |
| 4.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 144 |
| CAPÍTULO 4 - O USO DA MORFOMETRIA GEOMÉTRICA NO ESTUDO DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS | 147 |
| 1.INTRODUÇÃO..... | 148 |
| 2.OBJETIVOS | 151 |
| 3.MATERIAL E MÉTODOS..... | 151 |
| 3.1. Confeção dos climatogramas..... | 151 |
| 3.2. Morfometria Geométrica e Thin-Plate Spline | 152 |
| 3.3. Análise dos dados | 154 |
| 4.RESULTADOS..... | 156 |
| 4.1. Análise morfométrica dos histogramas circulares e agrupamento dos anos | 156 |
| 5.DISCUSSÃO | 170 |
| 6.CONCLUSÕES | 172 |
| 7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 173 |
| CAPÍTULO 5 - PROBABILIDADE, VARIABILIDADE CLIMÁTICA E FENOLOGIA DE ANGIOSPERMAS NO DISTRITO FEDERAL, BRASIL..... | 179 |
| 1.INTRODUÇÃO..... | 180 |
| 2.METODOLOGIA..... | 183 |
| 2.1. Seleção da área de estudo | 183 |
| 2.2. Seleção das espécies | 183 |
| 2.3. Análise dos dados..... | 188 |
| 3.RESULTADOS E DISCUSSÃO | 189 |
| 3.1. Previsibilidade e Fator de Efeito Ambiental..... | 189 |
| 3.2. Probabilidade máxima mensal da floração e precipitação | 190 |
| 4.CONCLUSÃO..... | 198 |
| 5.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 198 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS | 205 |

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

| | |
|--|-----|
| Figura 2.1. Variáveis climáticas - precipitação total, temperatura máxima média e temperatura mínima média - de Brasília/DF, no período do estudo..... | 28 |
| Figura 2.2. Fenograma vegetativo das espécies acompanhadas no Parque Nacional de Brasília e Estação Ecológica de Águas Emendadas e na Reserva Ecológica do IBGE | 43 |
| Figura 2.3. Porcentagem de foliação das espécies estudadas no Parque Nacional de Brasília e na Estação Ecológica de Águas Emendadas no período de Novembro de 2011 a Dezembro de 2012..... | 44 |
| Figura 2.4. Porcentagem de foliação das espécies estudadas na Reserva Ecológica do IBGE no período de Agosto de 2000 a Outubro de 2003..... | 44 |
| Figura 2.5. Produção e queda de folhas das espécies sempre-verdes com crescimento contínuo estudadas no Parque Nacional de Brasília e na Estação Ecológica de Águas Emendadas, DF..... | 47 |
| Figura 2.6. Produção e queda de folhas das espécies sempre-verdes com crescimento sazonal estudadas no Parque Nacional de Brasília e na Estação Ecológica de Águas Emendadas, DF..... | 48 |
| Figura 2.7. Produção e queda de folhas das espécies decíduas estudadas no Parque Nacional de Brasília e na Estação Ecológica de Águas Emendadas, DF..... | 49 |
| Figura 2.8. Produção e queda de folhas das espécies brevidecíduas estudadas no Parque Nacional de Brasília e na Estação Ecológica de Águas Emendadas, DF..... | 50 |
| Figura 2.9. Dados da fenofase Botão indicando os meses-pico para "Campo" e meses de máxima probabilidade para "Herbário" (cálculo do PPI) das espécies em estudo | 52 |
| Figura 2.10. Fenofase Botão das espécies estudadas..... | 67 |
| Figura 2.11. Dados da fenofase Flor indicando os meses-pico para "Campo" e meses de máxima probabilidade para "Herbário" (cálculo do PPI) das espécies em estudo | 68 |
| Figura 2.12. Fenofase Flor das espécies estudadas..... | 85 |
| Figura 2.13. Dados da fenofase Fruto indicando os meses-pico para "Campo" e meses de máxima probabilidade para "Herbário" (cálculo do PPI) das espécies em estudo | 86 |
| Figura 2.14. Fenofase Fruto das espécies estudadas | 102 |

CAPÍTULO 3

| | |
|---|-----|
| Figura 3.1. Gráficos gerados por meio da ferramenta PPI inserida no software BRAHMS mostrando a probabilidade de cada mês para a fenofase Botão de três espécies com comportamentos diferentes..... | 140 |
| Figura 3.2. Valores de PPI e meses de máxima previsibilidade para a fenofase Botão de 26 espécies estudadas no DF | 142 |
| Figura 3.3. Valores de PPI e meses de máxima previsibilidade para a fenofase Flor de 27 espécies estudadas no DF | 143 |
| Figura 3.4. Valores de PPI e meses de máxima previsibilidade para a fenofase Fruto de 24 espécies estudadas no DF | 143 |

CAPÍTULO 4

| | |
|--|-----|
| Figura 4.1. <i>Landmarks</i> inseridos nos climatogramas pelo <i>software</i> tpsDig | 156 |
| Figura 4.2. Gráfico de consenso dos histogramas circulares de temperatura máxima (n=45) sobrepostos pelo procedimento de quadrados mínimos. | 157 |
| Figura 4.3. Dendrograma para os histogramas circulares de temperatura máxima baseado nas Distâncias Euclidianas computadas dos escores das deformações relativas ($\alpha = 0$)..... | 159 |
| Figura 4.4. Análise das componentes principais e deformações relativas (RW) para valores de $\alpha = 0$ dos histogramas circulares de temperatura máxima | 160 |
| Figura 4.5. Gráfico de consenso dos histogramas circulares de temperatura mínima (n=45) sobrepostos pelo procedimento de quadrados mínimos | 161 |
| Figura 4.6. Dendrograma para os histogramas circulares de temperatura mínima baseado nas Distâncias Euclidianas computadas dos escores das deformações relativas ($\alpha = 0$)..... | 163 |
| Figura 4.7. Análise das componentes principais e deformações relativas (RW) para valores de $\alpha = 0$ dos histogramas circulares de temperatura mínima..... | 164 |
| Figura 4.8. Gráfico de consenso dos histogramas circulares de precipitação (n=45) sobrepostos pelo procedimento de quadrados mínimos | 165 |
| Figura 4.9. Dendrograma para os histogramas circulares de precipitação baseado nas Distâncias Euclidianas computadas dos escores das deformações relativas ($\alpha = 0$). Os números apresentados referem-se aos maiores valores de <i>bootstrap</i> obtidos..... | 167 |
| Figura 4.10. Análise das componentes principais e deformações relativas (RW) para valores de $\alpha = 0$ dos histogramas circulares de precipitação | 169 |

CAPÍTULO 5

| | |
|--|-----|
| Figura 5.1. Fotoperíodo para Planaltina, Distrito Federal..... | 182 |
| Figura 5.2. Gráfico de dispersão dos valores do índice de previsibilidade fenológica (PPI) e os meses de máxima probabilidade de 36 espécies do Cerrado do Distrito Federal..... | 190 |
| Figura 5.3. Correlação de Pearson (r) entre os valores de PPI mensal máximo (pico de probabilidade) e a distância do decêndio médio deste mês para o decêndio mais seco e mais chuvoso do ano..... | 191 |
| Figura 5.4. Gráfico de dispersão com regressão linear da relação existente entre as duas componentes da previsibilidade (constância e contingência) para 32 espécies do Cerrado..... | 197 |

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

| | |
|--|-----|
| Tabela 2.1. Espécies vegetais selecionadas para o estudo..... | 30 |
| Tabela 2.2. Espécies acompanhadas em campo, número de indivíduos marcados em cada UC estudada e número de registros inseridos e válidos no banco de dados..... | 36 |
| Tabela 2.3. Teste de Watson U^2 para Brotação | 38 |
| Tabela 2.4. Teste de Watson U^2 para Botão | 38 |
| Tabela 2.5. Teste de Watson U^2 para Flor..... | 39 |
| Tabela 2.6. Teste de Watson U^2 para Fruto | 39 |
| Tabela 2.7. Teste de Mann-Whitney (W)..... | 40 |
| Tabela 2.8. Registros considerados/analizados no estudo..... | 40 |
| Tabela 2.9. Dados da fenofase Botão de 26 espécies, por ordem decrescente do valor do PPI total.. | 60 |
| Tabela 2.10. Comparação entre as classificações das espécies em relação à frequência das fenofases Botão e Flor..... | 77 |
| Tabela 2.11. Dados da fenofase Flor de 27 espécies, por ordem decrescente do valor do PPI total ... | 78 |
| Tabela 2.12. Dados da fenofase Fruto de 24 espécies, por ordem decrescente do valor do PPI total. | 95 |
| Tabela 2.13. Frequência e distribuição temporal das fenofases reprodutivas de 28 espécies estudadas no Distrito Federal | 102 |

CAPITULO 3

| | |
|---|-----|
| Tabela 3.1. Espécies estudadas no Distrito Federal e utilizadas no teste do PPI | 137 |
|---|-----|

CAPÍTULO 4

| | |
|--|-----|
| Tabela 4.1. Variações de cada marco anatômico (LM#) dos histogramas circulares de temperatura máxima..... | 158 |
| Tabela 4.2. Variações de cada marco anatômico (LM#) dos histogramas circulares de temperatura mínima | 162 |
| Tabela 4.3. Variações de cada marco anatômico (LM#) dos histogramas circulares de precipitação..... | 166 |

CAPÍTULO 5

| | |
|---|-----|
| Tabela 5.1. Espécies vegetais selecionadas para o estudo com suas respectivas características ecológicas e valores de previsibilidade..... | 184 |
| Tabela 5.2. Espécies estudadas e seus respectivos valores de PPI mensais e total, constância (C) e contingência (M) e fator de efeito ambiental (Ie)..... | 193 |

RESUMO

Em ambientes tropicais as espécies vegetais apresentam padrões fenológicos influenciados por fatores bióticos e abióticos que podem ser estudados a partir de exsicatas depositadas em herbário. A informatização dessas coleções vem tornando os materiais herborizados cada vez mais utilizados, fundamentando estudos com os mais variados objetivos, principalmente em formações vegetais sob alta pressão antrópica, como o Cerrado. Os herbários são grandes bancos de dados que guardam informações geográficas, taxonômicas, ecológicas e fenológicas de espécies variadas e esses registros têm sido uma ferramenta útil para examinar tendências em longo prazo dos eventos fenológicos, principalmente quando relacionadas às mudanças temporais. Nos últimos anos, estudos fenológicos vêm sendo adotados com frequência como forma de prever o comportamento de sistemas biológicos frente às mudanças no clima, visto que entender o que controla a fenologia da vegetação é essencial na tentativa de compreender as possíveis mudanças futuras em relação à mudança de tempo e clima. Sabe-se que mudanças não previstas nos padrões climáticos estão ocorrendo e o aumento da temperatura tem interferido na distribuição geográfica, fisiologia, fenologia e adaptação *in situ* das espécies, assim como alterado o ciclo hidrológico, causando mudanças nos padrões de precipitação. Um dos objetivos deste trabalho foi desenvolver um índice matemático capaz de prever o comportamento fenológico de espécies vegetais a partir de registros contidos em grandes bancos de dados e como resultado foi incorporado ao programa BRAHMS um algoritmo interno denominado *Phenological Predictability Index* (PPI), que calcula a probabilidade de ocorrência dos eventos fenológicos em campo, com base em exsicatas, literatura e imagens datadas. Paralelamente, foi realizado o monitoramento quinzenal em campo, no Distrito Federal, de 22 espécies no período entre 2011 e 2013, das quais 11 nunca foram estudadas no Distrito Federal. Foram incluídas nas análises outras sete espécies, previamente estudadas na mesma região, entre os anos de 2000 e 2003. Os estudos de campo permitiram o cálculo da constância do evento fenológico, necessário para se deduzir a contingência, e o poder preditivo do PPI como ferramenta de planejamento de expedições de campo foi testado. Observaram-se quatro padrões fenológicos vegetativos e quatro padrões de antese e produção de botões e frutos. Para os eventos de floração o PPI previu os meses de maior atividade de cerca de 90% das espécies analisadas e para frutificação a previsão do mês-pico ocorreu para pouco menos de 50% delas. O período em que a fenofase tem maior chance de ocorrer foi previsto corretamente para 100% das espécies nos três eventos analisados (botão, flor e fruto). Considerando a existência da variação geográfica na fenologia sugere-se que os registros herborizados usados para o cálculo do PPI estejam dentro da mesma região climática dos locais onde ocorrerá o estudo ou a coleta. O insucesso no uso do índice poderá ocorrer no caso de espécies com fenologia supra-anual ou com baixo valor de PPI, o que indica alta contingência do evento, isto é, plasticidade fenotípica da espécie frente às mudanças locais ou climáticas entre anos. Sabendo da existência dessas mudanças interanuais no clima, diferentes técnicas têm sido utilizadas para estudar as variabilidades climáticas e seus efeitos, além de definir e prever padrões e anomalias. Assim, este trabalho propôs também o uso da morfometria geométrica, mais especificamente a técnica *Thin-Plate Spline* (TPS), no estudo de variáveis climáticas – em escala local e num período de 50 anos – para que dados climáticos de diversas décadas pudessem ser comparados entre si e os anos climaticamente semelhantes fossem identificados. O uso da morfometria geométrica em estudos voltados à variabilidade climática é inédito e a técnica se mostrou bastante útil ao apresentar a variabilidade anual existente entre os decêndios do ano, mesmo essa variação sendo muito pequena. Foi possível identificar que as variáveis temperatura máxima e precipitação apresentaram maior variação interanual no período chuvoso, enquanto para a variável temperatura mínima a maior variação ocorreu no período seco. Os agrupamentos obtidos apresentaram-se fracos para as três variáveis, no entanto, a análise reconheceu anos com presença de *El Niño* e *La Niña* no estudo da precipitação, variável que apresentou a maior variabilidade entre anos. A teoria da probabilidade foi utilizada para explorar o grau de previsibilidade e de oportunismo da floração no Distrito Federal e investigar possíveis relações com características climáticas como temperatura, precipitação e

fotoperíodo. Como conclusão, obteve-se o resultado comportamental mais amplo e geral de diferentes e importantes plantas do Cerrado e provou-se que o uso de espécimes coletados em um grande período de tempo – como registros de herbários – é útil no estudo da fenologia vegetal, quando se tem como objetivo definir comportamentos e padrões frente às mudanças ambientais. A identificação da variabilidade climática em pequeno espaço de tempo (p.ex. decêndios do ano), como feito por meio da técnica de *Thin-Plate Spline*, é de grande importância em estudos de vegetação, assim como a distinção de anos com ocorrência dos fenômenos *La Niña* e *El Niño*. Verificou-se que para a obtenção de melhores resultados, a análise da morfometria deve ser restrita a períodos mais curtos de tempo, como a estação chuvosa, quando ocorrem maiores variações climáticas no Distrito Federal, ou nos meses que antecedem a ocorrência dos eventos fenológicos. Poucas espécies parecem depender de algum estímulo ambiental para florescer, a maioria delas parece responder a uma combinação complexa de estímulos como precipitação, temperatura e fotoperíodo, combinados a ritmos endógenos e, para algumas, à passagem do fogo. A utilização do PPI como forma de quantificar a chance que o material de interesse tem de ser encontrado em campo tende a garantir o sucesso das expedições de campo, resultando em aceleração e economia para as pesquisas.

Palavras-chave: Cerrado, Distrito Federal, fenologia, morfometria, teoria da probabilidade, variabilidade climática.

ABSTRACT

In tropical vegetation, flowering plants have phenological patterns influenced by biotic and environmental factors and that can be studied using herbarium specimens. Herbarium databasing has accelerated the use of such data, providing baseline information for studies with many kinds of different objectives, particularly for regions under pressure from humans, such as the Cerrado. Herbaria are large databases that preserve geographic, taxonomic, ecologic and phenologic information and such records are very useful to study long-term tendencies in phenology. In the last few years, phenological studies have become very popular as a key to predicting how biological systems will respond to climate changes, since understanding what controls plant phenology is essential to try and understand possible future changes in climate and weather. It is becoming clear that unprecedented changes in climatic patterns are underway and that the increase in temperature is interfering in the distribution, physiology, phenology and *in situ* adaptation of many species, as well as modifying the hydrological cycle, therefore changing rainfall patterns. One of the objectives of this study was to develop a mathematical index capable of predicting the phenological behaviour of plant species based on large databases. As a result, a formula was devised and an algorithm was incorporated into BRAHMS that calculates an index we have called the *Phenological Predictability Index* (PPI), that calculates the probability of registering a phenological event in the field based on herbarium, literature and dated images. Our study focused on a representative sample of Angiosperm species that are common the Distrito Federal, Brazil. Along with phenological scoring of herbarium data, 22 species were monitored twice a month in the field between 2011 and 2013. Seven species that were studied between 2000 e 2003 also in the Distrito Federal were included in the analyses. Our field study (as well as other published studies) permitted us to calculate average individual constancy of the phenological event so that contingency could be deduced. Results obtained in the field were compared with those predicted by the PPI index. Peak flowering month was congruent with maximum monthly probability for c. 90% of species and peak fruiting month was congruent with maximum monthly probability in 50% of species. Scoring events in the field was 100% successful for visits in peak probability months (buds, flowers and fruit). Considering the existence of geographic variability in phenology, we suggest that the herbarium records used to calculate PPI are within the same climatic region where the study or collecting expedition is planned to occur. Lack of success in PPI prediction of an event may be due to the fact that it is supra-annual (mast species) or event predictability is very low, meaning it is highly plastic, presumably responding to year-to-year climatic variation or to local conditions. A second aim of this study is to improve knowledge of patterns and identify possible anomalies in year-to-year climatic variability. This study used geometric morphometrics, specifically the *Thin-Plate Spline* (TPS) technique, in the study of decennial climatic variables – minimum temperature, maximum temperature and precipitation – on a local scale and over a time scale of 50 years, thus allowing climatic data for several decades to be compared and putatively climatically similar years to be identified. The use of geometric morphometrics in climate studies is unprecedented and the technique was useful to quantify the decennial climatic variability even when it was small. Precipitation showed the highest variability by far with the highest value found in the second decendium of November. Maximum temperatures showed maximum variability during the wet season and minimum temperatures during the dry season. UPGMA was used to group years using the three variables, but bootstrap values were below 50, suggesting 50 years might be insufficient for pattern formation. However, UPGMA based on precipitation was successful in grouping *El Niño* and *La Niña* years. Probability theory was used to explore the degree of flowering predictability and opportunism in the Distrito Federal and investigate possible relationships with climatic variables, such as temperature, precipitation and photoperiod. We conclude that the behaviour of this sample of a diversified and important group of common Cerrado plants studied – as herbarium records – is useful in the study of plant phenology, if the objective is to elucidate behaviour and patterns in response to environmental variables. The

identification of climatic variability using short time (such as 10 days), as done using the *Thin-Plate Spline* technique, is of great importance in vegetation studies, as is the distinction of years with *La Niña* and *El Niño* phenomena. For best results, morphometric analyses should be restricted to seasons, such as the rainy season, when major climatic variability occurs in the Distrito Federal, or in the months that precede the desired phenological events. Few species appear to be independent of environmental stimulus to flower, and many of them may respond to a complex pattern of stimuli such as precipitation, temperature and photoperiod, combined with endogenous rhythms or after burning. Using PPI as a means of quantifying the probability that botanical material has of being found the desired phenological state in the field can enhance success in field expeditions, resulting in faster and more economical research.

Key-words: Cerrado, Distrito Federal, phenology, morphometrics, probability theory, climatic variability.

INTRODUÇÃO GERAL

1. Mudanças climáticas e estudos fenológicos como detectores dessas mudanças

É quase consenso entre pesquisadores da atualidade que as mudanças climáticas estão sendo acentuadas pela ação antrópica, causando impacto significativo sobre o meio ambiente nas escalas local, regional e global (Maytín *et al.* 1995; Chuine *et al.* 2000; Fuhrer 2003; Donnelly *et al.* 2004; Menzel *et al.* 2006).

O quinto e mais recente relatório de avaliação do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC 2013) aponta aumento da temperatura superficial média global de 0.85 °C, em média, no período entre 1880 e 2012 e aumento total entre as médias dos períodos 1850-1900 e 2003-2012 de 0.78 °C. No entanto, painéis anteriores (IPCC 2001, 2007) afirmaram que a década de 1990 foi a mais quente, com maiores valores de temperatura em 1998, desde que registros instrumentais começaram. É previsto que até o ano 2100 ocorra elevação na temperatura média global de 1.4 a 5.8 °C - podendo chegar a 6.4 °C - em combinação com mudanças na precipitação e aumento da frequência de fenômenos meteorológicos extremos, como furacões e tempestades (Aerts *et al.* 2006), o que provocará a perda de espécies no Brasil Central e em outras regiões da América Latina (Siqueira & Peterson 2003; Miles *et al.* 2004; Thomas *et al.* 2004). O relatório 2010 do Projeto Millennium (The Millennium Project 2010) relata que as atuais mudanças nos padrões climáticos não eram esperadas pelas projeções do IPCC até 2020. De 1970 a 2000, a concentração de CO₂ na atmosfera aumentou 1.5 ppm/ano e, desde então, tem crescido a 2.1 ppm a cada ano, alcançando 392.4 ppm em abril de 2010.

Mudanças climáticas em escalas regionais ou locais são muitas vezes mais sutis e variáveis (Donnelly *et al.* 2004). Existem amplas evidências que essas recentes mudanças afetam um grande número de organismos em diversas regiões do mundo (Fitter & Fitter 2002; Parmesan & Yohe 2003), e que a determinação da produtividade primária, a distribuição da vegetação e os ritmos fenológicos dos organismos vegetais estão se alternando em resposta à mudança climática (Menzel 2003; Peñuelas *et al.* 2004; Ahas & Aasa 2006; Menzel *et al.* 2006).

Segundo Schwartz (1999), o comportamento fenológico de espécies vegetais é muito sensível às alterações nas condições climáticas. Estudos com espécies tropicais sugerem que os padrões fenológicos da vegetação em geral são influenciados por fatores bióticos como a atividade de polinizadores e a dispersão e germinação de sementes, e fatores abióticos como irradiação, temperatura, precipitação, estresse hídrico e fotoperíodo (Janzen 1967; Monasterio & Sarmiento

1976; Sarmiento & Monasterio 1983; Rathcke & Lacey 1985; Morellato *et al.* 2000), sendo os últimos muitas vezes limitantes para a fenologia (Reich & Borchert 1984; Wrigth & van Schaik 1994).

Há na literatura um grande volume de dados evidenciando as respostas fenológicas das plantas ao aquecimento do clima, originados de estudos com registros de várias décadas de acompanhamento ou de estudos experimentais mostrando que as temperaturas do ar e/ou solo têm aumentado ativa ou passivamente (Aerts *et al.* 2006; Menzel *et al.* 2006). Tais estudos concentram-se principalmente no hemisfério norte e referem-se ao adiantamento do primeiro dia de floração ou da retomada do crescimento vegetativo pós-inverno nas décadas de 1980 e 1990 em relação às décadas anteriores (Murray *et al.* 1989; Menzel *et al.* 2006).

Estudos que utilizam a fenologia vegetal, e muitas vezes sua relação com a fauna, para detectar e monitorar os efeitos das mudanças climáticas estão em andamento em várias partes do mundo, com a maioria das redes de observação localizada em ecossistemas temperados. Há algumas décadas, estes estudos têm colaborado com a criação de modelos preditivos dos efeitos causados pelas alterações do clima (Myneni *et al.* 1997; Schwartz 1998; Ahas & Aasa 2006; Kudo & Hirao 2006; Cleland *et al.* 2007, Bustamante *et al.* 2012). Tais predições têm se confirmado e novos modelos baseados em bancos de dados cada vez maiores em número de espécies têm sido propostos (Fitter & Fitter 2002; Root *et al.*, 2003; Parmesan & Yohe 2003; Menzel *et al.* 2006).

Os herbários são grandes bancos de dados cujos registros são replicáveis, com sucesso, como ferramentas para examinar as tendências em longo prazo de eventos fenológicos e a relação destes com as mudanças climáticas (Miller-Rushing *et al.* 2006). Por outro lado, o simples registro de temperatura no decorrer dos anos e a comparação entre estes valores, não respondem muitas das indagações feitas acerca das mudanças no comportamento fenológico de espécies tropicais. Por isso novas metodologias devem ser testadas, como a morfometria geométrica, técnica capaz de medir variações na forma e que pode, através de climatogramas, identificar a variabilidade climática interanual existente, muitas vezes imperceptível em outros métodos, ao comparar dados climáticos de diversas décadas.

A Morfometria Geométrica é um conjunto de técnicas no estudo da forma de estruturas biológicas que representam, por meio de contornos (*outlines*) ou marcos anatômicos (*landmarks*), as formas de uma maneira compreensiva através de dados numéricos médios (Rohlf 1999).

A morfometria em uma de suas definições mais clássicas designa qualquer análise quantitativa da variação morfológica dos organismos e é definida como o estudo da forma e do tamanho, e de como estas variáveis se relacionam entre si. A técnica de Morfometria Geométrica, além de analisar e quantificar a variação entre as formas, permite a clara visualização gráfica das diferenças, sendo capaz de descrever e localizar mais claramente as regiões de mudanças na forma e, sobretudo, de

reconstruir e reconstituir graficamente estas diferenças, visto que trabalha com as posições relativas (coordenadas cartesianas) dos marcos anatômicos (Bookstein 1989, 1991).

Uma vez extraídas, estas características são utilizadas em análises multivariadas, como análise de componentes principais e análise discriminante, para a verificação da formação ou não de grupos homogêneos envolvendo os objetos analisados (Francoy & Fonseca 2010). Desse modo, se cada ano for exposto como um gráfico de variáveis climáticas, estes podem ser comparados entre si por meio de técnicas de morfometria geométrica.

2. O Cerrado brasileiro no contexto das mudanças climáticas

O Brasil, com a sua dimensão continental, apresenta diversos ecossistemas que foram definidos e limitados ao longo do tempo, em decorrência das características climáticas, do solo, da topografia e da biodiversidade. Em alguns desses ecossistemas, a variabilidade climática já é suficiente para imprimir sinais significativos, tanto nas condições naturais da biodiversidade quanto nas atividades sócio-econômicas (Salati *et al.* 2002).

O Cerrado brasileiro é um desses ecossistemas, sendo composto por fitofisionomias que formam um mosaico vegetacional e que possuem relações ecológicas e fisionômicas com outras savanas da América Tropical e da Austrália. Apresenta clima classificado predominantemente, como Aw de Köppen (tropical chuvoso) e caracterizado por invernos secos e verões chuvosos. Possui média anual de precipitação de 1.500 mm, variando de 750 mm a 2.000 mm, e com maior concentração entre outubro e março. A temperatura média do mês mais frio é superior a 18°C. O contraste entre as superfícies mais baixas (inferiores a 300 m), as longas chapadas entre 900 m e 1.600 m e a extensa distribuição latitudinal conferem ao Cerrado uma diversificação térmica bastante grande (Ribeiro & Walter 2008).

A sazonalidade do clima, o solo pobre em nutrientes e a presença de fogo apresentam papel fundamental na germinação, no estabelecimento e no desenvolvimento inicial de muitas lenhosas do Cerrado (Oliveira & Silva 1993; Hoffmann 1996; Simon & Hay 2003). Diversos estudos indicam que tais espécies são capazes de se estabelecer em condições naturais, mas o crescimento inicial é limitado pelo sombreamento e sazonalidade climática (disponibilidade hídrica), já que as plântulas germinadas na estação chuvosa devem ser capazes de atravessar o período seco subsequente, quando a disponibilidade de água nas camadas superficiais do solo é reduzida (Rizzini 1965; Oliveira & Silva 1993; Nardoto *et al.* 1998; Moreira & Klink 2000; Kanegae *et al.* 2000).

Da mesma forma ocorre com espécies do estrato herbáceo-subarbustivo, que possuem sistemas subterrâneos superficiais e, portanto, sofrem restrições hídricas (Batalha & Mantovani

2000); e com espécies de briófitas hepáticas, cuja diversidade, riqueza de espécies e possibilidade de propagação (taxa de fertilidade) são favorecidas na estação mais úmida (Carvalho & Xavier-Santos 2005).

Em savanas neotropicais as camadas superficiais do solo durante a estação seca e veranicos sofrem redução na disponibilidade de água (Kanegae *et al.* 2000). Veranicos são períodos de interrupção da precipitação que ocorrem durante a estação chuvosa e, comumente, afetam os cerrados (Cochrane *et al.* 1988). O veranico ocorre, conforme a localização, com maior ou menor frequência e duração, mas tende a ocorrer mais frequentemente nos meses de janeiro (Assad *et al.* 1993), coincidindo, muitas vezes, com o período de florescimento de algumas espécies, ou seja, na sua fase mais sensível (Carvalho *et al.* 2000). Nesses períodos a baixa disponibilidade hídrica facilita a ocorrência de queimadas, comuns no bioma Cerrado.

O fogo é um elemento determinante na caracterização da flora do Cerrado (Coutinho 1990) que, por adaptação, cresce rapidamente após a ocorrência de um incêndio a partir de meristemas bem protegidos nas árvores (Vieira *et al.* 1996). No entanto, a morte da parte aérea das árvores (*topkill*) representa a redução do tamanho das plantas e prejuízos para o crescimento das populações, pois suas mudas podem persistir como jovens suprimidos por muitos anos, já que os caules continuam a rebrotar repetidamente após terem sido queimados por fogos anteriores (Hoffmann & Solbrig 2003). Ou seja, enquanto indivíduos grandes são virtualmente imunes aos danos causados pelo fogo, queimadas repetidas podem manter indivíduos menores com tamanhos pequenos, sendo que eles raramente morrem. Logo, a longevidade das árvores adultas do Cerrado e a persistência dos indivíduos menores através do rebrotamento podem determinar a manutenção da comunidade lenhosa no Cerrado, desde que os intervalos entre as queimadas sejam maiores que cinco anos (Ribeiro *et al.* 2012), caso contrário poderá haver a morte de indivíduos.

Um aumento de 0.2°C/0.5°C por década das temperaturas máxima, média e mínima, assim como mudanças no nível de precipitação, causará maiores riscos de incêndio florestal ao estender a “época de queimadas”, aumentando o número de ocorrências de incêndio e incêndios de maiores portes, o que implicará principalmente na desvalorização da paisagem, aumento da erosão e mudança do uso do solo, além da perda de biodiversidade e diminuição da produtividade (Bento-Gonçalves *et al.* 2012).

Especialistas concordam que a distribuição de espécies vegetais é fortemente influenciada pelo clima e em particular pela temperatura e regime hídrico (Chuine & Baeubien 2001). Uma previsão sobre o modo como o clima poderia influenciar a vegetação do Cerrado em 50 anos resultou na redução de 25% a 90% de sua área original e muitas espécies arbóreas tiveram projeções de declínios em suas distribuições geográficas, sendo previstas reduções maiores que 50% para todas as espécies

analisadas (Siqueira & Peterson 2003). Os autores observaram que pelo menos 11% das espécies podem ficar sem área habitável no futuro, e esse número pode alcançar 53%, enquanto mais da metade das espécies terão sua distribuição geográfica reduzida em mais de 90% da sua área original. O estudo conclui que, além da perda de área habitável para muitas espécies, pode haver um grande deslocamento dessas áreas em direção ao sul e leste do país.

Desse modo, mudanças no clima do Cerrado podem diminuir altamente sua área habitável e ser responsável pela perda de espécies da fauna e da flora, pela diminuição no número de espécies arbóreas e sua substituição por espécies herbáceas, além de mudanças na distribuição geográfica e nos padrões fenológicos das espécies nativas (Batalha & Mantovani 2000; Siqueira & Peterson 2003; Mudanças Climáticas 2011).

HIPÓTESES

1. Bancos de dados de herbários podem ser utilizados para reconstruir o comportamento fenológico de espécies e comunidades vegetais no passado;
2. O histórico fenológico de espécies vegetais pode ser deduzido através de registros de longo prazo;
3. Dados do comportamento fenológico no passado podem alimentar sistemas preditivos de como as mudanças climáticas afetarão, no futuro, a fenologia das plantas de Cerrado no Distrito Federal.

OBJETIVOS GERAIS

1. Desenvolver um índice matemático capaz de prever o comportamento fenológico de espécies vegetais a partir de registros contidos em grandes bancos de dados, assim como na literatura;
2. Consolidar a informação fenológica do período 1963-2013 nas coleções botânicas disponíveis nos herbários do Distrito Federal para fomentar futuros estudos de monitoramento climático no DF, especialmente ritmos climáticos anuais, através do seu refinamento;
3. Comparar o pico e grau de concentração das fenofases através do Índice de Previsibilidade Fenológica (*Phenological Predictability Index – PPI*), algoritmo interno do programa BRAHMS;
4. Acompanhar em campo a fenologia de populações de 22 espécies selecionadas como uma subamostra ecologicamente representativa e filogeneticamente diversa e bem representada nas coleções botânicas do Distrito Federal;

5. Usar dados coletados em campo para avaliar o sucesso do PPI em prever estados fenológicos;

6. Usar dados coletados em campo para decompor os fatores constância e contingência do PPI, assim identificando as espécies cuja fenologia é mais afetada pelas variações temporais-ambientais.

ESTRUTURA DA TESE

A tese foi estruturada em cinco capítulos e considerações finais.

O primeiro capítulo, já publicado, apresenta a nova ferramenta utilizada neste estudo: o Índice de Previsibilidade Fenológica (*Phenological Predictability Index* – PPI). Neste artigo mostramos o funcionamento e as premissas do índice, aplicando-o em dados herborizados de oito espécies nativas do Cerrado e comparando o resultado aos dados fenológicos coletados em campo no Distrito Federal.

O segundo capítulo descreve o acompanhamento fenológico de 28 espécies comuns do cerrado do Distrito Federal. Aqui elucidamos os padrões fenológicos no que diz respeito à sazonalidade, distribuição, frequência, previsibilidade, constância e contingência dos eventos reprodutivos (emissão de botão floral, antese e produção de frutos). Também consolidamos a informação fenológica presente em coletas herborizadas disponíveis nos herbários, em fotos datadas e em estudos fenológicos realizados nas últimas seis décadas no Distrito Federal.

O capítulo seguinte, escrito em forma de artigo, será submetido ao periódico *Journal of Vegetation Science* e testa o funcionamento do PPI como ferramenta de planejamento de expedições de campo, visto que a utilização do índice como forma de quantificar a chance que o material de interesse tem de ser encontrado em campo tende a garantir o sucesso das expedições de campo e, por consequência, resultam em aceleração e economia para as pesquisas.

O quarto capítulo trata da utilização da morfometria geométrica em estudos de variáveis climáticas. Neste ponto testamos a capacidade da técnica de *Thin-Plate Spline* em identificar anos climatologicamente semelhantes no Distrito Federal durante um período de 50 anos e em distinguir anos com presença de fenômenos climáticos, como *El Niño* e *La Niña*, de anos considerados normais, ou seja, com ausência de eventos desse tipo.

O quinto e último capítulo mostra as relações existentes entre o grau de previsibilidade e de oportunismo do evento fenológico floração e as características climáticas de alta (temperatura e fotoperíodo) e baixa (precipitação) previsibilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aerts, R.; Cornelissen, J.H.C. & Dorrepaal, E. 2006. Plant performance in a warmer world: general responses of plants for cold, northern biomes and the importance of winter and spring events. **Plant Ecology** **182**: 65-67.
- Ahas, R. & Aasa, A. 2006. The effects of climate change on the phenology of selected Estonian plant, bird and fish populations. **International Journal of Biometereology** **51**: 17-26.
- Assad, E.D.; Sano, E.E.; Masutomo, R.; Castro, L.H.R. & Silva, F.A.M. 1993. Veranicos na região dos cerrados brasileiros – frequência e probabilidade de ocorrência. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* **28**(9): 993-1003.
- Batalha, M.A. & Mantovani, W. 2000. Reproductive phenological patterns of cerrado plant species at the Pé-de-Gigante Reserve (Santa Rita do Passa Quatro, SP, Brazil): A comparison between the herbaceous and woody floras. **Revista Brasileira de Botânica** **60**: 129-145.
- Bento-Gonçalves, A.; Vieira, A.; Ferreira-Leite, F. & Lourenço, L. 2012. Mudanças climáticas e risco de incêndio florestal no AVE (noroeste de Portugal). **Revista Geonorte - Edição Especial** **1**(4): 830-842.
- Bookstein, F.L. 1989. Principal Warps: Thin-Plate Splines and the decomposition of deformations. **IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence** **11**(6): 567-585.
- _____. 1991. **Morphometrics tools for landmarks data: geometry and biology**. Cambridge University Press, New York, 435p.
- Bustamante, M.M.C.; Nardoto, G.B.; Pinto, A.S.; Resende, J.C.F.; Takahashi, F.S.C. & Vieira, L.C.G. 2012. Potential impacts of climate change on biogeochemical functioning of Cerrado ecosystems. **Brazilian Journal Biology** **72**(3-suppl.): 655-671.
- Carvalho, B.C.S. & Xavier-Santos, S. 2005. Efeito da sazonalidade climática na distribuição das hepáticas (Hepatophyta) da Reserva Ecológica do campus da UEG-Anápolis/GO. In: **Anais do VII Congresso de Ecologia do Brasil**. VII Congresso de Ecologia do Brasil, Caxambu-MG.
- Carvalho, D.F.; Faria, R.A.; Sousa, S.A.V. & Borges, H.Q. 2000. Espacialização do período de veranico para diferentes níveis de perda de produção na cultura do milho, na Bacia do Rio Verde Grande, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** **4**(2): 172-176.
- Chuine, I. & Baeubien, E.G. 2001. Phenology is a major determinant of tree species range. **Ecology Letters** **4**: 500-510.
- Chuine, I.; Cambon, G. & Comtois, P. 2000. Scaling phenology from the local to the regional level: advances from species-specific phenological models. **Global Change Biology** **6**: 943-952.
- Cleland, E.E.; Chuine, I.; Menzel, A.; Mooney, H.A. & Schwartz, M.D. 2007. Shifting plant phenology in response to global change. **Trends in Ecology and Evolution** **22**: 357-365.
- Cochrane, T.T.; Porras, J.A. & Henao, M. R. 1988. The relative tendency of the cerrados to be affected by veranicos: a provisional assessment. Pp.229-239. In: **Anais do VI Simpósio sobre o Cerrado, Savanas:**

- alimento e energia.** VI Simpósio sobre o Cerrado, Brasília, DF. EMBRAPA-CPAC.
- Coutinho, L.M. 1990. Fire in the ecology of Brazilian Cerrado. Pp: 82-105. In: J.G. Gold-amer (ed.). **Fire in the tropical biota.** Springer, Verlag, Berlin.
- Donnelly, A.; Jones, M.B. & Sweeney, J. 2004. A review of indicators of climate change for use in Ireland. **International Journal Biometeorology 49:** 1-12.
- Fitter, A.H. & Fitter, R.S.R. 2002. Rapid changes in flowering time in British plants. **Science 296:** 1689-1691.
- Francoy, T.M. & Fonseca, V.L.I. 2010. A morfometria geométrica de asas e a identificação automática de espécies de abelhas. **Oecologia Australis 14(1):** 317-321.
- Fuhrer, J. 2003. Agroecosystem responses to combinations of elevated CO₂, ozone and global climate change. **Agriculture, Ecosystems and Environment 97:** 1-20.
- Hoffmann, W.A. 1996. The effects of fire and cover on seedling establishment in a neotropical savanna. **Journal of Ecology 84(3):** 383-393.
- Hoffmann, W.A. & Solbrig, O.T. 2003. The role of topkill in the differential response of savanna woody species to fire. **Forest Ecology and Management 180:** 273-286.
- IPCC. 2001. **Climatic change 2001: impacts, adaptations and vulnerability.** Cambridge University Press, Cambridge.
- _____. 2007. **Climatic change 2007: impacts, adaptations and vulnerability.** Cambridge University Press, Cambridge.
- _____. 2013. **Climatic change 2013: the physical science basis.** Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.
- Janzen, D.H. 1967. Synchronization of sexual reproduction of trees within the dry season in Central America. **Evolution 21:** 620-637.
- Kanegae, M.F.; Braz, V.S. & Franco, A.C. 2000. Efeitos da seca sazonal e disponibilidade de luz na sobrevivência e crescimento de *Bowdichia virgilioides* em duas fitofisionomias típicas dos cerrados do Brasil Central. **Revista Brasileira de Botânica 23(4):** 459-468.
- Kudo, G. & Hirao, A.S. 2006. Habitat-specific responses in the flowering phenology and seed set of alpine plants to climate variation: implications for global-change impacts. **Population Ecology 48:** 49-58.
- Maytín, C. E.; Acevedo, M.F.; Jaimez, R.; Andressen, R.; Harwell, M.A.; Robock, A. & Azócar, A. 1995. Potential effects of global climatic change on the phenology and yield of maize in Venezuela. **Climatic Change 29:** 189-211.
- Menzel, A. 2003. Plant phonological anomalies in Germany and their relation to air temperature and NAO. **Climatic Change 57:** 243-263.
- Menzel, A.; Sparks, T.H.; Estrella, N.; Koch, E.; Aasa, A.; Ahas, R.; Alm-Kübler, K.; Bissolli, P.; Braslavská, O.; Briede, A.; Chmielewski, F.M.; Crepinsek, Z.; Curnell, Y.; Dahl, Å.; Defelia, C.; Donnelly, A.; Filella, Y.;

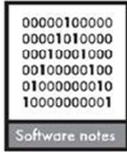
- Jatczak, K.; Måge, F.; Mestre, A.; Nordli, Ø.; Peñuelas, J.; Pirinen, P.; Remišová, V.; Scheifinger, H.; Striz, M.; Susnik, A.; van Vliet, A.J.H.; Wielgolaski, F.E.; Zack, S. & Zust, A. 2006. European phenological response to climate change matches the warming pattern. **Global Change Biology** **12**: 1969-1976.
- Miles, L.; Grainger, A. & Phillips, O. 2004. The impact of global climate change on tropical forest biodiversity in Amazonia. **Global Ecology and Biogeography** **13**: 553-565.
- Miller-Rushing, A.J.; Primack, R.B.; Primack, D. & Mukunda, S. 2006. Photographs and herbarium specimens as tools to document phenological changes in response to global warming. **American Journal of Botany** **93**(11): 1667–1674.
- Monasterio, M. & Sarmiento, G. 1976. Phenological strategies of plants species in the tropical savanna and semideciduous forest of the Venezuelan Llanos. **Journal of Biogeography** **3**: 325-356.
- Moreira, A.G. & Klink, C.A. 2000. Biomass allocation and growth of tree seedlings from two contrasting Brazilian savannas. **Ecotropicos** **13**(1): 43-51.
- Murray, M.B.; Cannell, M.G.R. & Smith, R.I. 1989. Date of budburst of fifteen tree species in Britain following climatic warming. **Journal of Applied Ecology** **26**: 693-700.
- Mudanças Climáticas. 2011. A agonia do Cerrado. Disponível em: <http://www.mudancasclimaticas.andi.org.br/node/779>. Acesso em: MAR/2011.
- Myneni, R.B.; Keeling, C.D.; Tucker, C.J.; Asrar, G. & Nemani, R.R. 1997. Increasing plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. **Nature** **386**: 698-702.
- Nardoto, G.B.; Souza, M.P. & Franco, A.C. 1998. Estabelecimento e padrões sazonais de produtividade de *Kielmeyera coriacea* (Spr) Mart. nos cerrados do Planalto Central: efeitos do estresse hídrico e sombreamento. **Revista Brasileira de Botânica** **21**(3): <<http://dx.doi.org/10.1590/S010084041998000300011>>.
- Oliveira, P.E. & Silva, J.C.S. 1993. Reproductive biology of two species of *Kielmeyera* (Guttiferae) in the cerrados of Central Brazil. **Journal Tropical Ecology** **9**: 67-79.
- Parmesan, C. & Yohe, G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. **Nature** **421**: 37-42.
- Peñuelas, J.; Filella, I.; Zhang, X.; Llorens, L.; Ogaya, R.; Lloret, F.; Comas, P.; Estiarte, M. & Terradas, J. 2004. Complex spatiotemporal phenological shifts as a response to rainfall changes. **New Phytologist** **161**: 837-846.
- Rathcke, B. & Lacey, E.P. 1985. Phenological patterns of terrestrial plants. **Annual Review of Ecology and Systematics** **16**: 179-214.
- Reich, P.B. & Borchert, R. 1984. Water stress and tree phenology in a tropical dry forest in the lowlands of Costa Rica. **Journal of Ecology** **72**(1): 61-74.
- Ribeiro, J.F. & Walter, B.M.T. 2008. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. Pp: 151-212. In: S.M. Sano; S.P. Almeida & J.F. Ribeiro (eds). **Cerrado: Ecologia e Flora. v.2**. Embrapa Cerrados/Embrapa Informação Tecnológica, Brasília-DF.

- Ribeiro, M.N.; Sanchez, M.; Pedroni, F. & Peixoto, K.S. 2012. Fogo e dinâmica da comunidade lenhosa em cerrado sentido restrito, Barra do Garças, Mato Grosso. **Acta Botanica Brasilica** **26**(1): 203-217.
- Rizzini, C.T. 1965. Experimental studies on seedling development of cerrado woody plants. **Annals of Missouri Botanical Garden** **52**(3): 410-426.
- Rohlf, F.J. 1999. Shape statistics: procrustes superimpositions and tangent spaces. **Journal of Classification** **16**: 197-223.
- Root, T.L.; Price, J.T.; Hall, K.R.; Schneider, S.H.; Rosenzweig, C. & Pounds, J.A. 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. **Nature** **421**: 57-60.
- Salati, E.; Santos, A.A. & Nobre, C. 2002. As mudanças climáticas globais e seus efeitos nos ecossistemas brasileiros. <<http://www.comciencia.br/reportagens/clima/clima14.htm#4>>. Acesso em: MAR/2011.
- Sarmiento, G. & Monasterio, M. 1983. Life forms and phenology. Pp: 79-108. In: F. Bourliere (ed). **Ecosystems of the World XIII**. Tropical Savannas, Elsevier, Amsterdam.
- Schwartz, M.D. 1998. Green-wave phenology. **Nature** **394**: 839-840.
- _____. 1999. Advancing to full bloom: planning phenological research for the 21st century. **International Journal of Biometeorology** **42**: 113-118.
- Simon, M.F. & Hay, J.D. 2003. Comparison of a common and rare species of *Mimosa* (Mimosaceae) in Central Brazil. **Austral Ecology** **28**: 315-326.
- Siqueira, M.F. & Peterson, A.T. 2003. Consequences of global climate change for geographic distributions of Cerrado tree species. **Biota Neotropica** **3**(2): <<http://www.biotaneotropica.org.br/v3n2/pt/abstract?article+BN00803022003>>.
- The Millennium Project. 2010. **O Estado do Futuro 2010 – Sumário executivo**. Núcleo de estudos do futuro, PUC-SP, São Paulo-SP.
- Thomas, C.D.; Cameron, A.; Green, R.E.; Bakkenes, M.; Beaumont, L.J.; Collingham, Y.C.; Erasmus, B.F.N.; Siqueira, M.F.; Grainger, A.; Hannah, L.; Hughes, L.; Huntley, B.; Jaarsveld Van, A.S.; Midgley, G.F.; Miles, L.; Ortega-Huerta, M.A.; Peterson, A.T.; Phillips, O.L. & Williams, S.E. 2004. Extinction risk from climate change. **Nature** **427**: 145-148.
- Vieira, E. M.; Andrade, I. & Price, P. W. 1996. Fire effects on a *Palicourea rigida* (Rubiaceae) gall midge: a test of the plant vigor hypothesis. **Biotropica** **28**(2): 210-217.
- Wright, S.J. & van Schaik, C.P. 1994. Light and the phenology of tropical trees. **The American Naturalist** **143**(1): 192-199.

**PHENOLOGICAL PREDICTABILITY INDEX IN BRAHMS: A TOOL FOR HERBARIUM-BASED
PHENOLOGICAL STUDIES ¹**

Carolyn E. B. Proença, Denis L. Filer, Eddie Lenza, Juliana S. Silva and Stephen A. Harris

¹ Artigo publicado na *Ecography* 35: 289-293, 2012.



Phenological Predictability Index in BRAHMS: a tool for herbarium-based phenological studies

Carolyn E. B. Proença, Denis L. Filer, Eddie Lenza, Juliana S. Silva and Stephen A. Harris

C. E. B. Proença and J. S. Silva, *Depto de Botânica, ICB Bloco D, Univ. de Brasília, Campus Darcy Ribeiro, 70, BR-919-900 Brasília, Distrito Federal, Brazil.* – D. L. Filer and S. A. Harris (*stephen.harris@plants.ox.ac.uk*), *Dept of Plant Sciences, Univ. of Oxford, South Parks Road, Oxford, OX1 3RB, UK.* – E. Lenza, *Depto de Ciências Biológicas, Univ. do Estado de Mato Grosso, Nova Xavantina, 78, BR-690-000 Mato Grosso, Brazil.*

Phenological Predictability Index (PPI) is a tool for analysing phenological patterns incorporating herbarium data within BRAHMS (Botanical Research and Herbarium Management System). PPI produces a maximum-activity period and associated event predictability index between -0 and 1 . Simple, monthly random sampling showed the ideal number of unique records (event/month/year) is > 50 . PPI correctly predicted the maximum-activity flowering month for seven out of eight species studied in the field, and was positively correlated ($R^2 = 0.610$, $p = 0.02$) with phenophase length, even using sub-optimum numbers of unique records.

Botanical collections, amassed over four centuries, contain vast amounts of data; there are currently 3300 herbaria and the two largest herbaria (Kew and Paris) together house ca 15 million specimens ($< \text{http://sciweb.nybg.org/science2/IndexHerbariorum.asp} >$). Collection curators have encouraged contributors to deposit fertile specimens, with collection date and location as minimum metadata. Furthermore, as web-based digitisation projects continue apace, such data are readily accessible to many non-traditional users of herbaria (Hine 2006). For example, South African and Australian herbaria have one and six million specimens databased, respectively (Smith et al. 2003, MacGillivray et al. 2010). Consequently, large numbers of dated specimens, with phenological data, are potentially available.

The 21st century has seen a rise in phenological research for climate change studies, showing good correlation between herbarium and field data (Lavoie and Lachance 2006, Robbirt et al. 2011). Herbarium data are useful to validate laborious and time-consuming field studies (Wright and Calderon 1995, Borchert 1996, Bolmgren and Lönnberg 2005, Boulter et al. 2006, Zalamea et al. 2011). The main focus of such studies have been phenological changes which accompany warmer spring and autumn temperatures in northern temperate (Robbirt et al. 2011) or southern hemisphere alpine plants (Gallagher et al. 2009, Gaira et al. 2011, Zalamea et al. 2011).

BRAHMS (Botanical Research and Herbarium Management System $< \text{http://dps.plants.ox.ac.uk/bol/} >$) is a freeware database system with wide-ranging functionality for herbaria, botanic gardens and seed banks, and extensive

analysis, calculation and text formatting for researchers in systematics, floristics, botanical survey and biodiversity studies (Filer 2010). Developed over the last 20 yr, BRAHMS is used globally with projects active in ca 60 countries. The largest single database with ca two million specimens operates at the National Herbarium of the Netherlands; the country with the largest number of projects is Brazil. Documentation is available in English, French, Spanish, Portuguese and Russian. Data may be imported into BRAHMS from many different formats (typically Microsoft Excel or text delimited files) using its Rapid Data Entry (RDE) transfer module. A total of 531 activation keys for the current version, BRAHMS ver. 6.9, were downloaded between 10 June and 12 October 2011.

A Phenological Predictability Index (PPI) module, for the analysis of phenological data, has recently been added to BRAHMS. The PPI module has potential for the analysis of broad-scale community ecology (e.g. bud-break, flowering, fruiting, leaf fall, seasonal diseases, mimetism and changes in assemblies of short life-cycle invertebrates), in wide-ranging geographic studies of specific taxa, and in models that attempt to predict the response of plant phenology to climate change based on past response.

PPI results are obtained by querying the desired taxa from a main database into a working list and running the PPI analysis tool. Taxa can be pre-ordered by the number of collections in the database, and taxonomic rank selected. Geographic, or other restrictions, may be applied to selected specimens for inclusion in analyses. Phenological information is stored as presence or absence in phenological fields

in the Botanical Records file. Botanical records include vouchered collections, observations or literature records. Detailed instructions are on the Brahm's website (<<http://dps.plants.ox.ac.uk/bol/content/documentation/BRAHMS-PPI.pdf>>).

The PPI module produces three taxon-specific results: 1) maximum-activity period (currently implemented for months) for a given phenophase; 2) a predictability index, varying between 0.02 and 1; and 3) a graph of PPI scores. Mathematically, predictability is broken down into constancy (the event is invariable over time) and contingency (the event is variable but its pattern is fixed; Colwell 1974). Thus, PPI is composed of three parameters: 1) individual phenophase length; 2) synchrony amongst individuals; and 3) year-to-year variability in length and synchrony. Phenophase length and synchrony have a strong genetic component, reflecting life history strategies, whilst year-to-year variability has a strong environmental component. Since natural selection will favour adaptability of phenophase length and synchrony to 'expected' environmental fluctuation with minimal loss of fitness, the three parameters are locked into a dynamic system.

$$PPI(p) = \frac{N - n + 1}{N} \times \max \left(\frac{V_1 - V_N}{f} \right) \quad (1)$$

Where: p , phenophase; N , total number of periods in year (12 for months); n , number of periods in which event registered in database; f , number of unique records (unique combinations of periods and years); V , weighting for each period starting at 1 and halved for each subsequent period (i.e. follows series: 1, 0.5, 0.25, 0.125, 0.0625, 0.03125, period opposite start point is scored 0; Table 1).

Consider the case of two taxa, each represented by 12 collections; for taxon A all flowering collections were made in one month (e.g. February), whilst for taxon B one flowering collection was made in each month of the year. The PPI values in each case would be PPI [taxon A] = 1 (Feb.) and PPI [taxon B] = 0.02 (Jan., Feb., ..., Dec.). The minimum

Table 1. Real case of monthly PPI for the phenological event 'flowering' for *Jacaranda ruia* (Bignoniaceae) in the Distrito Federal using on-line herbarium data (<www.florescer.unb.br>). Only ΣV calculations between December and February are shown.

| Records (month/year) | V_{Jan} | V_{Feb} | ... | V_{Dec} |
|----------------------|-------------------------|-------------------------|-----|-------------------------|
| Jan./1980 | 1 | 0.500 | | 0.500 |
| Feb./1962 | 0.500 | 1 | | 0.250 |
| Feb./1980 | 0.500 | 1 | | 0.250 |
| Feb./1987 | 0.500 | 1 | | 0.250 |
| Mar./1989 | 0.250 | 0.500 | | 0.125 |
| May/1969 | 0.0625 | 0.125 | | 0.03125 |
| Sep./1985 | 0.0625 | 0.03125 | | 0.125 |
| Oct./1971 | 0.125 | 0.0625 | | 0.250 |
| Nov./1979 | 0.250 | 0.125 | | 0.500 |
| Dec./1965 | 0.500 | 0.250 | | 1 |
| Dec./1979 | 0.500 | 0.250 | | 1 |
| $n = 8$ $f = 11$ | $\Sigma V_{Jan} = 4.25$ | $\Sigma V_{Feb} = 4.84$ | ... | $\Sigma V_{Dec} = 4.28$ |

From the data, February is the best prediction of maximum activity month (maximum ΣV value; $\Sigma V_{Feb} = 4.84$).

$$PPI_{Feb} = \left[\frac{4.84}{11} \right] \times \left[\frac{1}{(12 - 8) + 1} \right] = 0.44 \times 0.417 = 0.1833.$$

value of the PPI index is 0.02 because of the addition of 1 in the numerator which is necessary to ensure the value of the index is 1 when phenophase is restricted to the target period. Biologically, minimum PPI value may be interpreted as the lowest level at which a phenophase can be observed; when PPI = 0 (i.e. $f = 0$) the event cannot be predicted as it cannot be observed.

Predictable biases in herbarium data are taxonomic, phenological, temporal or spatial because herbarium collections are non-systematic (Delisle et al. 2003, MacGillivray et al. 2010, Ahrends et al. 2011). Other weaknesses are lack of label data or label interpretation, although collection date is one of the most reliable elements of label data (Borchert 1996). Such factors limit the herbarium record data use. Issues therefore arise as to the necessary sample size for a PPI result to be meaningful, and of how a PPI measurement based on herbarium data performs against data derived from field-based studies, and the minimum number of collections needed to obtain the necessary number of unique records. These issues are discussed below, using a randomisation modelling approach. PPI results are compared with data derived from an empirical three-year phenological field study of eight 'poorly-collected' tropical taxa and one 'well-collected', phenologically well-known, European taxon.

How many unique records (f) are necessary to produce a robust index and minimize stochastic noise? To estimate necessary unique records, PPI sampling behaviour was tested by simple random sampling of probability sampling distributions based on 12 different classes. Let the probability of an observation in class m be p_m , where m is 1 to 12, the classes be arranged as on a clockface. Six probability distributions were tested: 1) all classes occupied, uniform distribution (i.e. $p_1 = p_2 = \dots = p_{12} = 1/12$); 2) two classes occupied, uniform distribution (i.e. $p_1 = p_2 = 0.5$; $p_1 = p_3 = 0.5$; $p_1 = p_4 = 0.5$; $p_1 = p_5 = 0.5$; $p_1 = p_6 = 0.5$; $p_1 = p_7 = 0.5$); 3) two classes occupied, uneven distribution (i.e. $p_1 = 0.25$, $p_2 = 0.75$; $p_1 = 0.25$, $p_3 = 0.75$; $p_1 = 0.25$, $p_4 = 0.75$; $p_1 = 0.25$, $p_5 = 0.75$; $p_1 = 0.25$, $p_6 = 0.75$; $p_1 = 0.25$, $p_7 = 0.75$); 4) three adjacent classes occupied, uniform distribution (i.e. $p_1 = p_2 = p_3 = 1/3$); 5) three adjacent classes occupied, uneven distribution (i.e. $p_1 = 0.1$, $p_2 = 0.8$, $p_3 = 0.1$); and 6) two blocks of three adjacent classes occupied, uneven distribution (i.e. $p_{12} = 0.05$, $p_1 = 0.4$, $p_2 = 0.05$, $p_3 = 0.05$, $p_4 = 0.4$, $p_5 = 0.05$; $p_{12} = 0.05$, $p_1 = 0.4$, $p_2 = 0.05$, $p_4 = 0.05$, $p_5 = 0.4$, $p_6 = 0.05$; $p_{12} = 0.05$, $p_1 = 0.4$, $p_2 = 0.05$, $p_5 = 0.05$, $p_6 = 0.4$, $p_7 = 0.05$; $p_{12} = 0.05$, $p_1 = 0.4$, $p_2 = 0.05$, $p_6 = 0.05$, $p_7 = 0.4$, $p_8 = 0.05$). Sample sizes of 10, 20, 30, 40, 50, 100, 250 and 500 observations were randomly drawn and maximum PPI values calculated. This procedure was repeated 1000 times to estimate mean and variance values (Fig. 1). The main conclusions were: 1) independent of distribution, at least 50 unique records are needed, as 50 unique records usually places the PPI within one standard deviation of the maximum likelihood estimate. As the distribution flattens, > 60 unique records are to be preferred; 2) as phenology distribution flattens, PPI values decline to a minimum; and 3) as phenology distribution peaks, PPI values approach the maximum value of 1. Zalamea et al. (2011) found very similar values when trying to recognize

observations for this study (Lenza and Klink 2006), calculated for each year and then averaged, was correlated with PPI values ($R^2 = 0.610$, $p = 0.02$).

Rayleigh's test for uniform distribution showed that databased collections from the Brazilian Distrito Federal herbaria (totaling 178 000 specimens) are not uniformly distributed amongst the months of the year. Despite the principal herbaria of the Distrito Federal having good representation of the region's plants, only 1231 flowering specimens with recorded months (equivalent to 566 unique records) were recorded for the eight species studied. The mean unique records per species from this sample suggests that roughly 100 herbarium specimens per species will be needed to accurately estimate maximum-activity flowering month and PPI.

Outside of the tropics more specimens, collected over a longer period, are likely to be available. *Senecio squalidus* (Asteraceae) is a herbaceous perennial, introduced to Britain in the early 18th century from Sicily (Italy), that has spread across much of the British Isles in the last 200 yr and for which dated herbarium specimens are known from 1792 (Harris 2002). A survey of the major British herbaria produced 629 herbarium specimens for this taxon, representing 393 unique records (f). Total data peak flowering month for all collections was May with a PPI value of 0.128 (95% confidence interval 0.126–0.129; range 0.103–0.200; $f = 393$). Furthermore, coincident with range expansion of *S. squalidus* in Britain (pre-1900 vs 1900–1999) maximum-activity flowering month changed from June to May; the PPI value before 1900 (0.182; 95% confidence interval 0.180–0.183; range 0.139–0.311; $f = 100$) was significantly greater ($t = 51.543$, $p < 0.001$) than between 1900 and 1999 (0.128; 95% confidence interval 0.126–0.129; range 0.103–0.200; $f = 293$).

As PPI is an exploratory tool, many species may be rapidly evaluated simultaneously. However, similar PPI maximum-activity periods and indexes should be interpreted with caution, and field-based knowledge of phenophase length and synchrony is desirable. *Miconia albicans*, a species with one short, synchronous flowering episode per year (Lenza and Klink 2006) shows a PPI score graph with an approximately normal distribution of lower scores around the maximum-activity month; for *Psidium guineense* (Myrtaceae), a species with several annual flowering peaks of variable intensity (Suarez and Esquivel 1987), the graph shows shallow multiple peaks consistent with a complex phenology [see (<http://dps.plants.ox.ac.uk/bol/content/documentation/BRAHMS-PPI.pdf>)] for these and other examples]. PPI score graphs thus help identify species with subannual phenologies that summary measures, such as mean or median phenophase dates or mean angle vectors miss (Zimmerman et al. 2007).

PPI is not a substitute for well-designed, field-based phenological studies, although such studies often use small samples. The herbarium record is, in many cases, the only record of plants' past phenology. To ignore such a rich, untapped source would be foolhardy when tools to interpret the collection record can be developed. As the PPI module is used and tested, it is likely it will evolve; the incorporation of improved circularity (using exact dates as angles), the identification and

analysis of subannual, supraannual, and very short phenophases are planned, as well as the recognition of phenospecies, i.e. sympatric species that share the same phenological strategy.

To cite PPI or acknowledge its use, cite this Software note as follows, substituting the version of the application that you used for 'version 0':

Proença, C. E. B., Filer, D. L., Lenza, E., Silva, J. S. and Harris, S. A. 2012. Phenological Predictability Index in BRAHMS: a tool for herbarium-based phenological studies. – *Ecography* 35: 283–293 (ver. 4).

Acknowledgements – PPI development was funded by Plants for the 21st Century at Oxford Univ. and Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal. We thank Vanessa Staggemeier for testing the index.

References

- Ahrends, A. et al. 2011. Conservation and the botanist effect. – *Biol. Conserv.* 144: 131–140.
- Bolmgren, K. and Lönnberg, K. 2005. Herbarium data reveal an association between fleshy fruit type and earlier flowering time source. – *Int. J. Plant Sci.* 166: 663–670.
- Borchert, R. 1996. Phenology and flowering periodicity of Neotropical dry forest species: evidence from herbarium collections. – *J. Trop. Ecol.* 12: 65–80.
- Boulter, S. L. et al. 2006. Family, visitors and the weather: patterns of flowering in tropical rain forests of northern Australia. – *J. Ecol.* 94: 369–382.
- Colwell, R. K. 1974. Predictability, constancy, and contingency of periodic phenomena. – *Ecology* 55: 1148–1153.
- Delisle, F. et al. 2003. Reconstructing the spread of invasive plants: taking into account biases associated with herbarium specimens. – *J. Biogeogr.* 30: 1033–1042.
- Filer, D. L. 2010. Botanical research and herbarium management system – BRAHMS. Training guide with worked examples. – Dept of Plant Sciences, Univ. of Oxford, (<http://dps.plants.ox.ac.uk/bol/content/documentation/BRAHMStraing2010.pdf>).
- Gaira, K. S. et al. 2011. Potential of herbarium records to sequence phenological pattern: a case study of *Aconitum heterophyllum* in the Himalaya. – *Biodivers. Conserv.* 20: 2201–2210.
- Gallagher, R. V. et al. 2009. Phenological trends among Australian alpine species: using herbarium records to identify climate-change indicators. – *Aust. J. Bot.* 57: 1–9.
- Harris, S. A. 2002. Introduction of Oxford ragwort, *Senecio squalidus* L. (Asteraceae), to the United Kingdom. – *Watsonia* 24: 31–43.
- Hine, C. 2006. Databases as scientific instruments and their role in the ordering of scientific work. – *Soc. Stud. Sci.* 36: 269–298.
- Lavoie, C. and Lachance, D. 2006. A new herbarium-based method for reconstructing the phenology of plant species across large areas. – *Am. J. Bot.* 93: 512–516.
- Lenza, E. and Klink, C. A. 2006. Comportamento fenológico de espécies lenhosas em um cerrado sentido restrito de Brasília, DF. – *Rev. Bras. Bot.* 29: 627–638.
- MacGillivray, F. et al. 2010. Herbarium collections and photographic images: alternative data sources in phenological research. – In: Hudson, I. L. and Keatley, M. (eds), *Phenological research: methods for environmental and climate change analysis*. Springer, pp. 425–461.
- Robbirt, K. M. et al. 2011. Validation of biological collections as a source of phenological data for use in climate change

- studies: a case study with the orchid *Ophrys sphegodes*. – J. Ecol. 99: 235–241.
- Smith, G. F. et al. 2003. The price of collecting life: overcoming the challenges involved in computerizing herbarium specimens. – Nature 422: 375–376.
- Suarez, E. and Esquivel, C. 1987. Fenología del guisaro (*Psidium guineense* Swartz) en Barva de Heredia, Costa Rica. – Brenesia 28: 97–105.
- Wright, S. J. and Calderon, O. 1995. Phylogenetic patterns among tropical flowering phenologies. – J. Ecol. 83: 937–948.
- Zalamea, P. C. et al. 2011. Continental-scale patterns of *Cecropia* reproductive phenology: evidence from herbarium specimens. – Proc. R. Soc. B 278: 2437–2445.
- Zimmerman, J. K. et al. 2007. Flowering and fruiting phenologies of seasonal and aseasonal neotropical forests: the role of annual changes in irradiance. – J. Trop. Ecol. 23: 231–251.

ÍNDICE DE PREVISIBILIDADE FENOLÓGICA NA BUSCA DE PADRÕES FENOLÓGICOS NO DISTRITO FEDERAL

RESUMO

Em ambientes tropicais as espécies vegetais apresentam padrões fenológicos influenciados por fatores bióticos e abióticos. Tais padrões podem ser estudados a partir de exsicatas depositadas em herbário, que contribuem, principalmente, para o conhecimento de formações vegetais sob pressão antrópica elevada, como o bioma Cerrado. Os herbários são grandes bancos de dados que guardam informações geográficas, taxonômicas e ecológicas de espécies variadas, além de detalhes sobre sua fenologia. Estudos fenológicos têm sido frequentemente adotados como forma de prever o comportamento de sistemas biológicos frente às mudanças no clima e registros de herbário vem sendo uma ferramenta útil para examinar tendências em longo prazo dos eventos fenológicos, principalmente quando relacionadas às mudanças temporais. Com o intuito de estudar a fenologia de espécies vegetais nativas e comuns do bioma Cerrado no Distrito Federal e encontrar padrões que facilitem o entendimento do ecossistema e possibilitem prever o comportamento fenológico dessas espécies, foi incluído no banco de dados do BRAHMS – *software* utilizado em diversos herbários do mundo – uma ferramenta denominada *Phenological Predictability Index* (PPI) que permite identificar as espécies com maior previsibilidade fenológica e auxilia na definição de padrões fenológicos. Foi acompanhada a fenologia de 22 espécies vegetais em seis fitofisionomias do Cerrado de duas áreas protegidas do DF, entre 2011 e 2013, e utilizados dados de sete espécies previamente estudadas em uma reserva ecológica da mesma região durante o período de 2000-2003. Os resultados obtidos foram comparados com a previsão feita pelo índice a partir de registros herborizados. No estudo de campo quatro padrões fenológicos vegetativos foram observados: sempre-verdes com crescimento contínuo e crescimento sazonal, decíduas e brevidecíduas; e quatro padrões de produção de botões, flores e frutos: anuais uni e bimodal, subanual multimodal e supra-anual. A maioria dos indivíduos floresceu em campo nos meses de março, setembro e outubro, e apenas 18.5% das espécies floresceu na estação seca, porém a análise do PPI indicou junho e setembro como meses de maior previsibilidade de floração. Quanto à frutificação, a maioria das espécies atingiu o pico de produção de frutos em campo em outubro e novembro, e setembro foi o mês apontado pelo índice com maior número de espécies apresentando máxima probabilidade de a fenofase ocorrer. Para os eventos de floração o PPI previu os meses de maior atividade de cerca de 90% das espécies analisadas e o período em que a fenofase tem maior chance de ocorrer para 100% delas. Já para frutificação o índice previu o mês-pico de pouco menos de 50% das espécies, mas todas tiveram o período de alta atividade previsto corretamente. Mais da metade das espécies frutificaram no período chuvoso e pouco mais de 30% na transição entre as estações. Os eventos de floração apresentaram médias de duração variando entre um e oito meses, com a maioria durando de dois a cinco meses, já as durações médias da frutificação variaram de muito curta (um mês) à prolongada ou contínua. No herbário, onde há maior amplitude de registros, as espécies com eventos mais concentrados duraram entre sete e nove meses. Foi possível obter o resultado comportamental mais amplo e geral de diferentes e importantes plantas do Cerrado e provar que o uso de espécimes coletados em um grande período de tempo – como registros de herbários – é útil no estudo da fenologia vegetal, quando se tem como objetivo definir comportamentos e padrões frente às mudanças ambientais. Por fim, percebeu-se que, como o valor do índice é o resultado de duas componentes (contingência e constância), ele tende a prever com mais exatidão o comportamento mais constante, ou seja, menos flexível e sujeito a mudanças.

Palavras-chaves: Cerrado, fenologia, previsão.

1. INTRODUÇÃO

Fenologia é o estudo da ocorrência de eventos biológicos repetitivos, das causas dessa ocorrência em relação a fatores bióticos e abióticos e das inter-relações entre as fases caracterizadas pelos eventos (Lieth 1974 *apud* Keatley & Hudson 2010). A compreensão do comportamento reprodutivo e dos padrões fenológicos das espécies nos ecossistemas naturais é parte importante dos estudos ecológicos e fundamental para a conservação da biodiversidade (Mazza *et al.* 2011).

O processo de produção de folhas, flores e frutos das plantas pode apresentar variação sazonal ou ser contínuo. Os ambientes tropicais podem ser mais ou menos sazonais e variam quanto à quantidade e qualidade de recursos disponíveis através do ano (Frankie *et al.* 1974). Estudos com espécies tropicais sugerem que os padrões fenológicos da vegetação em geral são influenciados por fatores abióticos como irradiação, temperatura, precipitação, estresse hídrico e fotoperíodo, e fatores bióticos como a atividade de polinizadores e dispersores de sementes (Janzen 1967; Monasterio & Sarmiento 1976; Sarmiento & Monasterio 1983; Rathcke & Lacey 1985).

Segundo Newstrom *et al.* (1994), os padrões fenológicos de plantas tropicais podem ser diferentes dependendo do nível em que são analisados (comunidade, população ou indivíduo), tornando-se importante proceder análises em níveis hierárquicos mais baixos para um melhor entendimento desses padrões (Sun *et al.* 1996).

Além disso, é possível que essas informações sejam utilizadas em análises sobre a influência sazonal climática na determinação de fenofases de populações e comunidades vegetais (Pinheiro 2013).

1.1. O uso das coleções botânicas em estudos de fenologia

Padrões fenológicos de comunidades vegetais podem ser estudados a partir de informações presentes em exsicatas depositadas em herbário (Borchert 1996), as quais contribuem, principalmente, para o conhecimento de formações vegetais sob pressão antrópica elevada, como o bioma Cerrado (Batalha *et al.* 1997).

A região do Distrito Federal, onde já foram realizados inúmeros estudos fenológicos em campo – tanto de comunidades (Oliveira 1991; Antunes & Ribeiro 1999; Munhoz & Felfili 2005; Lenza & Klink 2006; Oliveira 2008) como restritos a uma única espécie (Silva 1995; Ribeiro 2003; Lenza & Oliveira 2006; Lenza *et al.* 2008; Alves & Silva 2013) – é a mais promissora do bioma para estudos fenológicos de amplo espectro temporal. Além de ser área core do Cerrado, apresenta grande variedade de espécies e fitofisionomias e está inserido em um bioma tropical que registra extremos climáticos em

termos de precipitação e umidade relativa do ar. Por esses motivos, torna-se de grande interesse a criação de um banco de dados fenológicos para a região.

Os acervos de herbários são grandes bancos de dados que, embora sejam tradicionalmente utilizados em estudos de sistemática vegetal, também fornecem informações sobre a distribuição geográfica e a fenologia de diferentes *taxa*, as formas de dispersão de frutos, o tipo de habitat, a forma de crescimento, a época de floração, as similaridades da flora e a composição florística de determinadas regiões (Borchert 1996; Bucci 1997).

Segundo Miller-Rushing *et al.* (2006), o uso de registros de herbário é uma ferramenta útil para examinar tendências a longo prazo de eventos fenológicos. Em estudo utilizando espécimes herborizados e registros fotográficos, os autores observaram que, quando os dados de campo são combinados com um grande conjunto de dados históricos, um segundo e terceiro anos de amostragem de campo não fornecem informações adicionais muito além da adquirida no primeiro ano de estudo. O resultado obtido em análises de apenas exsicatas, apesar de ter sido estatisticamente diferente das respostas mostradas pelos estudos com dados de herbário combinados com observações de campo, foi semelhante a estes. Resultados quanto aos picos de floração através desses registros históricos também foram robustos e positivos, desde que analisado grande número de amostras. Dessa forma, os autores concluíram que a análise dessas coleções deve aumentar drasticamente a compreensão dos sistemas biológicos, em termos de tendências, padrões e comportamentos, assim como a influência que sofrem com variáveis físicas e ambientais, como, por exemplo, as mudanças do clima. Miller-Rushing *et al.* (2004) afirmam que nos herbários estão, geralmente, registros de espécies no momento em que se encontram com floração intensa, por se tornarem mais visíveis e interessantes aos coletores. Como resultado, os espécimes herborizados tendem a refletir o momento em que o evento fenológico atinge seu pico e esta é uma medida não afetada pelo tamanho da população ou dos indivíduos coletados.

Por outro lado, além de registros de herbário serem dados descontinuados e incompletos, a utilização desse tipo de fonte de dados é propensa a erros, especialmente em relação ao posicionamento espacial, nomenclatura científica e erros de determinação, o que requer revisão cuidadosa no processo de digitalização dos dados. No entanto, apesar de a revisão dos dados ser um processo muitas vezes bastante demorado, o produto final com erros minimizados é altamente confiável, abrangente e de fácil acesso (MacGillivray *et al.* 2010), passível de verificação.

Segundo Pinheiro (2013), uma das vantagens da utilização de herbários na prospecção de informações fenológicas é a possibilidade de, em um mesmo local, ser possível a obtenção de dados provenientes de diferentes regiões, abrangendo períodos de tempo extensos. Além disso, essas

informações podem ser utilizadas em análises sobre a variabilidade climática regional e temporal na determinação de fenofases de populações e comunidades vegetais.

Os estudos fenológicos em campo permitem balizar e testar a capacidade preditiva de modelos teóricos gerados a partir de grandes bancos de dados, como dados de herbários, sendo assim candidatos naturais para determinação do comportamento fenológico das plantas (MacGillivray *et al.* 2010). Diversos estudos no Distrito Federal (Barros & Caldas 1980; Bucci 1997; Antunes & Ribeiro 1999; Oliveira & Paula 2001; Vasconcelos *et al.* 2012) e em outras regiões do país e do mundo (Borchert 1994, 1996; Primack *et al.* 2004; Tannus *et al.* 2006; MacGillivray *et al.* 2010; Pinheiro 2013) determinaram padrões fenológicos a partir de dados de herbário e da comparação destes dados com os observados em campo.

Estudos que buscam prever o comportamento de sistemas biológicos frente às mudanças no clima têm utilizado a fenologia para criação de modelos preditivos dos efeitos causados pelas alterações climáticas (Myneni *et al.* 1997; Schwartz 1998; Fitter & Fitter 2002; Ahas & Aasa 2006; Kudo & Hirao 2006; Menzel *et al.* 2006; Cleland *et al.* 2007). Muitas pesquisas confirmaram previsões e novos modelos, baseados em bancos de dados cada vez maiores, têm sido propostos (Fitter & Fitter 2002; Root *et al.* 2003; Parmesan & Yohe 2003) de maneira a agregar meta-análises que incluem re-análises dessas redes de dados (Menzel *et al.* 2006).

Combinação bem sucedida entre dados de herbário e de campo foi obtida também por Tannus *et al.* (2006), no estado de São Paulo. Os autores concluíram que o conhecimento de padrões fenológicos, pouco conhecidos para as fisionomias estudadas (campos limpo e sujo), não seria possível através de observações de curto prazo e admitiram que o elevado número de exsicatas e a extensão do período analisado das coletas herborizadas (20 anos) foram fatores que deram sustentabilidade aos resultados encontrados.

1.2. Software BRAHMS (*Botanical Research And Herbarium Management System*) e PPI (*Phenological Predictability Index*)

BRAHMS é um sistema gratuito de banco de dados com ampla funcionalidade para herbários, jardins botânicos e bancos de sementes. O sistema é usado mundialmente e tem projetos ativos em cerca de 60 países, sendo o Brasil o país com maior número de projetos (Filer 2010).

Recentemente um algoritmo interno denominado *Phenological Predictability Index* (PPI) foi incluído no banco de dados do BRAHMS, permitindo a previsão do evento fenológico das espécies, definindo padrões fenológicos, desde que utilizados, no mínimo, registros de 50 eventos fenotemporais, ou seja, uma combinação única de evento/mês/ano, por exemplo, frutos/maio/1982.

Sabe-se que, independente da distribuição dos dados, a partir de 50 eventos o valor do índice tende à estabilização dentro de um desvio-padrão muito pequeno (Proença *et al.* 2012, vide Capítulo 1).

O PPI é um índice robusto e intuitivamente compreensível influenciado por três características fenológicas: (1) o comprimento da fenofase de cada indivíduo; (2) a sincronia entre os indivíduos; e (3) a variabilidade de ano para ano, em sincronia e duração; e que produz como resultados: (1) o período de atividade máxima (normalmente "mês") para uma determinada fenofase; (2) um índice de previsibilidade que varia de 0.02 a 1; (3) um gráfico que mostra a previsibilidade da fenofase para cada mês do ano e a existência de mais de um pico de previsibilidade no ano, se houver; e 4) a previsibilidade total do evento fenológico que é o somatório dos valores mensais. O valor do índice para um dado mês será maior (mais próximo de 1) quanto mais concentrado e fiel a determinado período do ano for a atividade fenológica – floração ou frutificação, p. ex. (vide Capítulo 1).

A previsibilidade de um evento periódico que se repete anualmente, segundo Colwell (1974), é a somatória de dois componentes: constância (CS) – duração do evento ao longo do ano – e contingência (CG) – fidelidade temporal do evento à mesma época do ano – ($P = CS + CG = 1$). Para exemplificar, utilizaremos dois eventos totalmente previsíveis: duração do dia de 24 horas e o Natal.

O evento “duração do dia de 24 h”, por ser invariável ao longo do ano, tem previsibilidade (P) = 1, visto que tem constância perfeita, sendo o cálculo: $CS = 365$ (número de dias em que o evento ocorre) / 365 (número de dias possíveis) = 1; $CG = 0$ (número de dias em que o evento não ocorre) / 365 (número de dias possíveis) = 0, assim $CS + CG = 1 + 0$.

No outro extremo, o evento “Natal” também tem previsibilidade = 1, pois: $CS = 1$ (número de dias em que o evento ocorre) / 365 (número de dias possíveis) = 0.0027; $CG = 364$ [número de dias em que o evento não ocorre / 365 [número de dias possíveis) = 0.9973. Assim, vê-se que o Natal que só ocorre em um dia do ano (25 de dezembro), por outro lado, é altamente previsível porque tem contingência perfeita. Por fim, $P = 0.0027 + 0.9973 = 1$. A Páscoa, por exemplo, cuja data é mutável de ano para ano, terá uma previsibilidade mais baixa por ser menos contingente, embora igualmente constante (como o Natal, dura um único dia por ano).

Estudos recentes utilizando o novo algoritmo já foram publicados com resultados bastante satisfatórios. No estudo de Proença *et al.* (2012) apenas uma das oito espécies analisadas no Distrito Federal (*Davilla elliptica* A.St.-Hil.) não teve o mês de floração mais provável previsto pelo índice (PPI), ao que os autores atribuíram à dificuldade de distinguir flores e frutos em espécimes herborizados, juntamente com a floração contingente. Em Vasconcelos *et al.* (2012) o cálculo do PPI se mostrou confiável ao prever a presença no campo de 84% das espécies estudadas. Quanto às espécies cujo comportamento não foi previsto, as autoras postularam que as divergências nos dados podem ser reflexo da quantidade insuficiente de registros no banco de dados para o cálculo do

índice, ou ainda devido ao natural baixo valor do PPI, resultante da floração plástica e diluída ao longo do ano.

2. OBJETIVOS

- Elucidar os padrões fenológicos de espécies vegetais nativas do bioma Cerrado e comuns do Distrito Federal, com respeito à sazonalidade, distribuição, frequência, previsibilidade, constância e contingência;

- Consolidar a informação fenológica destas espécies presente em coletas herborizadas disponíveis nos herbários, em fotos datadas e em estudos fenológicos, realizados nas últimas seis décadas no Distrito Federal;

- Registrar a fenologia em campo para calcular a constância individual média do evento.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Seleção das áreas de estudo

O acompanhamento fenológico de 22 espécies foi desenvolvido na Estação Ecológica de Águas Emendadas (ESECAE) e no Parque Nacional de Brasília (PNB), ambas unidades de conservação de proteção integral e áreas-núcleo da Reserva da Biosfera do Cerrado.

Estas áreas foram selecionadas para o estudo por abrigarem todas as fitofisionomias do Cerrado e por possuírem mapas de vegetação que foram utilizados no sorteio dos pontos amostrados. Para a definição dos transectos, o mapa das áreas foram divididos em quadrículas de 10"x10" por meio do programa ArcGIS 9.3, e cada quadrícula foi numerada e sorteada pelo programa *Randomizer Research*, que gera números aleatoriamente. Os sorteios foram realizados até que todas as fitofisionomias de interesse fossem contempladas. Quando uma mesma fitofisionomia era sorteada pela segunda vez, um novo número era gerado. Para cada ponto sorteado foram traçadas transecções de aproximadamente 500 metros de extensão cada um e os indivíduos das espécies de interesse presentes a uma distância de até 10 metros da transecção foram marcados.

A Estação Ecológica de Águas Emendadas, criada pelo Decreto nº 11.137/88, possui 10.574,21 hectares e situa-se no nordeste do Distrito Federal, ao norte da Região Administrativa de Planaltina – RA VI (Carvalho 2008), entre as coordenadas 15°32'S e 47°33'W e altitude que varia entre 1.000 – 1.150 m (Meirelles *et al.* 2004). O clima da região é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, com temperatura média anual de 21°C e 1.552 mm de precipitação (Carvalho 2008). A vegetação

predominante na ESECAE constitui-se de campo sujo, campo limpo, campo limpo úmido, campo limpo com murundus, veredas e cerrado *sensu stricto*, com ocorrência em menor escala de mata de galeria, cerrado denso e mata seca (Felfili *et al.* 2008).

O Parque Nacional de Brasília foi criado pelo Decreto nº 241/61 com 30.000 hectares, tendo seus limites expandidos para 46.230 hectares, após o Projeto de Lei 4186/04. O PNB está inserido na Região Administrativa de Brasília – RA I, sob as coordenadas 15°35'S e 47°55'W e altitude média de 1.100 m, fazendo limite com as RA's do Cruzeiro, Guará, Taguatinga, Brazlândia e Sobradinho (Horowitz 1998). Apresenta temperatura média anual de aproximadamente 23°C e precipitação anual entre 1.500 e 1.750 mm. A flora do PNB é típica do bioma Cerrado e constitui dez diferentes fitofisionomias: mata de galeria, mata alagada, cerrado *sensu stricto*, campo cerrado, campo rupestre, campo sujo, campo limpo seco e úmido, campo de murundu e vereda (Menezes *et al.* 1997).

Além das 22 espécies estudadas na ESECAE e no PNB, outras sete foram acompanhadas em campo por Oliveira (2005) em uma área de cerrado *sensu stricto* localizado na Reserva Ecológica do IBGE (RECOR). O local está há aproximadamente 35 km ao sul do centro de Brasília-DF, sob as coordenadas 15°55'06"-15°57'57"S e 47°51'22"-47°54'07"W e altitude que varia de 1.045 a 1.146 m (Lenza & Klink 2006). A precipitação total mensal e as temperaturas máxima e mínima médias mensais para os dois diferentes períodos de estudo (agosto/2000 a outubro/2003; novembro/2011 a junho/2013) foram adquiridas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a partir de dados da estação climática principal de Brasília (Figura 2.1).

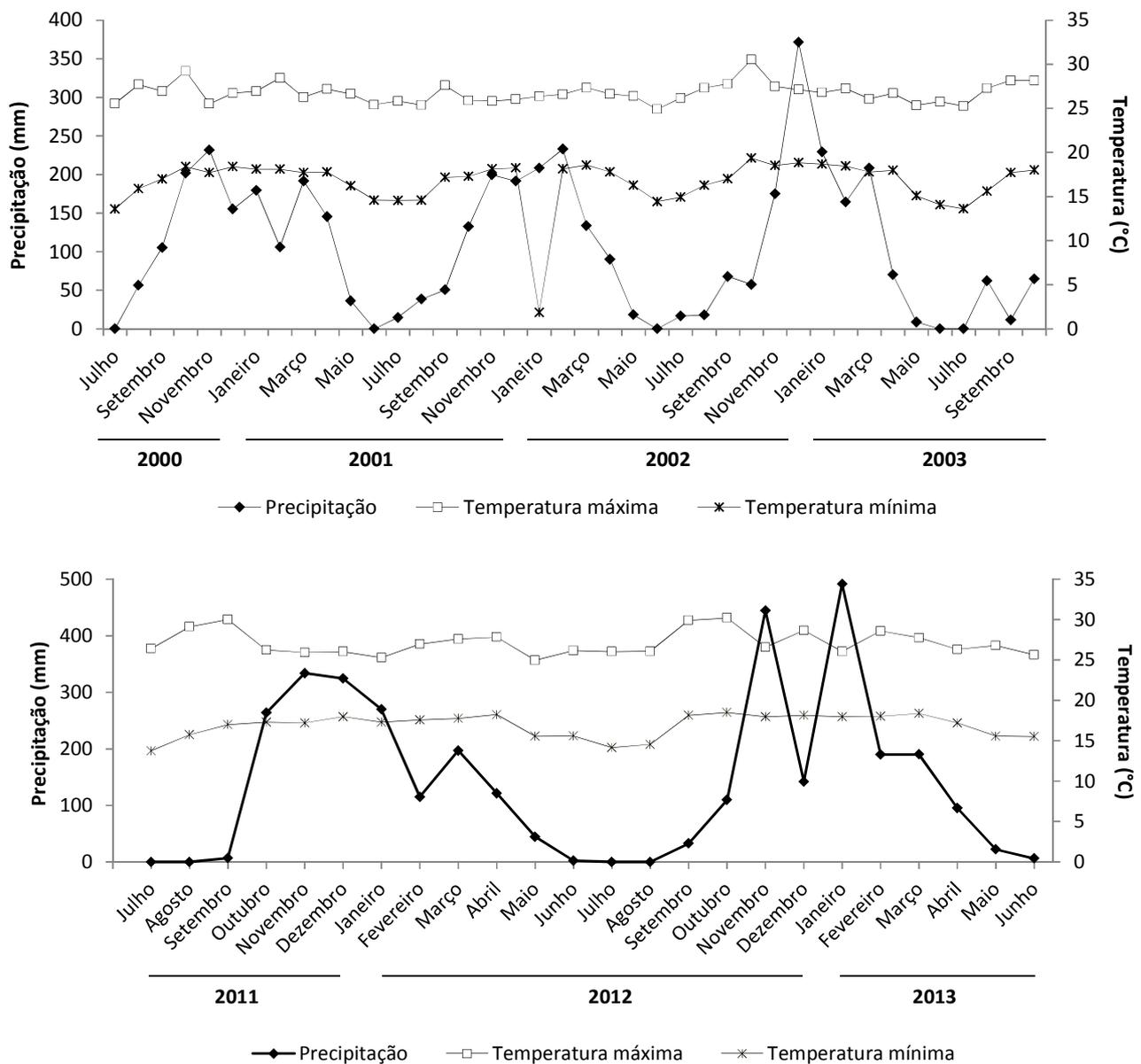


Figura 2.1. Variáveis climáticas – precipitação total, temperatura máxima média e temperatura mínima média – de Brasília/DF, nos períodos de estudo. Dados da estação climática principal de Brasília, situada a 15°78'S, 47°93'W, alt. 1159.54 m. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

3.2. Seleção das espécies

A escolha das 22 espécies vegetais que tiveram a fenologia acompanhada em campo seguiu alguns critérios: (1) foram filtradas da base de dados BRAHMS do Herbário da Universidade de Brasília (UB), que abriga a maior coleção do Distrito Federal, apenas as espécies com mais de 50 registros de coleta no DF; (2) destas, foram excluídas as que apresentam problemas taxonômicos, o que resultaria na possível identificação errônea em campo; e (3) procurou-se diversificar a linhagem

taxonômica destas espécies (família, ordem e classe) e suas características de hábito, forma de vida, tamanho foliar e polinização/dispersão. Dentre as espécies acompanhadas por Oliveira (2005) no período de agosto de 2000 a outubro de 2003, foram selecionadas aquelas representadas no campo por mais de 10 indivíduos; com atividade reprodutiva nos três anos de estudo; e que seguissem os mesmos critérios adotados para as demais.

Dessa forma, obteve-se 29 espécies distribuídas em 24 famílias, 12 ordens (mais uma indefinida) e três classes (Tabela 2.1), de acordo com a classificação apresentada no *Angiosperm Phylogeny Website*: <<http://www.mobot.org/mobot/research/apweb/>> (Stevens 2001 onwards).

Rhynchospora exaltata, selecionada para o estudo e acompanhada no campo, não atingiu o número mínimo de 50 eventos – necessário para o cálculo do PPI – para nenhuma das três fenofases (botão, flor aberta e fruto) e, por este motivo, foi retirada do estudo. Para outras espécies, determinadas fenofases não puderam ser avaliadas pelo mesmo motivo, sendo elas: *Casearia sylvestris*, *Chresta sphaerocephala*, *Hyptis villosa* e *Ruellia incompta* (fruto), *Stryphnodendron adstringens* (botão) e *Psidium firmum* (botão e flor).

A classificação da forma de vida e tamanho foliar (tamanho do limbo) das espécies estudadas seguiu a proposta por Raunkiaer (1934), modificada por Webb (1959), onde os vegetais são classificados, principalmente, de acordo com a posição de suas gemas vegetativas na estação desfavorável e pelo tamanho da área foliar. São cinco as principais classes de formas de vida: (a) Terófitos = gema vegetativa encontra-se dentro das sementes que, geralmente, apresentam dormência; (b) Geófitos = gemas localizam-se abaixo do solo (rizomas, tubérculos, bulbos, raízes geminíferas); (c) Hemicriptófitos = gemas presentes no nível do solo (xilopódios); (d) Caméfitos = gemas aéreas posicionadas até 30 cm do solo; (e) Fanerófitos = gemas aéreas posicionadas acima de 30 cm do solo. Já as classes de tamanho foliar somam oito: (a) Afilas (incluída por Webb 1959) = ausência de folhas; (b) Leptofilas = até 0.25 cm²; (c) Nanofilas = 0.25 - 2.25 cm²; (d) Microfilas = 2.25 - 20.25 cm²; (e) Notofilas (incluída por Webb 1959) = 20.25 - 45 cm²; (f) Mesofilas (modificada por Webb 1959) = 45 - 182.25 cm²; (g) Macrofilas = 182.25 - 1640.25 cm²; (h) Megafilas = a partir de 1640.25 cm².

Tabela 2.1. Espécies vegetais selecionadas para o estudo. * = espécie excluída das análises. ** = espécies acompanhadas em campo por Oliveira (2005). Baro = barocoria; Entomo = entomofilia/entomocoria; Mamalio = mamaliocoria; Melito = melitofilia/melitocoria; Ornito = ornitofilia/ornitocoria; Quiroptero = quiropterofilia/quiropterocoria. As espécies foram ordenadas na tabela seguindo a ordem filogenética definida pelo APG III (Stevens 2001; Haston *et al.* 2009). ⁽¹⁾ Sistemas de classificação de Raunkiaer (1934). ^x = Modificado por Webb (1959).

| ESPÉCIE | LINHAGEM TAXONÔMICA (Classe, Ordem, Família) | HÁBITO | ESTRATÉGIA DE POLINIZAÇÃO | ESTRATÉGIA DE DISPERSÃO | FORMA DE VIDA / TAMANHO FOLIAR ^x (¹) | REFERÊNCIAS ⁽²⁾ |
|---|--|--------------|---|--|---|----------------------------|
| <i>Rhynchospora exaltata</i> Kunth * | Commelinidae, Poales, Cyperaceae | Herbáceo | Anemofilia | Autocoria | Hemicriptófita / Macrofila | 9, 19, 22 |
| <i>Echinolaena inflexa</i> (Poir.) Chase | Commelinidae, Poales, Poaceae | Herbáceo | Anemofilia | Autocoria | Hemicriptófita / Microfila | 5, 11, 12, 20 |
| <i>Davilla elliptica</i> A.St.-Hil. ** | Rosidae, Dilleniales, Dilleniaceae | Arbustivo | Zoofilia (entomo-melito); néctar como recompensa | Zoocoria | Fanerófita / Notofila | 2, 11, 16 |
| <i>Periandra mediterranea</i> (Vell.) Taub. | Rosidae I, Fabales, Fabaceae | Subarbustivo | Zoofilia (entomo-melito); néctar como recompensa | Autocoria | Caméfita / Microfila | 7, 13 |
| <i>Chamaecrista conferta</i> (Benth.) I.&B. | | Subarbustivo | Zoofilia (entomo-melito); pólen como recompensa | Autocoria | Caméfita / Microfila | 1, 11, 13 |
| <i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Coville ** | | Arbóreo | Zoofilia (entomo-melito); néctar como recompensa | Autocoria | Fanerófita / Microfila | 1, 16, 20, 22 |
| <i>Calliandra dysantha</i> Benth. | | Subarbustivo | Zoofilia (ornito); néctar como recompensa | Autocoria | Caméfita / Nanofila | 11, 20 |
| <i>Brosimum gaudichaudii</i> Trécul | Rosidae I, Rosales, Moraceae | Arbustivo | Anemofilia | Zoocoria (mamalio, ornito, quiroptero) | Fanerófita / Microfila | 2, 5, 11, 20 |
| <i>Ouratea hexasperma</i> (A.St.-Hil.) Baill. ** | Rosidae I, Malpighiales, Ochnaceae | Arbustivo | Zoofilia (entomo-melito); néctar como recompensa | Zoocoria (ornito) | Fanerófita / Mesofila | 1, 14, 22 |
| <i>Caryocar brasiliense</i> Cambess. | Rosidae I, Malpighiales, Caryocaraceae | Arbóreo | Zoofilia (quiroptero); néctar como recompensa | Zoocoria (mamalio, ornito) | Fanerófita / Mesofila | 1, 2, 16, 20, 22 |
| <i>Byrsonima verbascifolia</i> (L.) DC. ** | Rosidae I, Malpighiales, Malpighiaceae | Arbustivo | Zoofilia (entomo-melito); óleo e pólen como recompensas | Zoocoria | Fanerófita / Macrofila | 1, 16, 20, 22, 23 |
| <i>Banisteriopsis campestris</i> (A.Juss.) Little | | Arbustivo | Zoofilia (entomo-melito); óleo e pólen como recompensas | Anemocoria | Caméfita / Notofila | 1, 5, 11 |

| ESPÉCIE | LINHAGEM TAXONÔMICA (Classe, Ordem, Família) | HÁBITO | ESTRATÉGIA DE POLINIZAÇÃO | ESTRATÉGIA DE DISPERSÃO | FORMA DE VIDA / TAMANHO FOLIAR ^x (1) | REFERÊNCIAS ⁽²⁾ |
|---|--|--------------|--|--|--|----------------------------|
| <i>Casearia sylvestris</i> Sw. ** | Rosidae I, Malpighiales, Salicaceae | Arbustivo | Zoofilia (entomo-melito); néctar como recompensa | Zoocoria | Fanerófita / Microfila | 1, 2, 11 |
| <i>Dalechampia caperonioides</i> Baill. | Rosidae I, Malpighiales, Euphorbiaceae | Herbáceo | Zoofilia (entomo-melito); resina como recompensa | Autocoria | Hemicriptófita / Microfila | 6, 11 |
| <i>Diplusodon villosus</i> Pohl | Rosidae II, Myrtales, Lythraceae | Herbáceo | Zoofilia (entomo-melito); néctar como recompensa | Autocoria | Caméfita / Microfila | 1, 11 |
| <i>Vochysia elliptica</i> Mart. | Rosidae II, Myrtales, Vochysiaceae | Arbóreo | Zoofilia (entomo-melito, ornito); néctar como recompensa | Anemocoria | Fanerófita / Notofila | 1, 16, 22 |
| <i>Psidium firmum</i> O.Berg | Rosidae II, Myrtales, Myrtaceae | Arbustivo | Zoofilia (entomo-melito); pólen como recompensa | Zoocoria (mamalio) | Caméfita / Notofila | 8, 11, 20 |
| <i>Miconia albicans</i> (Sw.) Triana ** | Rosidae II, Myrtales, Melastomataceae | Arbustivo | Zoofilia (entomo-melito); pólen como recompensa | Zoocoria (mamalio, ornito) | Fanerófita / Notofila | 1, 2, 15 |
| <i>Protium ovatum</i> Engl. | Rosidae II, Sapindales, Burseraceae | Arbustivo | Zoofilia (entomo-melito); néctar como recompensa | Zoocoria (entomo-melito, ornito) | Fanerófita / Notofila | 5, 22 |
| <i>Anacardium humile</i> A.St.-Hil. | Rosidae II, Sapindales, Anacardiaceae | Arbustivo | Zoofilia (entomo-melito); néctar como recompensa | Zoocoria (mamalio, quiroptero) | Caméfita / Mesofila | 2, 5, 20, 22 |
| <i>Styrax ferrugineus</i> Nees & Mart. ** | Asteridae I, Ericales, Styracaceae | Arbóreo | Zoofilia (entomo-melito); néctar como recompensa | Zoocoria | Fanerófita / Notofila | 1, 2, 16, 20, 22 |
| <i>Emmotum nitens</i> (Benth.) Miers | Asteridae I, <i>unplaced</i> , Icacinaceae | Arbóreo | Zoofilia (entomo-melito); néctar como recompensa | Zoocoria (mamalio, ornito, quiroptero) | Fanerófita / Mesofila | 2, 20, 22 |
| <i>Palicourea rigida</i> Kunth | Asteridae I, Gentianales, Rubiaceae | Arbustivo | Zoofilia (ornito; entomo-melito); néctar como recompensa | Zoocoria (ornito) | Fanerófita / Macrofila | 1, 2, 5, 11, 16, 21 |
| <i>Solanum subumbellatum</i> Vell. | Asteridae I, Solanales, Solanaceae | Subarbustivo | Zoofilia (entomo-melito); óleo e pólen como recompensas | Zoocoria (ornito, quiroptero) | Caméfita / Microfila | 1, 10, 11, 17 |
| <i>Hyptis villosa</i> Pohl ex Benth. | Asteridae I, Lamiales, Lamiaceae | Herbáceo | Zoofilia (entomo); néctar como recompensa | Autocoria | Caméfita / Microfila | 1, 11 |

| ESPÉCIE | LINHAGEM TAXONÔMICA (Classe, Ordem, Família) | HÁBITO | ESTRATÉGIA DE POLINIZAÇÃO | ESTRATÉGIA DE DISPERSÃO | FORMA DE VIDA / TAMANHO FOLIAR ^x ₍₁₎ | REFERÊNCIAS ⁽²⁾ |
|---|--|--------------|--|-------------------------|--|----------------------------|
| <i>Ruellia incompta</i> (Nees) Lindau | Asteridae I, Lamiales, Acanthaceae | Subarbustivo | Zoofilia (ornito); néctar como recompensa | Zoocoria (ornito) | Caméfito / Microfila | 3, 11 |
| <i>Jacaranda ulei</i> Bureau & K.Schum. | Asteridae I, Lamiales, Bignoniaceae | Arbustivo | Zoofilia (entomo-melito); néctar como recompensa | Anemocoria | Hemicriptófita / Microfila | 4, 11 |
| <i>Piptocarpha rotundifolia</i> (Less.) Baker | Asteridae II, Asterales, Asteraceae | Arbóreo | Zoofilia (entomo-melito); néctar como recompensa | Anemocoria | Fanerófita / Mesofila | 1, 2, 16, 20, 22 |
| <i>Chresta sphaerocephala</i> DC. | | Herbáceo | Zoofilia (entomo-melito); néctar como recompensa | Anemocoria | Geófita / Mesofila | 1, 11, 18 |

⁽²⁾ **1.** Silva *et al.* (2012); **2.** Martins (2005); **3.** Lima (2012); **4.** Fukuda (2011); **5.** Barbosa (1997); **6.** Rodrigues (2007); **7.** Silveira (1991); **8.** Franzon *et al.* (2009); **9.** Costa & Machado (2008); **10.** Bezerra & Machado (2003); **11.** Amaral *et al.* (2013); **12.** Ramos (2010); **13.** Dutra *et al.* (2009); **14.** Silva (2013); **15.** Pereira *et al.* (2009); **16.** Paixão (1982); **17.** Moura *et al.* (2010); **18.** Appezzato-da-Glória *et al.* (2008); **19.** Silva *et al.* (2009); **20.** Almeida *et al.* (1998); **21.** Silva (1995); **22.** Batalha (2001); **23.** Barros (1992).

3.3. Aquisição dos dados de campo

Cada espécie selecionada foi acompanhada em campo quinzenalmente, por períodos variáveis de 12 a 20 meses. Procurou-se marcar em torno de 20 indivíduos de cada espécie, distribuídos entre as duas Unidades de Conservação estudadas (Tabela 2.2).

Na Estação Ecológica de Águas Emendadas o acompanhamento fenológico ocorreu durante o período de novembro/2011 a junho/2013, em quatro fitofisionomias – cerrado, cerrado *sensu stricto*, campo sujo, campo limpo – enquanto no Parque Nacional de Brasília foram estudadas cinco fitofisionomias – cerrado *sensu stricto*, campo cerrado, campo sujo, campo limpo e campo limpo úmido com murundus – entre novembro/2011 e dezembro/2012.

Para cada indivíduo foi registrada a presença de botões florais, flores abertas e frutos imaturos e maduros (fenologia reprodutiva), além da ausência de folhas ou emergência de folhas novas (fenologia vegetativa), caracterizando, segundo d'Eça-Neves & Morellato (2004), um estudo com Amostragem de Transecções e Avaliação Direta Qualitativa.

Foram considerados apenas indivíduos em idade reprodutiva e, para as espécies do estrato herbáceo, por ser difícil a separação dos indivíduos, optou-se por marcar cada um distante pelo menos 3 m do seu vizinho coespecífico, para evitar a marcação de expansões radiculares de um mesmo indivíduo (Munhoz & Felfili 2005).

Apenas duas espécies do total estudado – *Emmotum nitens* e *Rhynchospora exaltata* – não foram marcadas no Parque Nacional. Ambas foram encontradas, em número de indivíduos suficientes para o estudo, apenas no cerrado da ESECAE. No entanto, por ter sido retirada das análises, *R. exaltata* não está incluída na tabela 2.2, bem como não foi submetida aos testes estatísticos realizados.

Durante o período do estudo, duas áreas do PNB foram atingidas por fogo. Em junho de 2012 a área de campo limpo foi parcialmente queimada e cinco indivíduos de *Dalechampia caperonioides* morreram e não puderam mais ser acompanhados. O trecho queimado deixou de ser monitorado. Seis meses depois, em novembro de 2012, o fogo queimou totalmente a área de campo sujo e todas as espécies marcadas foram atingidas. Desse modo, os indivíduos presentes nesta fitofisionomia tiveram sua fenologia acompanhada até a segunda quinzena de outubro de 2012, completando um ano de observação. Os indivíduos marcados no cerrado *sensu stricto* do Parque foram acompanhados até dezembro de 2012, enquanto os demais tiveram sua fenologia observada até o mês de novembro de 2012. Esta diferença de datas deve-se, principalmente, à dificuldade de acesso às trilhas na época da chuva.

Para a definição das estações 'seca' e 'chuvosa' nos períodos de estudo utilizou-se a metodologia proposta por Assunção (2013) para áreas de Cerrado, onde é considerado dia chuvoso aquele em que o volume das precipitações é igual ou superior a evapotranspiração potencial (ETP) diária. Na determinação do início do período chuvoso levou-se em consideração, também, a seqüência dos dias de chuvas e os totais pluviométricos acumulados, enquanto o início da estação seca caracterizou-se pela presença de oito ou mais dias consecutivos sem ocorrência de precipitações ou com precipitações muito baixas, incapazes de atingirem a metade da ETP diária. Veranicos foram caracterizados como períodos com ausência de chuvas dentro da estação chuvosa. Os níveis pluviométricos do período de estudo foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

3.4. Reconhecimento das fenofases

Algumas espécies apresentam particularidades que podem interferir no reconhecimento das fenofases no campo. *Dalechampia caperonioides*, por exemplo, apresenta brácteas que emergem fechadas envolvendo o pseudantio ainda imaturo. Assim, neste estudo, a presença da fenofase Botão foi registrada desde a emergência dessas brácteas até a antese de todos os botões. *Chresta sphaerocephala* também emite um escapo floral antes do aparecimento dos papus e flores fechadas e, da mesma forma, o registro de botões se deu a partir do momento em que os escapos estavam formados até a abertura total de todas as flores.

Para o reconhecimento das fenofases Botão e Flor de *Brosimum gaudichaudii* foi utilizada uma lupa de mão, pois as flores apétalas da espécie não são identificáveis a olho nu, já que ficam entre as escamas da inflorescência. *Emmotum nitens* foi a única arbórea de grande porte amostrada. A espécie alcança até 10 metros e por possuir botões de tamanho reduzido, dispostos em inflorescências de poucos centímetros de comprimento, foi necessário o uso de binóculos para a verificação de sua fenologia, bem como a escalada e coleta de estruturas reprodutivas para alguns indivíduos.

Para a diferenciação entre as fenofases Botão e Fruto de *Echinolaena inflexa* algumas espiguetas foram abertas para a verificação da presença de estruturas florais ou de uma cariopse no seu interior.

3.5. Coleta dos dados de herbário

Foram inseridas no BRAHMS informações relativas à fenologia das espécies de interesse deste estudo, coletadas no Distrito Federal, oriundas dos bancos de dados dos herbários da Universidade de Brasília (UB), do Jardim Botânico de Brasília (HEPH), da Embrapa Cenargen (CEN) e da Reserva Ecológica do IBGE (IBGE). A inclusão destes dados foi feita a partir da observação das exsicatas e das informações obtidas nos seus rótulos. Foram criados, no banco de dados do BRAHMS, campos com as siglas *Ste*, *Bud*, *Flo*, *Fru*, *Frm*, *Fer* e *Dec* para identificar, respectivamente, os estados fenológicos estéril, botão floral, flor, fruto, fruto maduro, fértil (quando é impossível identificar o estado reprodutivo no qual a amostra se encontra) e decíduo (ausência de folhas).

No total, foram inseridos 15.193 registros, sendo 10.493 registros de campo – incluídos registros coletados por Oliveira (2005) – e 4.803 obtidos a partir de coletas herborizadas, fotografias e publicações. Os dados de herbário alcançaram período de 1958 a 2014 e foram consideradas as coletas feitas em todo o Distrito Federal. Esta amplitude de tempo e espaço pode interferir nas análises do PPI de algumas espécies, visto que quanto maior a extensão territorial considerada e o período analisado, maior variabilidade o comportamento fenológico das espécies apresentará (Borchert 1996).

As fenofases presentes na amostra foram marcadas com um asterisco (*) no seu respectivo campo para, então, o software BRAHMS, por meio do cálculo do algoritmo PPI, indicar o quanto o comportamento fenológico da espécie pode ser previsto, o mês de ocorrência mais provável de cada evento e seu período de duração (ver <http://herbaria.plants.ox.ac.uk/bol/content/documentation/BRAHMS-PPI.pdf>).

Com o intuito de testar o poder preditivo do modelo, o comportamento fenológico das espécies no campo foi comparado com a previsão feita a partir dos registros de coletas herborizadas, fotografias e publicações.

Por fim, para a definição da componente ‘constância’ foi calculada a média do número de quinzenas com registro da fenofase no campo de cada indivíduo por espécie, que é a unidade amostral deste estudo. Então, a diferença entre o valor total do PPI (soma do valor de todos os meses) e a constância calculada definiu o valor de contingência.

Tabela 2.2. Espécies acompanhadas em campo, número de indivíduos marcados em cada UC estudada e número de registros inseridos e válidos no banco de dados. ESECAE = Estação Ecológica de Águas Emendadas, DF. PNB = Parque Nacional de Brasília, DF. IBGE = Reserva Ecológica do IBGE, DF. * = Incluem-se registros herborizados, fotográficos e informações obtidas a partir de estudos publicados. Números tachados representam fenofases que não puderam ser analisadas pelo baixo número de eventos.

| Espécies | Indivíduos acompanhados no campo | | | Registros inseridos no banco de dados * | Registros válidos (eventos f) por fenofase | | |
|------------------------------------|--|-----|------|---|--|---------------|---------------|
| | ESECAE | PNB | IBGE | | BT | FL | FR |
| <i>Anacardium humile</i> | 13 | 11 | -- | 144 | 58 | 70 | 52 |
| <i>Banisteriopsis campestris</i> | 7 | 20 | -- | 200 | 100 | 102 | 57 |
| <i>Brosimum gaudichaudii</i> | 18 | 10 | -- | 122 | 59 | 53 | 63 |
| <i>Byrsonima verbascifolia</i> | -- | -- | 13 | 145 | 63 | 78 | 55 |
| <i>Calliandra dysantha</i> | 13 | 11 | -- | 229 | 85 | 124 | 50 |
| <i>Caryocar brasiliense</i> | 12 | 12 | -- | 153 | 63 | 63 | 52 |
| <i>Casearia sylvestris</i> | -- | -- | 11 | 137 | 61 | 60 | 34 |
| <i>Chamaecrista conferta</i> | 13 | 11 | -- | 112 | 60 | 67 | 57 |
| <i>Chresta sphaerocephala</i> | 16 | 12 | -- | 130 | 55 | 64 | 19 |
| <i>Dalechampia caperonioides</i> | 11 | 23 | -- | 353 | 155 | 176 | 62 |
| <i>Davilla elliptica</i> | -- | -- | 20 | 165 | 81 | 73 | 76 |
| <i>Diplusodon villosus</i> | 1 | 10 | -- | 163 | 84 | 97 | 69 |
| <i>Echinolaena inflexa</i> | 13 | 7 | -- | 152 | 68 | 58 | 53 |
| <i>Emmotum nitens</i> | 21 | 0 | -- | 206 | 63 | 62 | 101 |
| <i>Hyptis villosa</i> | 8 | 18 | -- | 96 | 50 | 58 | 42 |
| <i>Jacaranda ulei</i> | 15 | 10 | -- | 215 | 58 | 67 | 90 |
| <i>Miconia albicans</i> | -- | -- | 11 | 164 | 67 | 55 | 62 |
| <i>Ouratea hexasperma</i> | -- | -- | 14 | 192 | 87 | 95 | 51 |
| <i>Palicourea rigida</i> | 10 | 10 | -- | 243 | 97 | 93 | 56 |
| <i>Periandra mediterranea</i> | 15 | 11 | -- | 181 | 108 | 121 | 76 |
| <i>Piptocarpha rotundifolia</i> | 11 | 10 | -- | 106 | 57 | 54 | 52 |
| <i>Protium ovatum</i> | 11 | 12 | -- | 181 | 52 | 51 | 103 |
| <i>Psidium firmum</i> | 11 | 11 | -- | 154 | 43 | 47 | 67 |
| <i>Ruellia incompta</i> | 15 | 12 | -- | 128 | 59 | 72 | 34 |
| <i>Solanum subumbellatum</i> | 12 | 13 | -- | 143 | 79 | 84 | 59 |
| <i>Stryphnodendron adstringens</i> | -- | -- | 11 | 190 | 41 | 70 | 84 |
| <i>Styrax ferrugineus</i> | -- | -- | 16 | 208 | 91 | 101 | 54 |
| <i>Vochysia elliptica</i> | 9 | 10 | -- | 191 | 102 | 114 | 52 |
| <i>Rhynchospora exaltata</i> | Excluída do estudo. Não atingiu o número mínimo de registros válidos | | | | | | |

3.6. Testes Estatísticos para comparação das amostras – ESECAE x PNB

Devido ao campo ter sido realizado em dois locais distintos (ESECAE e PNB) para 21 espécies, foram feitos testes estatísticos no intuito de saber se há diferença nas populações dos dois lugares.

Para isso utilizou-se os registros obtidos entre Novembro/2011 e Dezembro/2012, período em que ambos os locais foram estudados.

O teste escolhido foi *Watson U²*, um teste não-paramétrico útil na comparação entre duas amostras de dados circulares. A hipótese nula (H_0) deste teste afirma que as duas amostras pertencem à mesma população, ou que as duas populações apresentam média na mesma direção, enquanto a hipótese alternativa afirma (H_A) o exato oposto (Zar 2010). As amostras foram consideradas pertencentes à mesma população sempre que o *p-value* foi maior que 0.1.

A análise foi feita para dados das fenologias vegetativa e reprodutiva apenas com espécies que obtiveram cinco ou mais registros por local para cada fenofase, já que o teste não pode ser realizado com amostras menores que cinco. O *software* estatístico utilizado foi o Oriana, versão 4.02 (Kovach Computing Services 2013).

Sete espécies apresentaram menos de cinco amostras em um dos dois locais de estudo, para as quais calculou-se o teste de *Mann-Whitney* (ou *Wilcoxon-Mann-Whitney*), um teste não-paramétrico indicado para amostras pequenas e não pareadas, que equivale ao teste *t*. Da mesma forma, sempre que o *p-value* foi maior que 0.1, concluiu-se que a diferença entre as duas populações não é estatisticamente significativa (hipótese nula aceita). É requisito deste teste que haja registros de dois ou mais meses em cada local. O *software* estatístico utilizado para a realização deste teste foi o Minitab 16 (2009).

Watson U² mostrou que três espécies tiveram a hipótese nula rejeitada para a fenofase Brotação (Tabela 2.3), duas para Botão (Tabela 2.4), uma para Flor (Tabela 2.5) e duas para Fruto (Tabela 2.6), indicando que não podem ser consideradas como pertencentes à mesma população, já que as populações não apresentam média que seguem a mesma direção. Assim, para estas espécies os registros de campo de cada local foram analisados separadamente, enquanto para as espécies que, segundo os testes, apresentam a mesma média, os registros coletados no PNB e na ESECAE foram somados. O teste de *Mann-Whitney* não rejeitou nenhuma H_0 (Tabela 2.7).

Após a realização dos testes estatísticos, concluiu-se que sete espécies terão uma ou mais fenofases avaliadas nos dois locais separadamente, sendo que *Diplusodon villosus* terá as fenofases Flor e Fruto analisadas assim por apresentar um número tão pequeno de amostras que não foi possível realizar qualquer teste de hipótese (Tabela 2.8).

Duas espécies não foram submetidas aos testes: (1) *Emmotum nitens*, por ter sido amostrado apenas em um local (ESECAE); e (2) *Banisteriopsis campestris*, por ter apresentado atividade reprodutiva, no período 2011/2012, apenas no Parque Nacional de Brasília.

Tabela 2.3. Teste de Watson U^2 para “Brotação”. Sombreadas estão as espécies cuja H_0 foi rejeitada.

| ESPÉCIE | N°. OBSERVAÇÕES | | U2 | p | df | df2 |
|--|-----------------|------------|--------------|-----------------------------|------------|-----------|
| | PNB | ESECAE | | | | |
| <i>Protium ovatum</i> | 40 | 31 | 0.034 | > 0.5 | 40 | 31 |
| <i>Banisteriopsis campestris</i> | 42 | 10 | 0.046 | > 0.5 | 42 | 10 |
| <i>Vochysia elliptica</i> | 33 | 29 | 0.053 | > 0.5 | 33 | 29 |
| <i>Diplusodon villosus</i> | 30 | 5 | 0.072 | > 0.5 | 30 | 5 |
| <i>Hyptis villosa</i> | 48 | 29 | 0.085 | 0.5 > p > 0.2 | 48 | 29 |
| <i>Chamaecrista conferta</i> | 36 | 42 | 0.087 | 0.5 > p > 0.2 | 42 | 36 |
| <i>Jacaranda ulei</i> | 24 | 49 | 0.104 | 0.5 > p > 0.2 | 24 | 49 |
| <i>Caryocar brasiliense</i> | 32 | 23 | 0.112 | 0.5 > p > 0.2 | 32 | 23 |
| <i>Dalechampia caperonioides</i> | 15 | 13 | 0.124 | 0.2 > p > 0.1 | 15 | 13 |
| <i>Solanum subumbellatum</i> | 59 | 69 | 0.124 | 0.2 > p > 0.1 | 69 | 59 |
| <i>Palicourea rigida</i> | 58 | 44 | 0.138 | 0.2 > p > 0.1 | 58 | 44 |
| <i>Anacardium humile</i> | 26 | 39 | 0.141 | 0.2 > p > 0.1 | 39 | 26 |
| <i>Periandra mediterranea</i> | 46 | 76 | 0.145 | 0.2 > p > 0.1 | 76 | 46 |
| <i>Calliandra dysantha</i> | 31 | 38 | 0.147 | 0.2 > p > 0.1 | 31 | 38 |
| <i>Brosimum gaudichaudii</i> | 43 | 64 | 0.150 | 0.2 > p > 0.1 | 64 | 43 |
| <i>Chresta sphaerocephala</i> | 90 | 153 | 0.171 | 0.1 > p > 0.05 | 153 | 90 |
| <i>Piptocarpha rotundifolia</i> | 43 | 33 | 0.187 | < 0.05 | 33 | 43 |
| <i>Ruellia incompta</i> | 42 | 62 | 0.225 | < 0.05 | 62 | 42 |

Tabela 2.4. Teste de Watson U^2 para “Botão”. Sombreadas estão as espécies cuja H_0 foi rejeitada.

| ESPÉCIE | N°. OBSERVAÇÕES | | U2 | p | df | df2 |
|--------------------------------------|-----------------|-----------|--------------|-----------------------------|-----------|-----------|
| | PNB | ESECAE | | | | |
| <i>Ruellia incompta</i> | 7 | 6 | 0.013 | > 0.5 | 6 | 7 |
| <i>Brosimum gaudichaudii</i> | 48 | 81 | 0.042 | > 0.5 | 48 | 81 |
| <i>Caryocar brasiliense</i> | 18 | 19 | 0.043 | > 0.5 | 18 | 19 |
| <i>Dalechampia caperonioides</i> | 13 | 34 | 0.048 | > 0.5 | 13 | 34 |
| <i>Calliandra dysantha</i> | 15 | 17 | 0.057 | > 0.5 | 15 | 17 |
| <i>Protium ovatum</i> | 23 | 18 | 0.059 | > 0.5 | 18 | 23 |
| <i>Hyptis villosa</i> | 20 | 9 | 0.064 | > 0.5 | 9 | 20 |
| <i>Echinolaena inflexa</i> | 20 | 29 | 0.068 | > 0.5 | 20 | 29 |
| <i>Solanum subumbellatum</i> | 18 | 6 | 0.069 | > 0.5 | 6 | 18 |
| <i>Chresta sphaerocephala</i> | 22 | 47 | 0.083 | 0.5 > p > 0.2 | 22 | 47 |
| <i>Palicourea rigida</i> | 13 | 36 | 0.091 | 0.5 > p > 0.2 | 13 | 36 |
| <i>Vochysia elliptica</i> | 16 | 20 | 0.107 | 0.5 > p > 0.2 | 16 | 20 |
| <i>Psidium firmum</i> | 15 | 8 | 0.137 | 0.2 > p > 0.1 | 8 | 15 |
| <i>Piptocarpha rotundifolia</i> | 45 | 60 | 0.143 | 0.2 > p > 0.1 | 33 | 39 |
| <i>Jacaranda ulei</i> | 6 | 9 | 0.150 | 0.2 > p > 0.1 | 6 | 9 |
| <i>Chamaecrista conferta</i> | 10 | 16 | 0.161 | 0.1 > p > 0.05 | 10 | 16 |
| <i>Periandra mediterranea</i> | 22 | 39 | 0.269 | < 0.01 | 22 | 39 |

Tabela 2.5. Teste de Watson U² para “Flor”. Sombreadas estão as espécies cuja H₀ foi rejeitada.

| ESPÉCIE | N°. OBSERVAÇÕES | | U2 | p | df | df2 |
|--|-----------------|-----------|--------------|-------------------|----------|-----------|
| | PNB | ESECAE | | | | |
| <i>Protium ovatum</i> | 16 | 7 | 0.008 | > 0.5 | 7 | 16 |
| <i>Brosimum gaudichaudii</i> | 31 | 58 | 0.022 | > 0.5 | 31 | 58 |
| <i>Hyptis villosa</i> | 20 | 17 | 0.052 | > 0.5 | 17 | 20 |
| <i>Dalechampia caperonioides</i> | 20 | 27 | 0.060 | > 0.5 | 20 | 27 |
| <i>Vochysia elliptica</i> | 15 | 13 | 0.069 | > 0.5 | 13 | 15 |
| <i>Echinolaena inflexa</i> | 26 | 25 | 0.088 | 0.5 > p > 0.2 | 25 | 26 |
| <i>Palicourea rigida</i> | 8 | 17 | 0.096 | 0.5 > p > 0.2 | 8 | 17 |
| <i>Chresta sphaerocephala</i> | 13 | 18 | 0.109 | 0.5 > p > 0.2 | 13 | 18 |
| <i>Calliandra dysantha</i> | 10 | 8 | 0.111 | 0.5 > p > 0.2 | 8 | 10 |
| <i>Chamaecrista conferta</i> | 8 | 10 | 0.128 | 0.2 > p > 0.1 | 8 | 10 |
| <i>Periandra mediterranea</i> | 9 | 12 | 0.130 | 0.2 > p > 0.1 | 9 | 9 |
| <i>Ruellia incompta</i> | 5 | 6 | 0.277 | < 0.05 | 5 | 6 |
| <i>Piptocarpha rotundifolia</i> | 9 | 21 | 0.658 | < 0.001 | 9 | 21 |

Tabela 2.6. Teste de Watson U² para “Fruto”. Sombreadas estão as espécies cuja H₀ foi rejeitada.

| ESPÉCIE | N°. OBSERVAÇÕES | | U2 | p | df | df2 |
|--------------------------------------|-----------------|-----------|--------------|-----------------------------|-----------|-----------|
| | PNB | ESECAE | | | | |
| <i>Jacaranda ulei</i> | 49 | 33 | 0.020 | > 0.5 | 33 | 49 |
| <i>Palicourea rigida</i> | 13 | 27 | 0.026 | > 0.5 | 13 | 27 |
| <i>Caryocar brasiliense</i> | 30 | 34 | 0.031 | > 0.5 | 30 | 34 |
| <i>Dalechampia caperonioides</i> | 12 | 23 | 0.031 | > 0.5 | 12 | 23 |
| <i>Vochysia elliptica</i> | 26 | 33 | 0.035 | > 0.5 | 26 | 33 |
| <i>Brosimum gaudichaudii</i> | 23 | 48 | 0.048 | > 0.5 | 23 | 48 |
| <i>Periandra mediterranea</i> | 20 | 33 | 0.085 | 0.5 > p > 0.2 | 20 | 33 |
| <i>Piptocarpha rotundifolia</i> | 59 | 113 | 0.090 | 0.5 > p > 0.2 | 59 | 113 |
| <i>Hyptis villosa</i> | 40 | 20 | 0.123 | 0.2 > p > 0.1 | 20 | 40 |
| <i>Psidium firmum</i> | 13 | 13 | 0.125 | 0.2 > p > 0.1 | 13 | 13 |
| <i>Echinolaena inflexa</i> | 39 | 29 | 0.137 | 0.2 > p > 0.1 | 29 | 39 |
| <i>Calliandra dysantha</i> | 17 | 6 | 0.141 | 0.2 > p > 0.1 | 6 | 17 |
| <i>Protium ovatum</i> | 51 | 19 | 0.164 | 0.1 > p > 0.05 | 19 | 51 |
| <i>Chamaecrista conferta</i> | 11 | 23 | 0.179 | 0.1 > p > 0.05 | 11 | 23 |
| <i>Chresta sphaerocephala</i> | 17 | 52 | 0.212 | < 0.05 | 17 | 52 |

Tabela 2.7. Teste de Mann-Whitney (W). NA = Fenofase não avaliada devido ao número de registros ser inferior ao mínimo necessário para a análise. -- = Calculado Watson U².

| ESPÉCIE | BROTAÇÃO | | BOTÃO | | FLOR | | FRUTO | |
|------------------------------|----------|--------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| | W | p | W | p | W | p | W | p |
| <i>Anacardium humile</i> | -- | | 44 | 0.777 | 48 | 1 | 5 | 1 |
| <i>Caryocar brasiliense</i> | -- | | -- | | 22.5 | 0.414 | -- | |
| <i>Diplusodon villosus</i> | -- | | 6 | 0.561 | NA | | NA | |
| <i>Jacaranda ulei</i> | -- | | -- | | 14.5 | 0.136 | -- | |
| <i>Psidium firmum</i> | 659 | 0.8678 | -- | | NA | | -- | |
| <i>Ruellia incompta</i> | -- | | -- | | -- | | 63.5 | 0.405 |
| <i>Solanum subumbellatum</i> | -- | | -- | | 107 | 0.282 | 43 | 0.925 |

Tabela 2.8. Registros considerados/analizados no estudo (vide Tabela 2). P+E = Registros de Parque Nacional de Brasília e Estação Ecológica de Águas Emendadas serão somados. P/E = Registros de Parque Nacional de Brasília e Estação Ecológica de Águas Emendadas serão analisados individualmente. Entre parênteses está o teste realizado: (W) = Teste de Mann-Whitney; (U²) = Teste de Watson U²; (X) = teste não realizado. ® = não se aplica.

| ESPÉCIE | BROTAÇÃO | BOTÃO | FLOR | FRUTO |
|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <i>Anacardium humile</i> | P+E (U ²) | P+E (W) | P+E (W) | P+E (W) |
| <i>Banisteriopsis campestris</i> | P+E (U ²) | P (X) | P (X) | P (X) |
| <i>Brosimum gaudichaudii</i> | P+E (U ²) |
| <i>Calliandra dysantha</i> | P+E (U ²) |
| <i>Caryocar brasiliense</i> | P+E (U ²) | P+E (U ²) | P+E (W) | P+E (U ²) |
| <i>Chamaecrista conferta</i> | P+E (U ²) | P/E (U ²) | P+E (U ²) | P/E (U ²) |
| <i>Chresta sphaerocephala</i> | P/E (U ²) | P+E (U ²) | P+E (U ²) | ® |
| <i>Dalechampia caperonioides</i> | P+E (U ²) |
| <i>Diplusodon villosus</i> | P+E (U ²) | P+E (W) | P/E (X) | P/E (X) |
| <i>Echinolaena inflexa</i> | ® | P+E (U ²) | P+E (U ²) | P+E (U ²) |
| <i>Emmotum nitens</i> | E (X) | E (X) | E (X) | E (X) |
| <i>Hyptis villosa</i> | P+E (U ²) | P+E (U ²) | P+E (U ²) | ® |
| <i>Jacaranda ulei</i> | P+E (U ²) | P+E (U ²) | P+E (W) | P+E (U ²) |
| <i>Palicourea rigida</i> | P+E (U ²) |
| <i>Periandra mediterranea</i> | P+E (U ²) | P/E (U ²) | P+E (U ²) | P+E (U ²) |
| <i>Piptocarpha rotundifolia</i> | P/E (U ²) | P+E (U ²) | P/E (U ²) | P+E (U ²) |
| <i>Protium ovatum</i> | P+E (U ²) | P+E (U ²) | P+E (U ²) | P/E (U ²) |
| <i>Psidium firmum</i> | P+E (W) | ® | ® | P+E (U ²) |
| <i>Ruellia incompta</i> | P+E (U ²) | P+E (U ²) | P/E (U ²) | ® |
| <i>Solanum subumbellatum</i> | P+E (U ²) | P+E (U ²) | P+E (W) | P+E (W) |
| <i>Vochysia elliptica</i> | P+E (U ²) |

3.7. Padrões fenológicos

Padrões fenológicos vegetativos foram identificados com base nos aspectos temporais de ocorrência das fenofases de queda e produção de folhas (Oliveira 1991; Franco *et al.* 2005; Lenza & Klink 2006) para as espécies amostradas no Parque Nacional de Brasília e na Estação Ecológica de Águas Emendadas, com exceção de *Echinolaena inflexa* que não teve sua fenologia vegetativa acompanhada em campo. Para tal, foram considerados os dados coletados até dezembro de 2012, período em que houve registros das duas áreas de estudo. A classificação das espécies como decíduas e brevidecíduas foi definida de acordo com o número de semanas em que permaneceram sem folhas, assim como realizado nos estudos de Franco *et al.* (2005) e Lenza & Klink (2006). Os padrões vegetativos das espécies acompanhadas no IBGE estão detalhados em Oliveira (2005) e Lenza & Klink (2006).

Para a descrição de padrões fenológicos reprodutivos seguiu-se a classificação de Newstrom *et al.* (1994), que caracteriza as espécies de acordo com a frequência e regularidade de ocorrência das fenofases em anuais, subanuais ou supra-anuais. As espécies foram também classificadas conforme a distribuição temporal da fenofase em relação às estações seca e chuvosa, como descrito em Sarmiento & Monasterio (1983) – fenofase 'precoce' quando iniciada no início das chuvas, 'atrasada' quando iniciada do meio para o fim das chuvas, 'tardia' quando a fenofase ocorre na estação seca e 'contínua' quando há presença do evento no decorrer de todo o ano. A síndrome de dispersão de cada espécie foi determinada a partir de informações já publicadas (Tabela 2.1), que seguem a classificação adotada por Van der Pijl (1982), cujo agrupamento das espécies se dá de acordo com o tipo de dispersão dos diásporos – autocóricas, anemocóricas ou zoocóricas.

Para o cálculo da média de duração da fenofase utilizou-se, além dos dados coletados em campo, informações referentes à duração do evento obtidas de outros estudos fenológicos (vide Figuras 2.10, 2.12 e 2.14). No caso de espécies com fenofase prolongada, cuja interrupção do evento não foi observada e/ou este durou mais de 12 meses, foram contabilizados os meses de descanso – independente do mês de início e término do estudo utilizado no cálculo – e, a partir do número de meses de interrupção do evento, a média foi calculada.

Por fim, definiram-se como 'período da fenofase' os meses com presença do evento entre períodos observados de ausência. No campo, foi considerado 'pico' o mês em que houve maior número de indivíduos apresentando o evento fenológico dentro de cada período de ocorrência da fenofase.

4. RESULTADOS

Todos os eventos fenológicos foram observados em todas as espécies estudadas no campo nos seus respectivos períodos de acompanhamento. Do total, 37% das espécies são sempre-verdes com crescimento sazonal, 22.25% são sempre-verdes com crescimento contínuo, 22.25% são brevidecíduas e 18.5 % decíduas.

Quanto ao comportamento reprodutivo, unimodal foi o tipo de frequência mais comum para as três fenofases (50% para botão, 40.75% para flor e 54.16% para fruto). Para a floração, o mesmo número de espécies (40.75%) foi registrado com frequência bimodal, comportamento observado na emissão de botões de 30.87% e na frutificação de 16.67% das espécies. Frutificação multimodal também foi registrada em 16.67% das espécies, mas nas fenofases de floração esse comportamento foi o menos comum (7.7% das espécies em botão e 7.4% em flor). Por fim, três espécies apresentaram frequência supra-anual nas três fenofases, o que representa 11.53%, 11.16% e 12.5% das espécies nas fenofases de botão, flor e fruto, respectivamente.

O tipo de dispersão mais comum foi o zoocórico (54%), seguido do autocórico (29%) e anemocórico (17%), enquanto a estratégia de polinização mais comum foi a entomofilia (78.57%), seguida de ornitofilia (10.72%), anemofilia (7.14%) e quiropterofilia (3.57%).

4.1. Fenologia vegetativa

A análise da fenologia vegetativa das espécies estudadas nos permite perceber que a produção de folhas novas, assim como a queda, se dá por todo o ano e acompanha o ritmo das chuvas, com expressivo decréscimo da atividade nos meses secos (Junho a Agosto) e considerável aumento na transição do período seco para o chuvoso, Setembro - Outubro (Figuras 2.2, 2.3, 2.4).

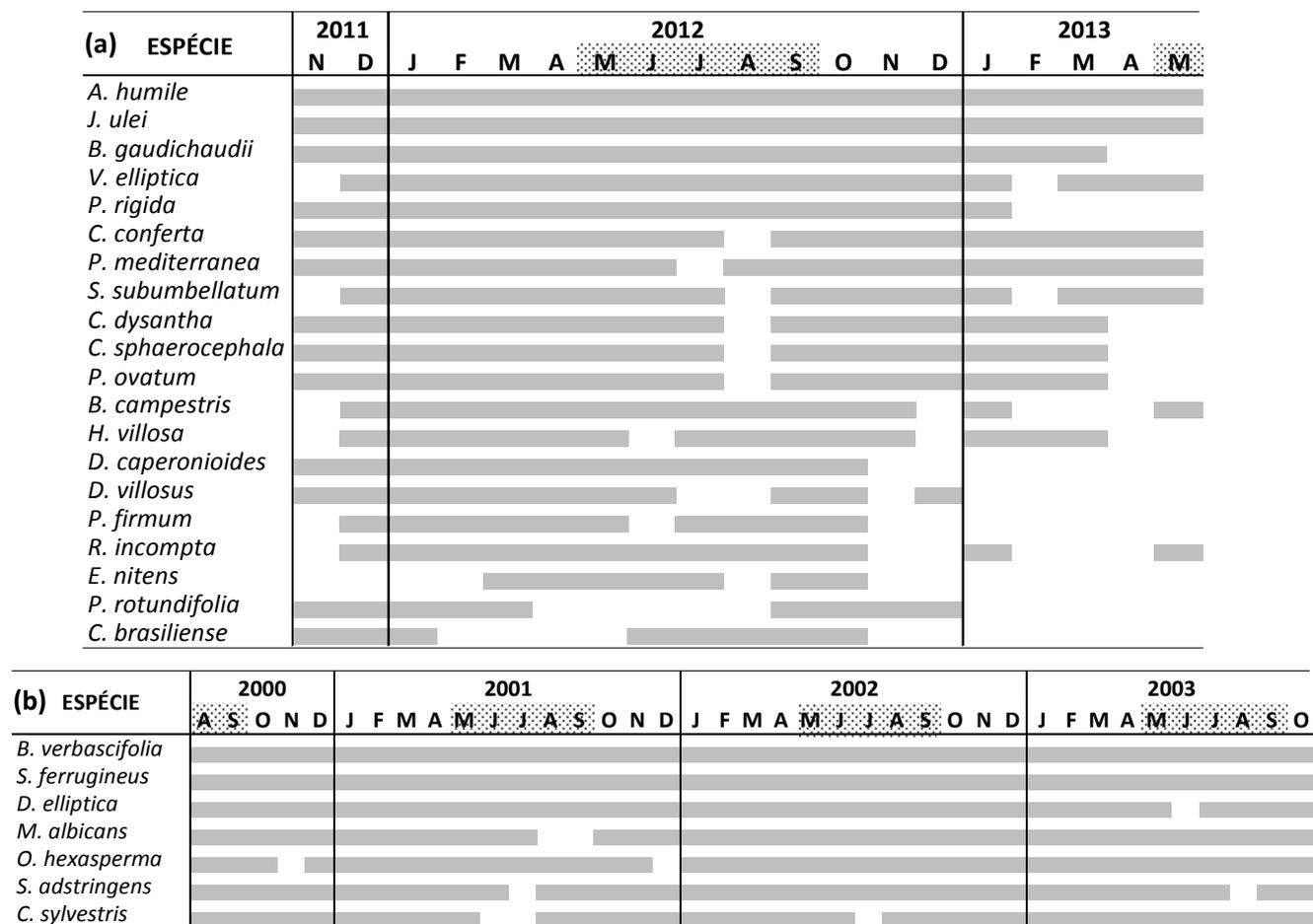


Figura 2.2. Fenograma vegetativo das espécies acompanhadas no Parque Nacional de Brasília e Estação Ecológica de Águas Emendadas (a) e na Reserva Ecológica do IBGE (b). Período seco (▨). Período em que pelo menos um indivíduo produziu folhas novas (■). As espécies seguem ordem decrescente do número de meses em que a fenofase foi registrada no estudo.

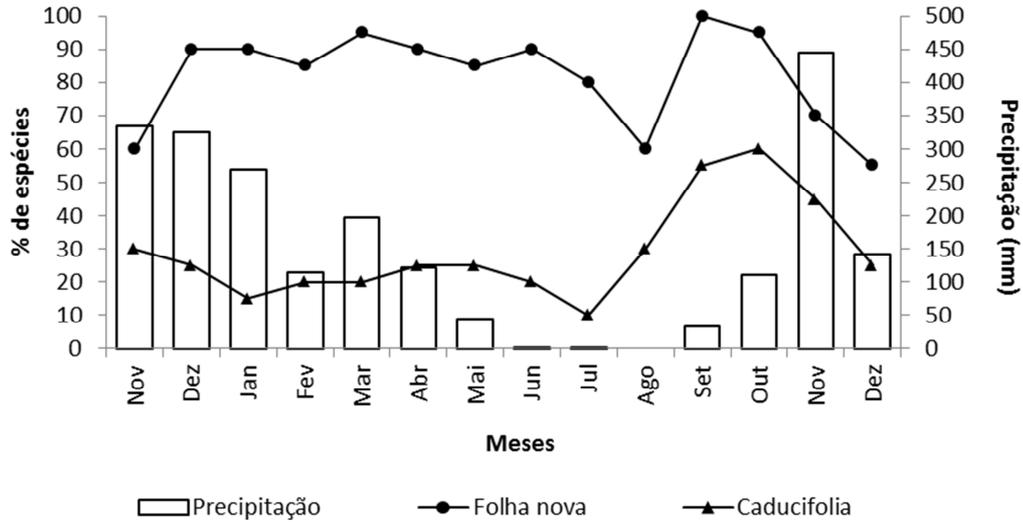


Figura 2.3. Porcentagem de brotação das espécies estudadas no Parque Nacional de Brasília e na Estação Ecológica de Águas Emendadas no período de Novembro de 2011 a Dezembro de 2012.

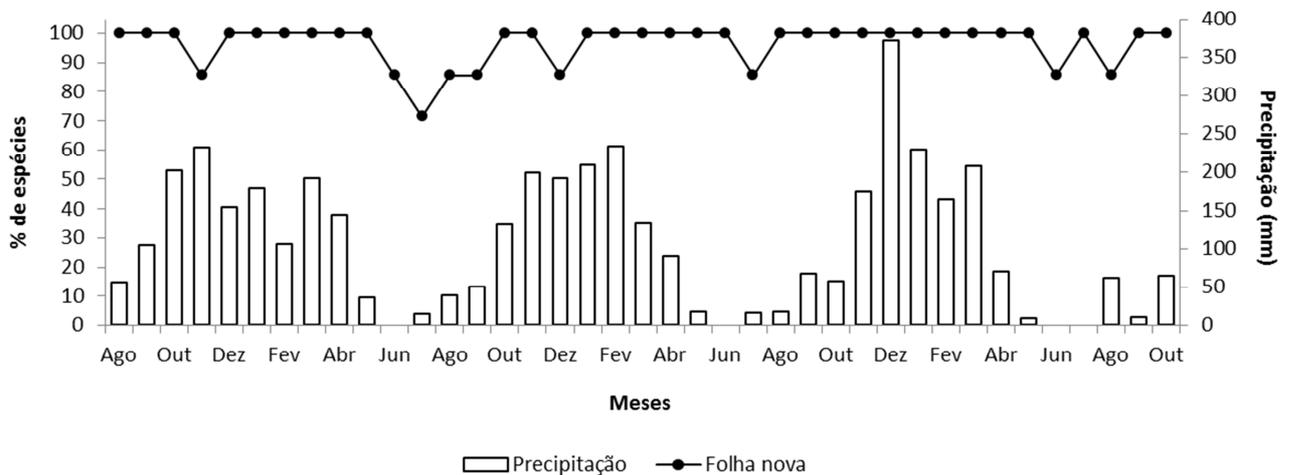


Figura 2.4. Porcentagem de brotação das espécies estudadas na Reserva Ecológica do IBGE no período de Agosto de 2000 a Outubro de 2003.

No entanto, quando as espécies são analisadas individualmente, verifica-se que no período da seca, principalmente nos meses de Julho e Agosto, apesar do acentuado decréscimo na proporção de indivíduos brotando, há espécies que apresentam pequenos picos na produção de folhas novas, como ocorreu com *Brosimum gaudichaudii*, *Chresta sphaerocephala*, *Dalechampia caperonioides*, *Emmotum nitens* e *Ruellia incompta* entre Maio e Junho. Esses picos podem ter ocorrido devido à chuva acima do normal que caiu no final de Maio/2012.

É importante notar que o método aplicado, por considerar apenas presença/ausência de brotação e caducifolia, não permite análises das diferenças de intensidade da fenofases, seja intra-

ou inter-específica, mas sim da sincronia no comportamento fenológico entre as espécies.

Quatro padrões de foliação (brotação) foram observados, formando quatro grupos fenológicos vegetativos: cinco espécies sempre-verdes com crescimento contínuo, sete espécies sempre-verdes com crescimento sazonal, cinco espécies decíduas e três espécies brevidecíduas.

Sempre-verdes com crescimento contínuo (Figura 2.5) – As espécies deste grupo produziram folhas novas por quase todo o ano, com maior intensidade na estação chuvosa. A queda de folhas foi observada apenas em dois indivíduos de *Palicourea rigida*, cujas folhas basais secaram, caíram e foram substituídas por folhas novas logo em seguida. *Ruellia incompta* foi a espécie que apresentou mais picos de produção – quatro no total – sendo que no Parque Nacional, o menor pico ocorreu em Outubro de 2012, mês com maior número de indivíduos brotando em Águas Emendadas. *Vochysia elliptica* teve um pico representado por 50% dos indivíduos em Abril e outro pouco menor em Outubro. As demais espécies tiveram brotação menos intensa no final do período chuvoso (Fevereiro e Março).

Sempre-verdes com crescimento sazonal (Figura 2.6) – Neste grupo estão as espécies que apresentaram brotação marcadamente sazonal, com a maioria dos indivíduos produzindo folhas novas no final da estação seca e durante o período de chuvas. *Brosimum gaudichaudii*, *Emmotum nitens* e *Chresta sphaerocephala* apresentaram um menor pico de produção foliar no meio da estação seca, no entanto, entre os indivíduos de *C. sphaerocephala* esse pequeno pico foi observado apenas no Parque Nacional, em Maio. Na ESECAE a atividade vegetativa da espécie entre Abril e Junho foi intensa. *Piptocarpha rotundifolia* mostrou diferença no comportamento vegetativo entre as duas comunidades estudadas nos primeiros meses do ano, quando apenas os indivíduos marcados no PNB renovaram sua foliação. *Caryocar brasiliense*, apesar de ser identificada na literatura como espécie brevidecídua (Dutra 1987; Vilela *et al.* 2008), neste estudo mostrou padrão vegetativo sempre-verde, pois nenhum dos indivíduos observados perdeu folhas na estação seca, como era esperado.

Decíduas (Figura 2.7) – Foram consideradas decíduas as espécies cujos indivíduos permaneceram sem folhas por mais de três semanas: *Banisteriopsis campestris*, *Calliandra dysantha*, *Hyptis villosa*, *Jacaranda ulei* e *Solanum subumbellatum*. Essas espécies apresentaram picos de brotação e queda simultânea de folhas no início da estação chuvosa. *B. campestris* e *S. subumbellatum* apresentaram quase 80% dos seus indivíduos totalmente sem folhas entre Setembro e Outubro, e no final deste mês a brotação foi intensa para três das cinco espécies deste grupo (*B. campestris*, *J. ulei* e *H. villosa*). Entre Fevereiro e Março quase 100% dos indivíduos de *S. subumbellatum* produziram folhas novas.

Brevidécidas (Figura 2.8) – As espécies brevidécidas caracterizam-se por apresentarem indivíduos que perdem suas folhas por um curto período de tempo – menos de três semanas. Durante o período de observação, *Diplusodon villosus* e *Dalechampia caperonioides* tiveram poucos indivíduos sem folhas – 20% e 10%, respectivamente, no mês de Outubro. A emissão de folhas novas foi observada em todos os indivíduos monitorados de *D. villosus* por quase todo o ano, e nos primeiros meses de 2012 algumas plantas trocaram completamente sua foliação, parecendo nascer de novo. A rebrota é característica da espécie, que perde parte de suas folhas na época reprodutiva e mantém-se perene através de seus xilopódios (Cavalcanti 2007). Apenas *Chamaecrista conferta* apresentou indivíduos sem folhas em todos os meses de estudo, com maior quantidade de indivíduos em Novembro/2011 e Outubro/2012, e produção de folhas sincrônica e intensa. As três espécies apresentaram atividade intensa de brotação no período chuvoso.

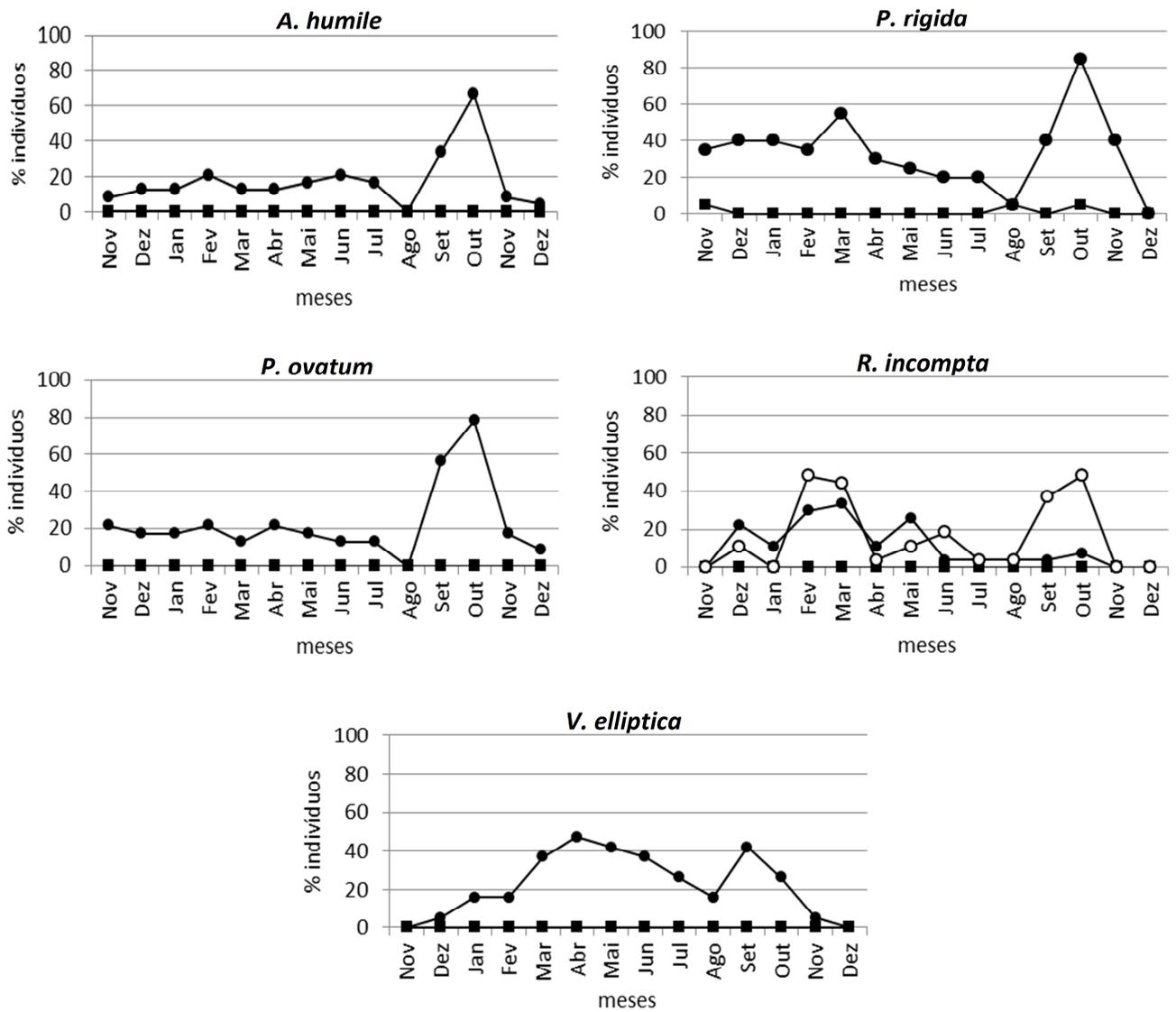


Figura 2.5. Produção ● e queda ■ de folhas das espécies sempre-verdes com crescimento contínuo estudadas no Parque Nacional de Brasília e na Estação Ecológica de Águas Emendadas, DF. *Ruellia incompta* apresenta registros dos dois locais separadamente (PNB= símbolos cheios; ESECAE= símbolos vazados).

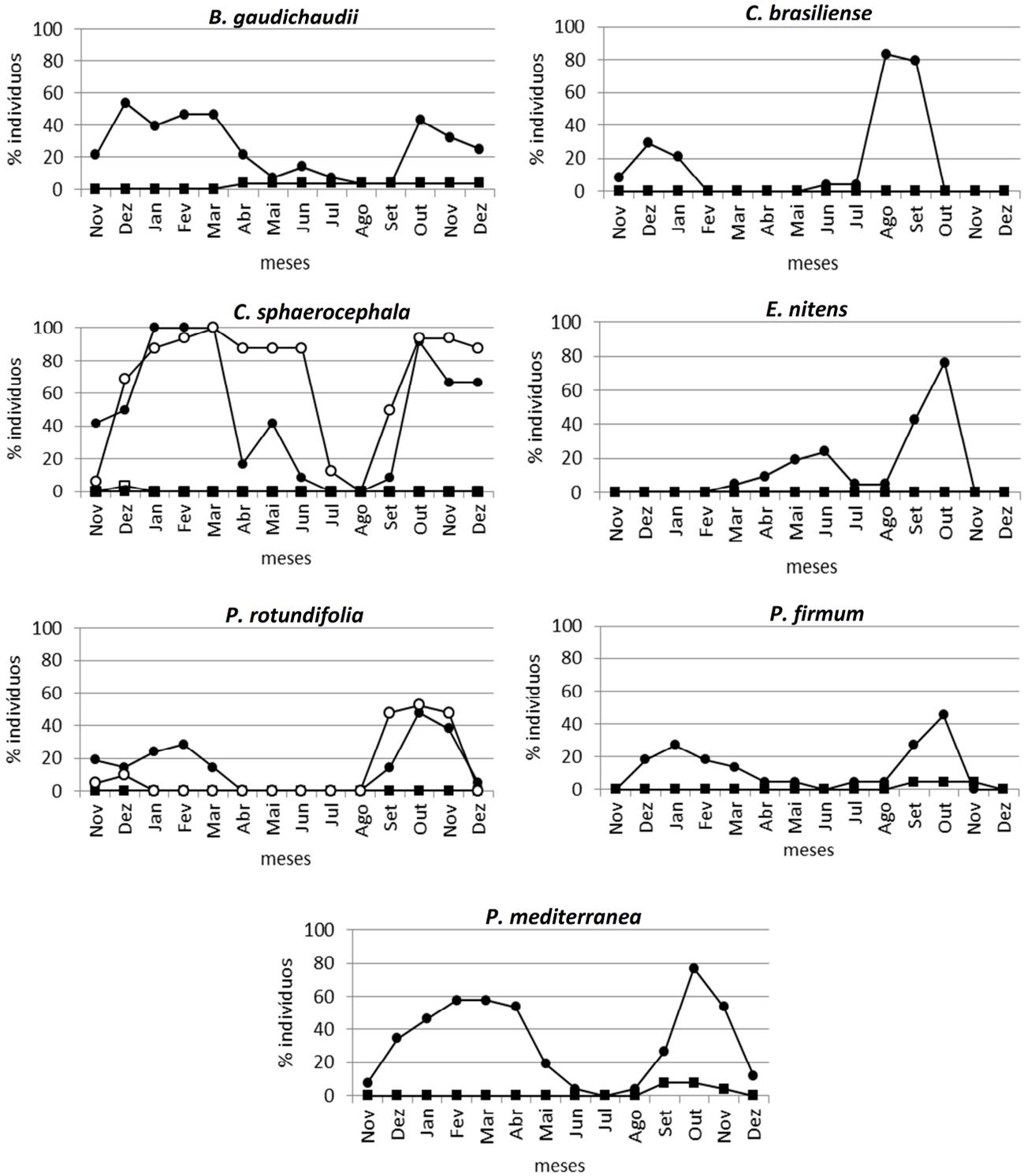


Figura 2.6. Produção ● e queda ■ de folhas das espécies sempre-verdes com crescimento sazonal estudadas no Parque Nacional de Brasília e na Estação Ecológica de Águas Emendadas, DF. *Chresta sphaerocephala* e *Piptocarpha rotundifolia* apresentam registros dos dois locais separadamente (PNB= símbolos cheios; ESECAE= símbolos vazados).

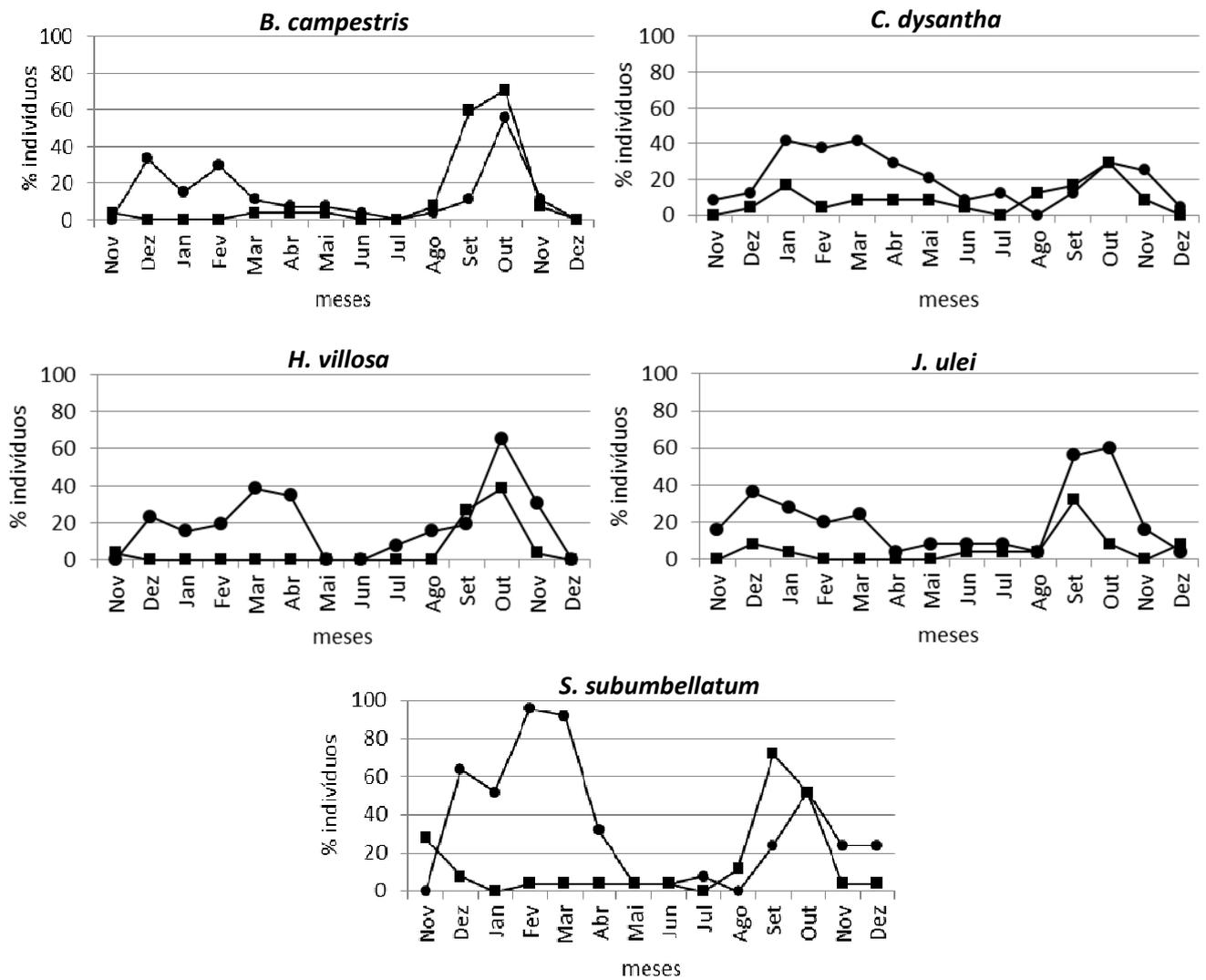


Figura 2.7. Produção ● e queda ■ de folhas das espécies decíduas estudadas no Parque Nacional de Brasília e na Estação Ecológica de Águas Emendadas, DF.

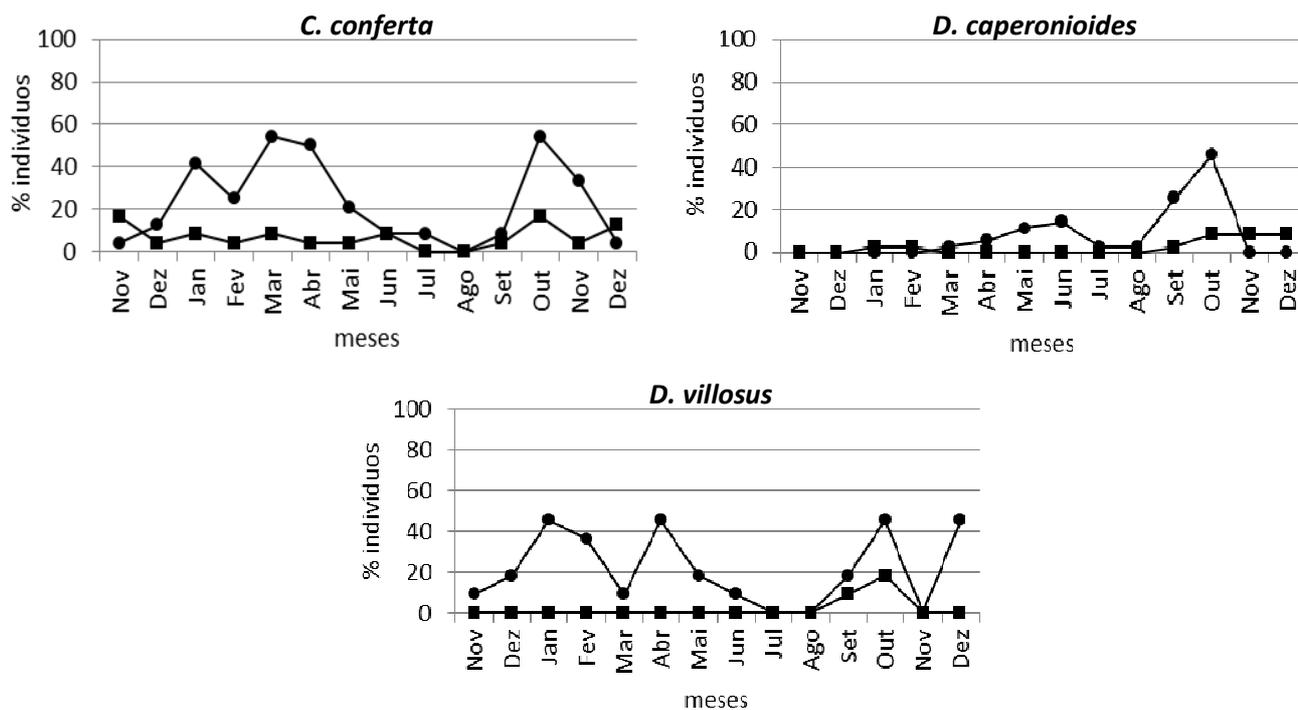


Figura 2.8. Produção ● e queda ■ de folhas das espécies brevidecíduas estudadas no Parque Nacional de Brasília e na Estação Ecológica de Águas Emendadas, DF.

Entre as espécies acompanhadas por Oliveira (2005) no IBGE três apresentaram fenologia brevidecídua (*Davilla elliptica*, *Byrsonima verbascifolia* e *Stryphnodendron adstringens*), três caracterizam-se por serem sempre-verdes com crescimento sazonal (*Ouratea hexasperma*, *Casearia sylvestris* e *Styrax ferrugineus*) e apenas *Miconia albicans* mostrou padrão sempre-verde com crescimento contínuo (Lenza & Klink 2006).

4.2. Fenologia reprodutiva

As 21 espécies acompanhadas no PNB e ESECAE, assim como as sete estudadas no IBGE, apresentaram atividade reprodutiva durante todo o período de observação, e todas as fenofases foram observadas ao longo do ano.

A comparação feita entre o comportamento fenológico reprodutivo das espécies observado em campo e o previsto pelo Índice de Previsibilidade Fenológica está ilustrada nos gráficos (Figuras 2.10, 2.12 e 2.14) e resumida nas tabelas 2.8, 2.11 e 2.12.

Percebe-se que nem sempre o mês de probabilidade máxima indicado pelo PPI (vide Tabelas 2.8, 2.11 e 2.12) coincide com o pico apresentado no gráfico, principalmente se mais de um pico é formado. Isso ocorre porque no cálculo do índice o mês-pico indicado é um resultado médio dos

registros, ou seja, se os picos (maiores previsibilidades) são alternados (ocorrem em Fevereiro e Abril, p. ex.), o mês indicado tende a ser o do meio (Março), mas se os meses de maior previsibilidade forem consecutivos, o PPI indicará o que obtiver maior número de registros próximo a ele.

Assim, mesmo que o índice não aponte o mês em que a fenofase ocorre com maior intensidade, ele indica quando a probabilidade de encontrá-la em campo é maior, afinal, constatou-se nesse estudo a previsão correta do período em que há um número considerável de indivíduos apresentando determinado evento fenológico em campo para todas as espécies.

Botão

A presença de botão floral nas comunidades estudadas foi observada por todo o período de acompanhamento em campo, com 61.5% das espécies apresentando pico da fenofase na estação chuvosa e 38.5% com pico na seca. Os meses com maior número de espécies apresentando botões em campo foram Março e Julho. Na análise dos dados de herbário (somados a fotografias e publicações), o PPI indicou Maio como mês com a maioria das espécies estudadas (19.23%) registrando máxima probabilidade de ocorrer botões (Figura 2.9). Nas áreas estudadas 58% das espécies apresentavam botões florais em Maio, seja iniciando o período da fenofase – como *Casearia sylvestris* e *Ouratea hexasperma* – ou finalizando o evento – como *Hyptis villosa* e *Echinolaena inflexa*.

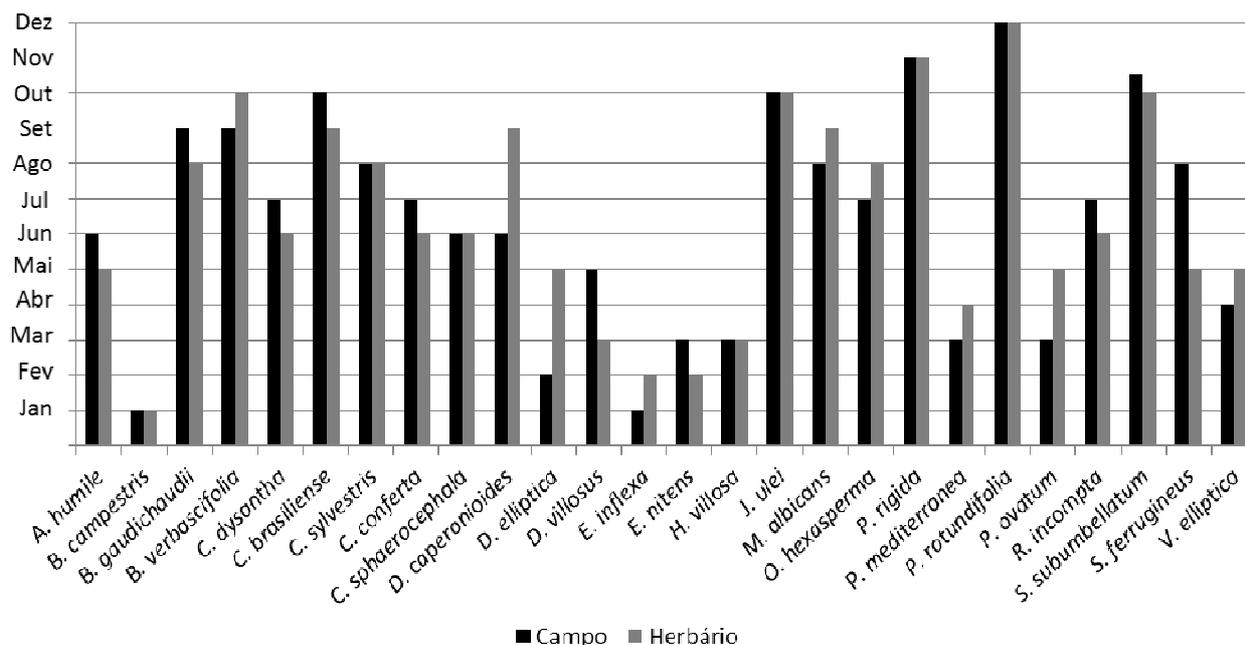


Figura 2.9. Dados da fenofase Botão indicando os meses-pico para "Campo" e meses de máxima probabilidade para "Herbário" (cálculo do PPI) das espécies em estudo. A definição dos picos para os dados de Campo seguiu a metodologia utilizada pelo índice.

Quando analisadas as espécies individualmente, por meio dos gráficos gerados a partir dos dados coletados em campo (Figura 2.10), foi possível perceber quatro comportamentos diferentes na produção de botões: 14 espécies apresentaram comportamento anual unimodal, onde há presença de um único pico e gráfico com distribuição aproximadamente normal; sete espécies caracterizaram-se por apresentarem fenofase anual bimodal, com dois picos de diferentes intensidades no ano, duas espécies apresentaram fenofase subanual multimodal, com vários picos e presença contínua de botões e, por fim, três espécies pareceram apresentar comportamento supra-anual, quando os indivíduos reproduzem-se em intervalos maiores que um ano.

Com relação à distribuição temporal do evento, *Dalechampia caperonioides* foi a única espécie a apresentar emissão **contínua** de botões, 27% das espécies apresentaram fenofase **tardia** (*Anacardium humile*, *Byrsonima verbascifolia*, *Calliandra dysantha*, *Caryocar brasiliense*, *Casearia sylvestris*, *Jacaranda ulei* e *Ruellia incompta*), 11.5% fenofase **precoce** (*Palicourea rigida*, *Piptocarpha rotundifolia* e *Solanum subumbellatum*), e o restante (57.56%) iniciou a emergência de botões no meio da estação chuvosa (fenofase **atrasada**). *Chamaecrista conferta* mostrou comportamentos diferentes entre as duas comunidades acompanhadas: na população presente no PNB o evento foi tardio e na ESECAE o evento foi do tipo atrasado (Tabela 2.13).

A probabilidade de cada mês para presença de botões calculada pelo índice, a partir dos registros de obtidos em herbários e publicações, pode ser comparada com o comportamento observado em campo na figura 2.10.

Anuais unimodais – Mais de 50% das espécies mostraram um único pico e distribuição normal da fenofase no ano. Destas, duas apresentaram maior intensidade do evento na estação seca (*Chresta sphaerocephala* e *Ruellia incompta*) e três (*Anacardium humile*, *Miconia albicans* e *Ouratea hexasperma*) na transição entre a estação seca e a chuvosa. Com exceção de *Chamaecrista conferta*, única espécie unimodal cujas populações são estatisticamente diferentes nas duas áreas de estudo, todas as espécies foram registradas com maior intensidade da fenofase no período chuvoso ou no fim dele.

Os indivíduos de *Chamaecrista conferta* monitorados no Parque Nacional iniciaram a atividade reprodutiva na estação seca (Junho), com pico em Julho e término em Outubro. Na ESECAE a atividade foi mais adiantada, com registros de botões de Março a Julho, e pico em Junho. No ano seguinte poucos indivíduos apresentaram a fenofase na ESECAE: uma planta em Fevereiro e Maio, e duas em Abril. As previsões do PPI feitas a partir dos registros de herbário para o mês-pico (mês com maior previsibilidade) e os meses de maior atividade foram confirmadas em campo. Na comparação entre os gráficos de herbário e campo percebe-se maior concentração de botões entre Maio e Julho, sendo os demais registros reflexos da flexibilidade do evento, visto que o valor médio da duração da fenofase é de quase três meses (2.75) (Tabela 2.9).

Anacardium humile teve apenas oito dos 24 indivíduos amostrados com atividade reprodutiva durante o período de estudo e dos indivíduos que produziram botão, apenas três chegaram à produção de frutos – presentes em campo limpo com murundus, campo sujo e cerrado *sensu stricto*. Apesar disso, a presença da fenofase em campo pôde ser observada entre os meses de Maio e Outubro.

Jacaranda ulei, no campo, apresentou botão entre Setembro e Novembro, meses que o índice previu alta atividade, da mesma forma como ocorreu com *Ouratea hexasperma*, cujos meses de maior probabilidade da fenofase ocorrer, indicados pelo índice, foram entre Julho e Setembro, sendo o primeiro (Julho) o mês de maior atividade no campo nos três anos de estudo (2001 a 2003).

A fenofase em *Davilla elliptica* tem maior chance de ocorrer em Maio, de acordo com os registros de herbário, mas no campo o pico não coincidiu com o previsto em nenhum dos anos estudados. Os meses com maior intensidade de botões na espécie variaram entre Fevereiro e Abril. Janeiro, apesar de apresentar alta atividade apenas em 2001, teve registros de indivíduos emitindo botões todos os anos. A partir de Maio, a intensidade da fenofase decresceu até ser nula em Setembro. De Outubro em diante, alguns indivíduos voltaram a produzir botões florais e em Março o

número de plantas férteis já foi alto novamente. O índice conseguiu prever para *D. elliptica* os meses com maior e menor intensidade da fenofase – apesar de não indicar o mês-pico exato, provavelmente pela flexibilidade da fenofase no campo – e o período mais provável desta fase fenológica ser encontrada.

Segundo a previsão do índice, Maio é o mês com maior chance de presença da fenofase para *Vochysia elliptica* também. No campo, a atividade da espécie foi intensa em Março e Junho e 93% dos indivíduos marcados emitiram botões em Maio. O comportamento observado na área de estudo foi muito semelhante ao previsto pelo PPI, apenas no mês de Agosto – quando a fenofase foi registrada no herbário em dez diferentes anos – nenhum indivíduo foi visto com botões.

Quanto a *Styrax ferrugineus*, os registros de herbário e publicações mostraram grande probabilidade de presença da fenofase entre Abril e Junho, o que foi observado em campo com todos os indivíduos emitindo botões nos três meses. A espécie apresentou alta atividade fenológica de Março a Julho, porém, Agosto, assim como Setembro e Outubro, teve baixa atividade nos anos de acompanhamento, apesar de terem sido registrados indivíduos férteis em todo o período de estudo. O segundo pico em Outubro, presente no gráfico criado a partir dos dados de herbário, indica a maior probabilidade dentre os últimos meses do ano, e no campo a atividade nesse mês foi restrita a poucos indivíduos.

O gráfico de campo de *Chresta sphaerocephala* mostra que a fenofase teve pico em Junho e intensa atividade em Maio. Na análise dos registros de herbário verifica-se o pico em Junho e atividade menos intensa nos demais meses. Para esta espécie o PPI conseguiu prever, além do mês-pico, a ocorrência da fenofase entre Abril e Novembro. *Ruellia incompta* também teve a previsão confirmada em campo. O mês-pico previsto pelo índice (Junho) mostrou alta atividade no campo, apesar de poucos indivíduos da espécie terem apresentado atividade reprodutiva no período de estudo. Nos meses indicados pelo PPI como meses de baixa previsibilidade a fenofase não foi registrada ou esteve presente em apenas um indivíduo.

A análise dos registros de herbário de *Miconia albicans* identificou dois períodos de maior probabilidade: em Setembro – mês em que a fenofase tem maior chance de ocorrer – e em Maio, mês mais provável dentro do primeiro semestre do ano. No campo, foi registrada atividade fenológica mais intensa entre Julho e Setembro, com 100% dos indivíduos marcados produzindo botões neste período, contudo, Maio foi um mês com alta atividade no campo, principalmente nos anos de 2001 e 2003, criando, inclusive, um “falso pico” no primeiro ano.

Brosimum gaudichaudii também apresentou no campo um maior número de indivíduos com botões no segundo semestre do ano – entre os meses de Junho e Outubro – com mais de 70% dos indivíduos férteis e atingindo 93% em Setembro. O gráfico da espécie gerado a partir dos registros

obtidos nos herbários mostra ausência da fenofase apenas em Dezembro, e os meses de maior atividade (Julho, Agosto e Setembro), assim como a probabilidade máxima (Setembro) da fenofase, foram previstos pelo PPI.

Echinolaena inflexa mostrou alta atividade da fenofase no primeiro semestre de 2012, com 80% dos indivíduos monitorados apresentando botões em Janeiro, contudo, no ano seguinte (o estudo se deu somente no primeiro semestre), a fenofase foi registrada apenas em um mês (Janeiro), quando 45% dos indivíduos produziram botão floral. O cálculo do PPI para os dados de herbário previu alta atividade na estação chuvosa e maior probabilidade de ocorrer botões em Dezembro, mês em que nenhuma atividade foi observada entre as plantas amostradas.

Nos dois anos de acompanhamento em campo – 2011/12 e 2012/13 – *Hyptis villosa* foi registrada com botão floral por cinco meses (Janeiro a Maio). Segundo os dados de herbário, no primeiro semestre do ano há maior probabilidade de encontrar a fenofase em campo, principalmente entre Fevereiro e Março, meses com maior número de indivíduos emitindo botões nos locais estudados em 2012. Como previsto pelo índice, no campo, a atividade no segundo semestre foi baixa, *H. villosa* não foi registrada com botões depois de Junho.

Anuais bimodais – Fenofase anual bimodal foi identificada em oito das 26 espécies estudadas: *Byrsonima verbascifolia*, *Calliandra dysantha*, *Casearia sylvestris*, *Caryocar brasiliense*, *Protium ovatum*, *Palicourea rigida*, *Periandra mediterranea* e *Piptocarpha rotundifolia*. Todas apresentaram dois picos de diferentes intensidades e, com exceção de *C. brasiliense* – cujos picos duraram dois meses cada um – mostraram que o pico de maior intensidade teve maior duração que o menos intenso.

Byrsonima verbascifolia apresentou no campo atividade parecida com a prevista pelo índice na estação chuvosa, com pico ocorrendo entre Setembro/Outubro e quase 80% dos indivíduos emitindo botões nesse período. De acordo com o gráfico gerado a partir dos dados de herbário, no período de menor atividade o mês mais provável é Maio, porém em campo não foram registrados botões esse mês. Os menores picos na área de estudo ocorreram ainda na estação chuvosa e a atividade da espécie no período seco se restringiu a um ou dois indivíduos férteis.

Metade dos indivíduos de *Calliandra dysantha* acompanhados em campo foi observada com botões de Junho a Outubro e em Dezembro, com um único indivíduo nos dois últimos meses, formando dois picos de presença do evento. De acordo com os registros de herbário, a espécie pode ser encontrada com botão floral por quase todo o ano, principalmente entre Abril e Setembro, e o PPI indica níveis de previsibilidade irregulares entre os meses, com picos em Junho, Agosto e Novembro. Os meses-pico observados em campo não coincidiram com os previstos, porém a atividade mais intensa na estação seca e outra menor no fim do ano foram confirmadas, ainda que

esta tenha sido representada por apenas um indivíduo da espécie, marcado na ESECAE. Segundo registros publicados pelo INMET, Dezembro de 2012 foi um mês com valores de precipitação muito abaixo do normal, o que pode ter ocasionado a emergência de botões nesse mês no indivíduo da ESECAE, assim como aconteceu em Dezembro de 1979 (de acordo com dados do INMET), data que antecedeu o único registro da espécie com botões em Janeiro nos herbários.

Casearia sylvestris, assim como *Calliandra dysantha*, apresentou o maior pico na estação seca. O mês mais provável previsto pelo índice coincidiu com o observado em campo (Agosto) e os picos menores ocorridos na estação chuvosa, e gerados pela atividade de poucos indivíduos, não foram previstos pelo PPI, no entanto, o gráfico de herbário mostra uma atividade bem menor nos meses mais chuvosos. Entre Julho e Setembro a presença da fenofase é muito mais intensa do que no resto do ano e a duração média de três meses do evento (Tabela 9) coincide com o período de alta atividade da espécie.

O comportamento de *Palicourea rigida* na área de estudo seguiu o publicado na literatura (Silva 1995; Silva Junior *et al.* 2005; Machado 2007): apresentou um grande pico na estação chuvosa e outro menor na seca, confirmando a característica bimodal da espécie. A análise feita a partir de registros de herbário mostrou um grande pico entre Outubro e Novembro e outros três menores (Fevereiro, Abril e Junho) formados pela baixa quantidade de registros nos meses de Março e Maio, quando nenhum indivíduo foi observado com botões em campo. *Caryocar brasiliense* apresentou o menor pico em Junho e o maior em Outubro, quando mais de 90% dos indivíduos monitorados emitiram botões. Na análise do índice, a espécie tem maior chance de apresentar a fenofase na transição da estação seca para a chuvosa (entre Setembro e Outubro), enquanto no período seco há chances menores de a fenofase ocorrer, principalmente em Junho, quando poucos indivíduos com botões foram registrados no campo.

No primeiro ano de estudo (2011-12) os registros de botões florais em *Protium ovatum* ocorreram de Dezembro a Julho – com pico em Março – e em Outubro, quando apenas um indivíduo apresentou a fenofase. No ano seguinte a atividade iniciou em Maio, porém o término do estudo de campo em Junho não permitiu o acompanhamento da atividade fenológica completa. Contudo, apesar de diferenças na intensidade da fenofase, a maior atividade prevista na transição da estação chuvosa para a seca foi observada no campo.

Piptocarpha rotundifolia apresentou botões florais nos meses com precipitação mais alta (Outubro a Março), como previsto pelo índice, e dois picos de emergência de botões foram identificados: um em Março e outro maior entre Outubro e Dezembro. Os registros de herbário também mostraram dois picos de previsibilidade: um em Dezembro e outro menor em Maio, mês em

que nenhum indivíduo estudado apresentou botões. Contudo, de acordo com o índice, Março (menor pico no campo) apresenta o mesmo grau de previsibilidade de Maio.

De acordo com os registros de herbário, *Periandra mediterranea* pode ser encontrada com botão floral durante todo o ano, com maior probabilidade no primeiro semestre. No campo essa previsão foi confirmada. *P. mediterranea* apresentou comportamentos diferentes nas duas áreas estudadas, mas ambas tiveram maior atividade nos primeiros meses do ano. No PNB a espécie apresentou dois picos, sendo o maior na estação chuvosa e o menor – representado por apenas um indivíduo – na estação seca (Julho a Agosto); na ESECAE a atividade teve maior duração e apenas um pico, também em Março. A fenofase bastante ampla e de previsibilidade irregular mostrada no gráfico de herbário reflete o comportamento diferenciado que ocorre nas diferentes populações da espécie.

Para as oito espécies foram previstos os meses em que a fenofase ocorre com maior e/ou menor intensidade.

Subanuais multimodais – Apenas *Dalechampia caperonioides* e *Solanum subumbellatum* apresentaram fenofase contínua com três ou mais picos de diferentes intensidades.

A atividade fenológica de *S. subumbellatum* nos locais estudados, representada por poucos indivíduos, foi praticamente restrita à estação chuvosa, com emergência de botões florais em 55.5% dos indivíduos no mês de Outubro e quase 80% em Novembro. Os demais picos observados no gráfico do campo foram representados pela ocorrência da fenofase em apenas um indivíduo. A partir dos dados de herbário, observa-se a presença de botões em todos os meses do ano, sendo Setembro, Outubro e Novembro os meses de maior previsibilidade.

Dentre as espécies estudadas, *D. caperonioides* foi a que apresentou, em campo, fenofase mais ampla e irregular, tendo sido registrados indivíduos com botão floral durante quase todo o período de estudo. Nos registros de herbário a espécie apresentou fenofase contínua com altos níveis de probabilidade em quase todo o ano.

Supra-anuais – *Banisteriopsis campestris*, *Diplusodon villosus* e *Emmotum nitens* foram as três espécies que mostraram comportamento com características que tendem a bianualidade. *D. villosus*, cuja emergência de botões, nas áreas estudadas, aconteceu entre Março e Julho de 2012 e em Fevereiro de 2013, apresentou no gráfico gerado a partir de dados de herbário maior chance de produzir botões entre os meses de Fevereiro e Abril. No campo, apenas dois indivíduos marcados emitiram botão floral. Em Novembro de 2011 (primeiro mês de observação) quase 40% dos indivíduos acompanhados em campo apresentavam frutos e estes não voltaram a reproduzir em todo o período de estudo. Os demais permaneceram estéreis até Março, quando a fenofase foi registrada em duas plantas. *D. villosus* foi a espécie com atividade reprodutiva menos intensa,

presente no menor número de indivíduos, e é possível que o motivo dessa falha seja o comportamento supra-anual da espécie, em que os indivíduos reproduzem-se em intervalos maiores que um ano.

Para *Emmotum nitens* os registros de herbário indicaram dois períodos de aumento de previsibilidade – o maior entre Fevereiro e Março e outro no segundo semestre do ano (Novembro), não observado em campo. No cerradão amostrado, a espécie apresentou maior intensidade da fenofase em Março de 2012, e apenas um indivíduo produziu botões no ano seguinte. Essa diferença de intensidade da fenofase entre anos foi registrada em outros estudos e caracteriza a espécie como bianual. A presença da fenofase nos primeiros meses do ano e o mês com maior intensidade foram previstos pelo índice.

Banisteriopsis campestris foi registrado com botões nos herbários o ano todo, sendo Novembro e Março os meses de maior previsibilidade, período em que a fenofase foi registrada também no campo. Porém, no campo, poucos indivíduos apresentaram atividade fenológica e em 2012 não houve registro do evento nos indivíduos da ESECAE, que apenas no ano seguinte emitiram botão floral (três indivíduos). Os picos observados em campo ocorreram em Dezembro (PNB) e Janeiro (ESECAE).

Previsibilidade do índice para a Fenofase Botão

Tendo em vista os dois fatores que compõem o Índice de Previsibilidade Fenológica, é possível calcular o quanto o evento é explicado pela sua constância (duração) ou por sua contingência (flexibilidade), ou seja, o quanto o valor do índice reflete a duração da fenofase e quanto é reflexo da sua plasticidade.

Dentre as espécies analisadas, *Styrax ferrugineus* foi a que apresentou produção de botões mais constante. No campo, a espécie mostrou fenofase prolongada, com duração em torno de onze meses, assim como mostrado pelo gráfico de registros herborizados. Sua contingência baixa (bem próxima de zero) reflete a característica prolongada natural do evento entre os indivíduos. Por outro lado, espécies como *Jacaranda ulei*, *Anacardium humiile* e *Ruellia incompta* apresentaram as maiores proporções de contingência. No herbário *J. ulei* e *R. incompta* foram registradas com botões por sete e nove meses, respectivamente, porém, no campo foi observado que a média de duração individual da fenofase nessas espécies não alcança dois meses. Para *J. ulei* a contingência maior que 1, valor que teoricamente não existe, pode ser devido ao número de registros menor que 60 (58). Nesse caso, seria importante que mais registros fossem incluídos na análise a fim de diminuir ao máximo os

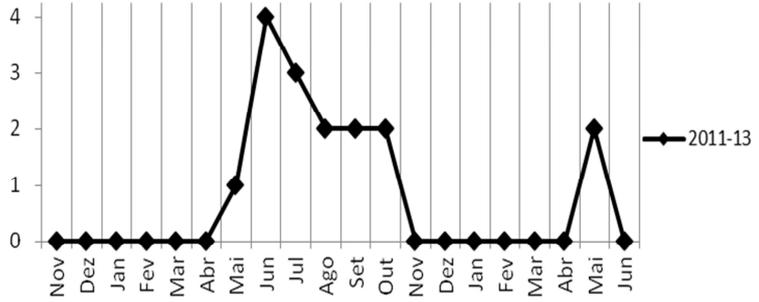
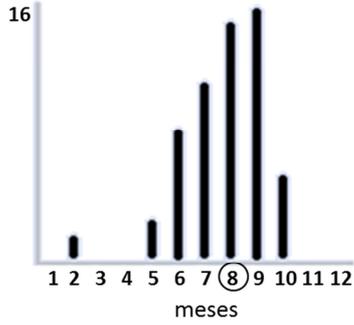
resíduos casuísticos que, porventura, possam estar interferindo no resultado, mas não obtivemos êxito em obter mais eventos.

O mesmo motivo pode ter causado o elevado valor de contingência (>1) de *A. humile*, além disso, houve dissincronia entre os indivíduos no campo, o que aumenta temporalmente a ocorrência da fenofase e, conseqüentemente, o seu valor de flexibilidade. A duração do evento variou de uma a sete quinzenas e o período de ocorrência da fenofase também foi diferente entre alguns indivíduos.

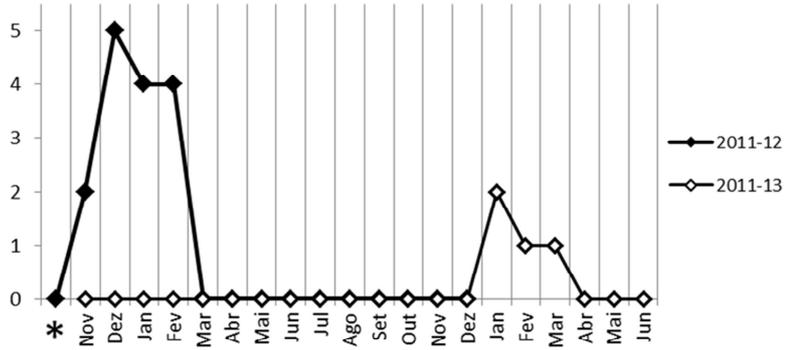
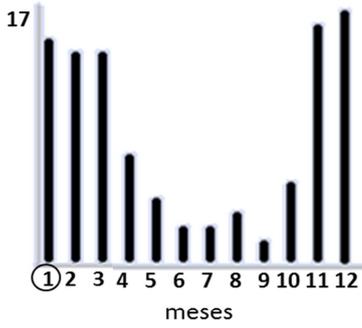
Tabela 2.9. Dados da fenofase “Botão” de 26 espécies, por ordem decrescente do valor do PPI total. *** = Registros obtidos em herbários, fotografias e estudos publicados. N = número de indivíduos amostrados. \bar{m} = número médio de meses em que a fenofase ocorre no campo. σ = desvio-padrão da média. Pico = mês de atividade máxima da fenofase. * = número de registros inseridos com presença de botão floral. f = eventos analisados. m = número de meses com registros da fenofase no herbário. Probabilidade máx. = período de maior probabilidade de encontrar a fenofase em campo. ** = maior pico indicado no gráfico, se diferente do cálculo do índice. x = PPI total (soma dos PPI’s de todos os meses). CS = valor de constância do PPI total. CG = valor de contingência do PPI total. Meses separados por barra indicam os picos observados em PNB/ESECAE, nesta ordem, quando diferem. + = Áreas de estudo analisadas individualmente. Em negrito o maior valor ente constância e contingência.

| ESPÉCIES | CAMPO | | | HERBÁRIO*** | | | | | |
|------------------------------------|-------|----------------------|---------|------------------------|-----|---------------------------------|---------|---------------|---------------|
| | N | $\bar{m} \pm \sigma$ | Pico | Espécimes * (f) | m | Probabilidade máx. (Gráf.**) | PPI x | CS | CG |
| <i>Anacardium humile</i> | 24 | 3.5 ± 3.5 | Jun | 83 (58) | 7 | Ago (Set) | 1.4691 | 0.1154 | 1.3537 |
| <i>Jacaranda ulei</i> | 25 | 3.66 ± 0.58 | Out | 108 (58) | 7 | Out | 1.4691 | 0.0731 | 1.396 |
| <i>Diplusodon villosus</i> | 11 | 3 ± 2.83 | Mai | 131 (84) | 9 | Mar (Fev, Abr) | 0.9795 | 0.25 | 0.7295 |
| <i>Chresta sphaerocephala</i> | 28 | 8 | Jun | 81 (55) | 9 | Jun | 0.9794 | 0.1858 | 0.7936 |
| <i>Chamaecrista conferta</i> + | 11 | 2.75 ± 1.71 | Jul/Jun | 88 (60) | 9 | Jun | 0.9791 | 0.1577 | 0.8214 |
| <i>Ruellia incompta</i> | 27 | 4 | Jul | 91 (59) | 9 | Jun | 0.9791 | 0.0642 | 0.9149 |
| <i>Casearia sylvestris</i> | 11 | 3 ± 2.25 | Ago | 89 (61) | 9 | Ago | 0.9790 | 0.2912 | 0.6878 |
| <i>Protium ovatum</i> | 12 | 4 ± 4.24 | Abr | 67 (52) | 10 | Mai | 0.7345 | 0.1219 | 0.6126 |
| <i>Ouratea hexasperma</i> | 14 | 6.66 ± 2.3 | Ago | 121 (87) | 10 | Set (Ago, Set) | 0.7342 | 0.3077 | 0.4265 |
| <i>Calliandra dysantha</i> | 24 | 3 ± 2.82 | Ago | 142 (85) | 10 | Jun | 0.7340 | 0.2135 | 0.5205 |
| <i>Echinolaena inflexa</i> | 20 | 2.09 ± 2.66 | Jan | 97 (68) | 11 | Fev (Dez) | 0.4897 | 0.1812 | 0.3085 |
| <i>Styrax ferrugineus</i> | 16 | 6 ± 5.23 | Ago | 149 (91) | 11 | Mai (Jun) | 0.4895 | 0.475 | 0.0145 |
| <i>Miconia albicans</i> | 11 | 4 ± 5.66 | Ago | 92 (67) | 11 | Set | 0.4895 | 0.4192 | 0.0703 |
| <i>Brosimum gaudichaudii</i> | 28 | 4.33 ± 4.16 | Nov | 71 (59) | 11 | Ago (Set) | 0.4894 | 0.2992 | 0.1902 |
| <i>Byrsonima verbascifolia</i> | 13 | 3 ± 2.73 | Set | 79 (63) | 11 | Out | 0.4894 | 0.1892 | 0.3002 |
| <i>Emmotum nitens</i> | 21 | 3 ± 2.52 | Jan | 83 (63) | 11 | Fev (Mar) | 0.4894 | 0.1412 | 0.3482 |
| <i>Caryocar brasiliense</i> | 24 | 1.75 ± 0.5 | Set | 88 (63) | 11 | Set | 0.4893 | 0.0892 | 0.4001 |
| <i>Periandra mediterranea</i> + | 11 | 5.66 ± 2.08 | Mar | 147 (108) | 12 | Abr (Fev, Mai) | 0.2450 | 0.2042 | 0.0408 |
| <i>Dalechampia caperonioides</i> | 34 | 5 ± 8 | Fev | 232 (155) | 12 | Set | 0.2450 | 0.0681 | 0.1769 |
| <i>Hyptis villosa</i> | 26 | 5 | Mar | 59 (50) | 12 | Mar (Fev, Mar) | 0.2449 | 0.1365 | 0.1084 |
| <i>Piptocarpha rotundifolia</i> | 10 | 2.33 ± 1.15 | Dez | 68 (57) | 12 | Dez | 0.2448 | 0.1562 | 0.0886 |
| <i>Banisteriopsis campestris</i> + | 27 | 3.5 ± 0.71 | Dez/Jan | 159 (100) | 12 | Jan (Dez) | 0.2448 | 0.0727 | 0.1721 |
| <i>Davilla elliptica</i> | 20 | 5.5 ± 3.4 | Fev | 101 (81) | 12 | Mai | 0.2447 | 0.1904 | 0.0543 |
| <i>Vochysia elliptica</i> | 19 | 5 | Mai | 140 (102) | 12 | Mai | 0.2446 | 0.2169 | 0.0277 |
| <i>Palicourea rigida</i> | 20 | 3.5 ± 0.71 | Dez | 158 (97) | 12 | Nov (Out, Nov) | 0.2446 | 0.1423 | 0.1023 |
| <i>Solanum subumbellatum</i> | 13 | 2.33 ± 1.15 | Nov | 109 (79) | 12 | Out | 0.2446 | 0.0962 | 0.1484 |

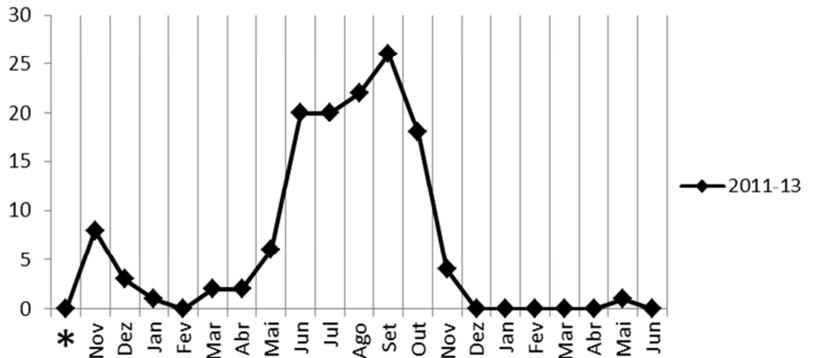
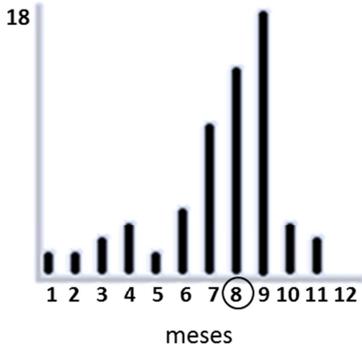
Anacardium humile



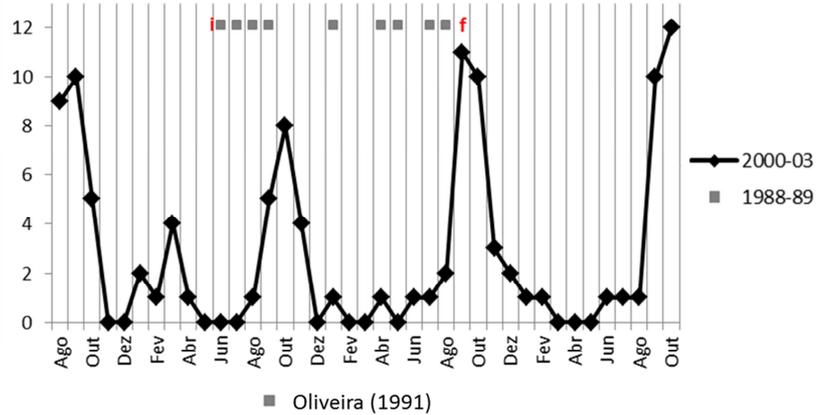
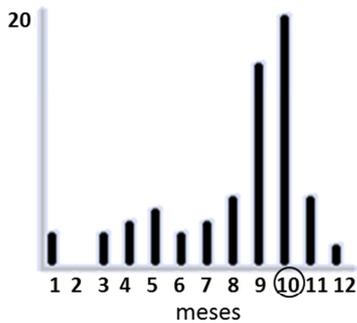
Banisteriopsis campestris



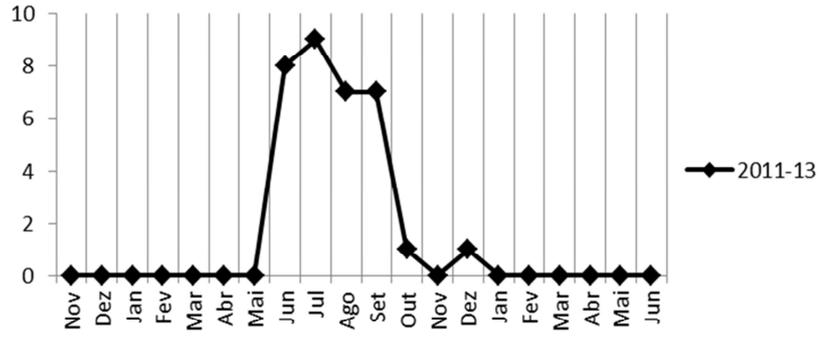
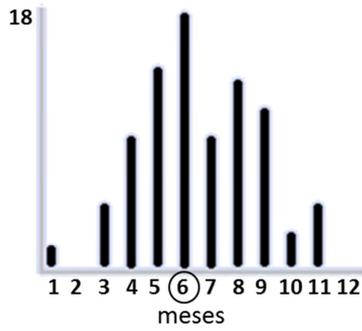
Brosimum gaudichaudii



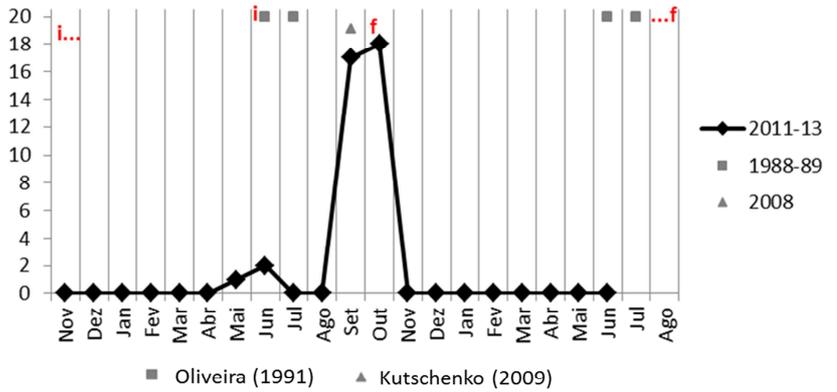
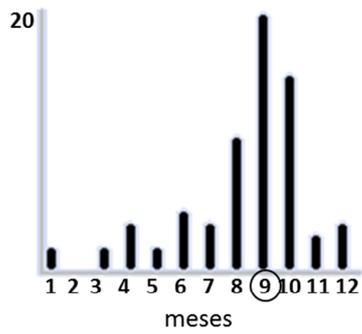
Byrsonima verbascifolia



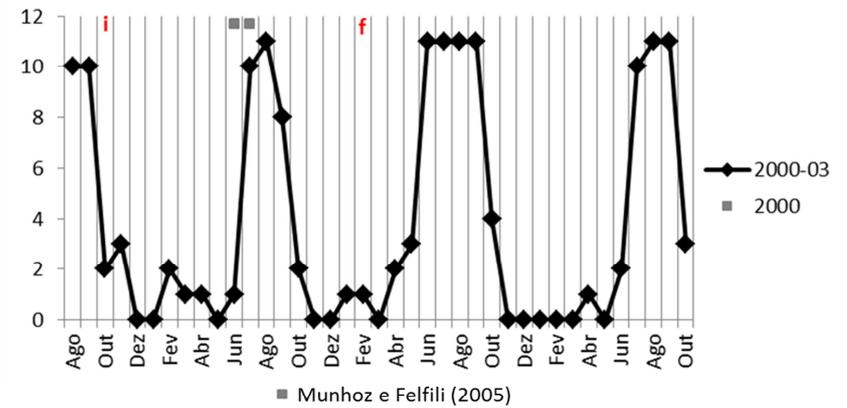
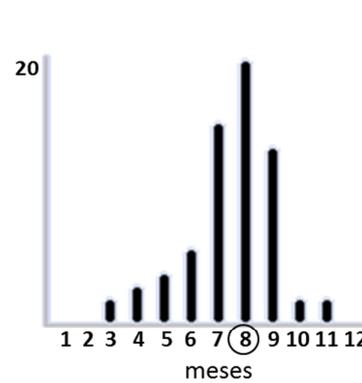
Calliandra dyantha



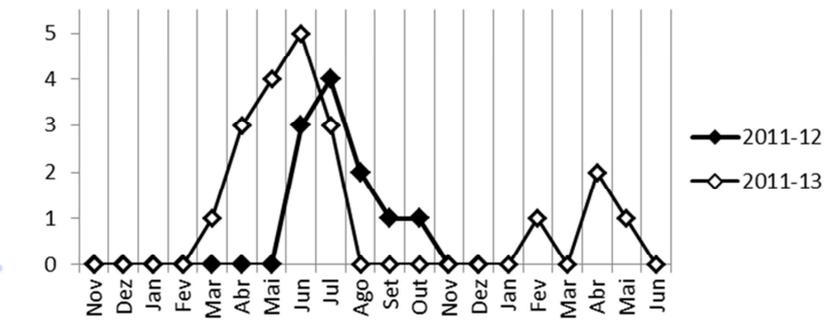
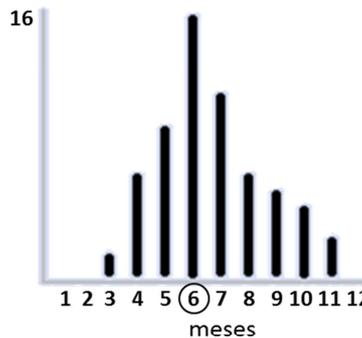
Caryocar brasiliense



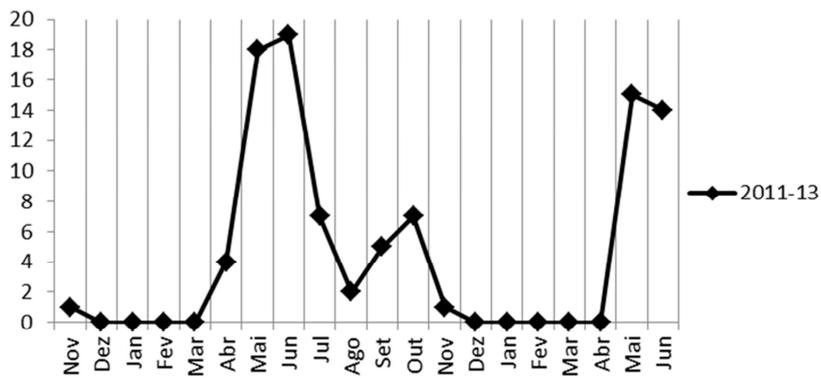
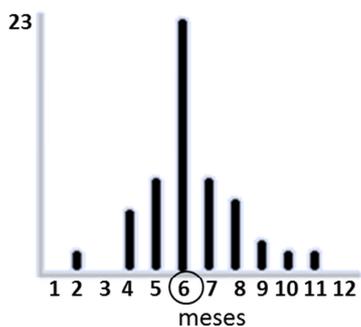
Casearia sylvestris



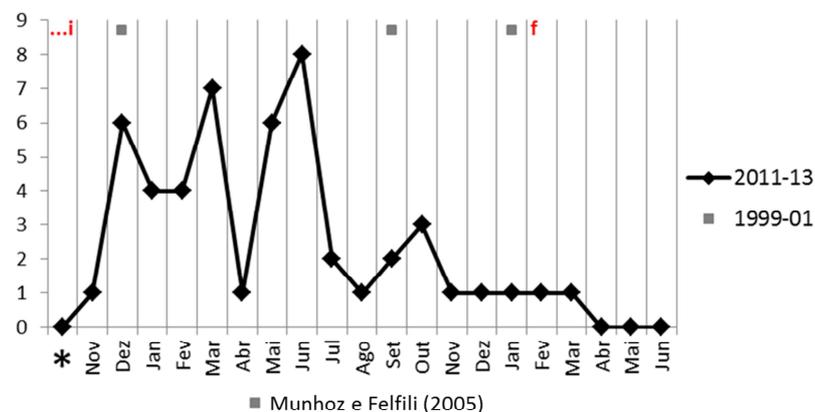
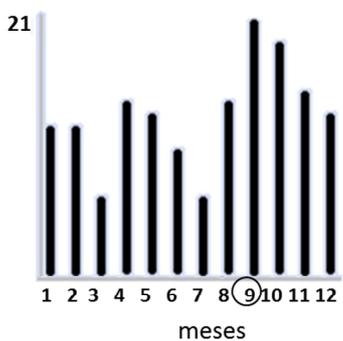
Chamaecrista conferta



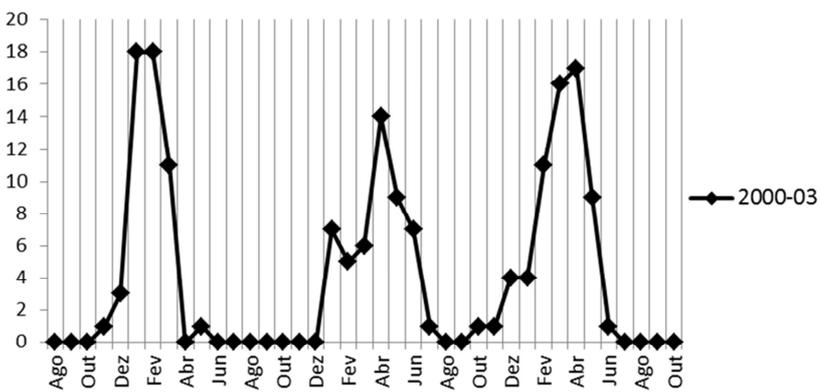
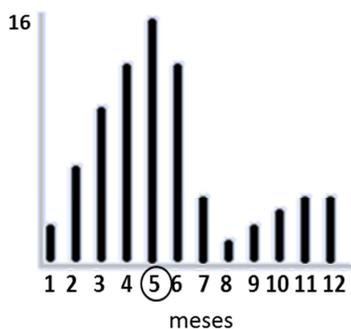
Chresta sphaerocephala



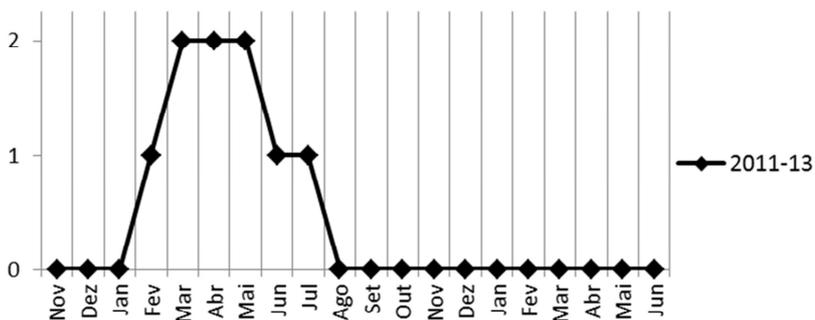
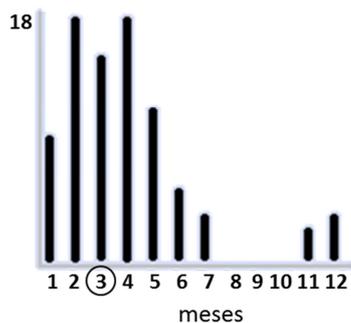
Dalechampia caperonioides

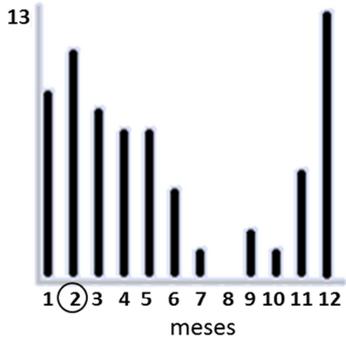


Davilla elliptica

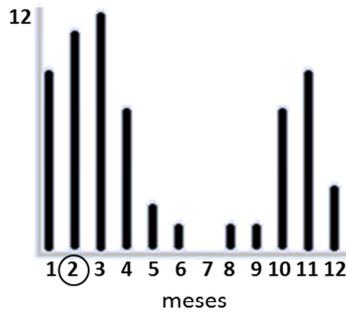
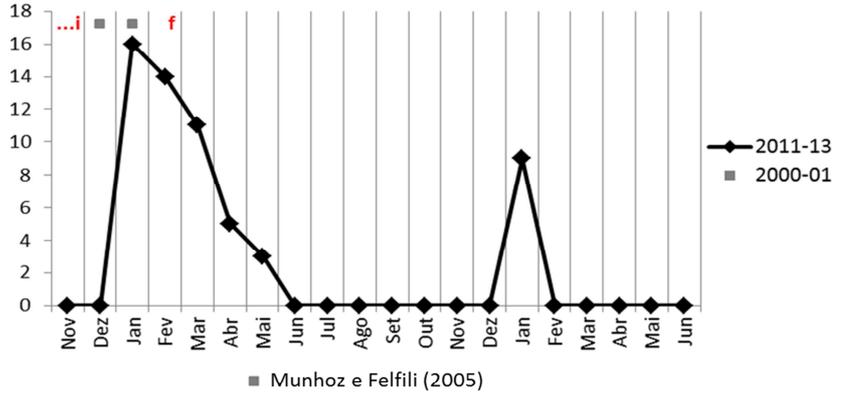


Diplusodon villosus

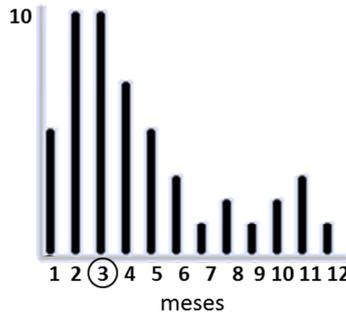
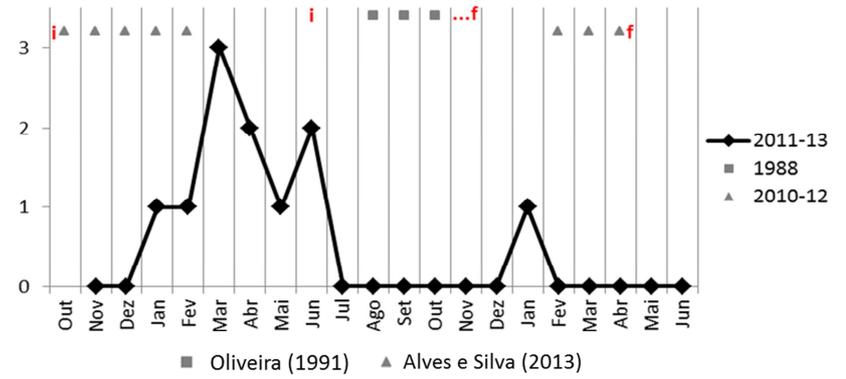




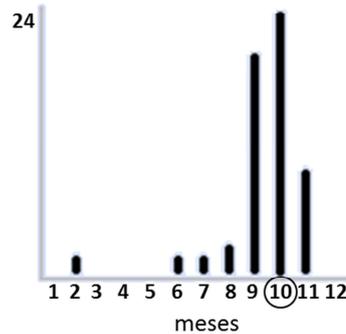
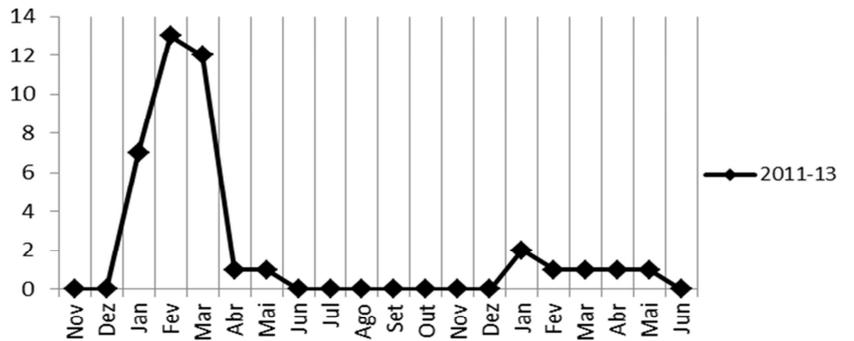
Echinolaena inflexa



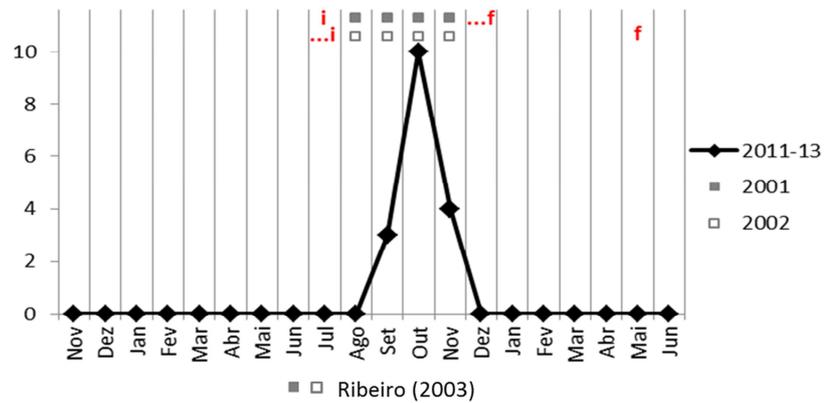
Emmotum nitens

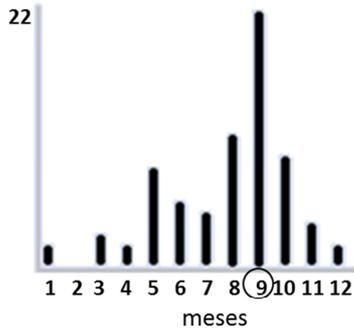


Hyptis villosa

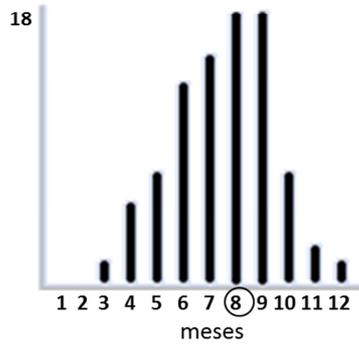
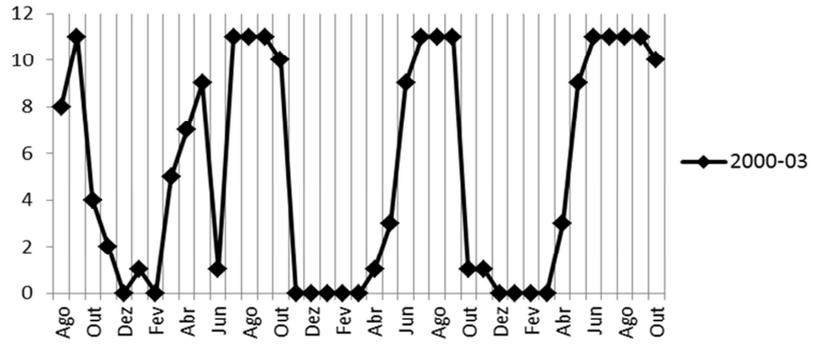


Jacaranda ulei

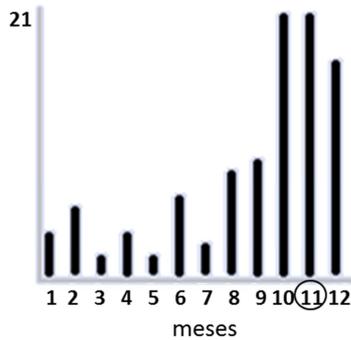
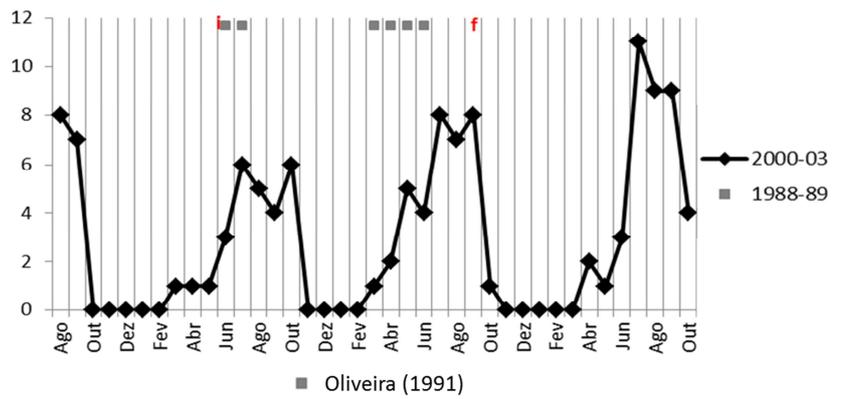




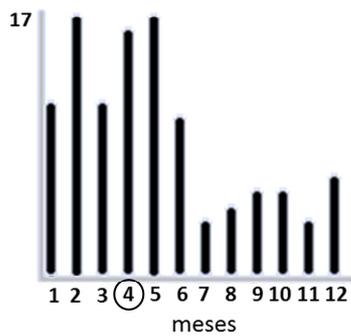
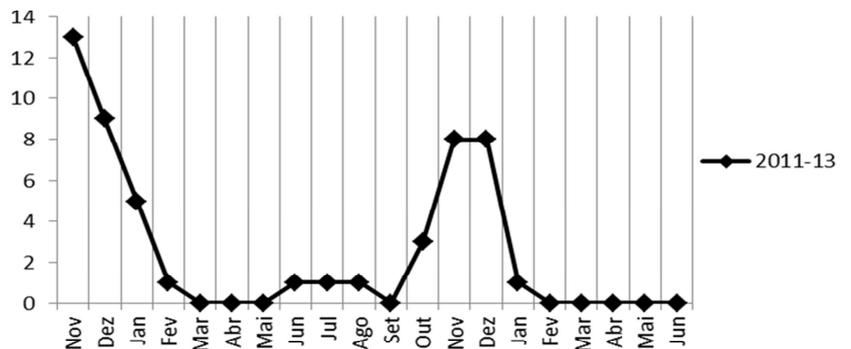
Miconia albicans



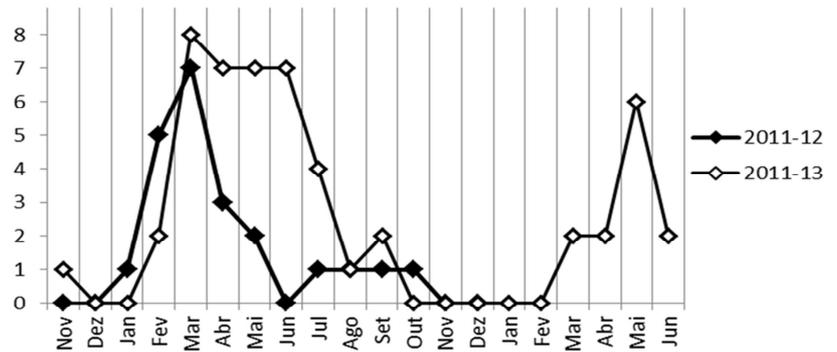
Ouratea hexasperma



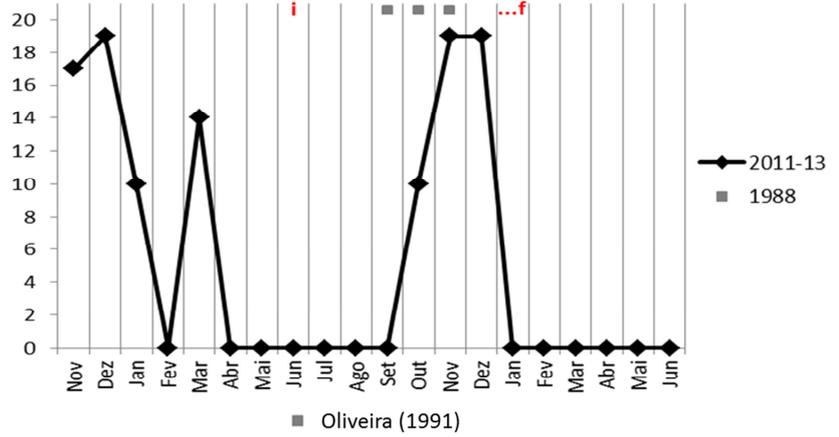
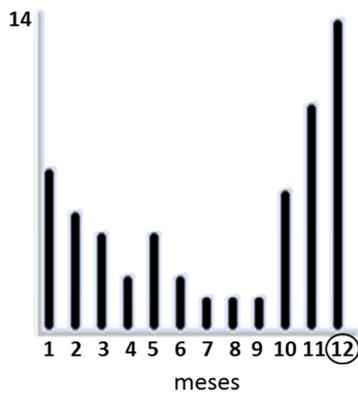
Palicourea rigida



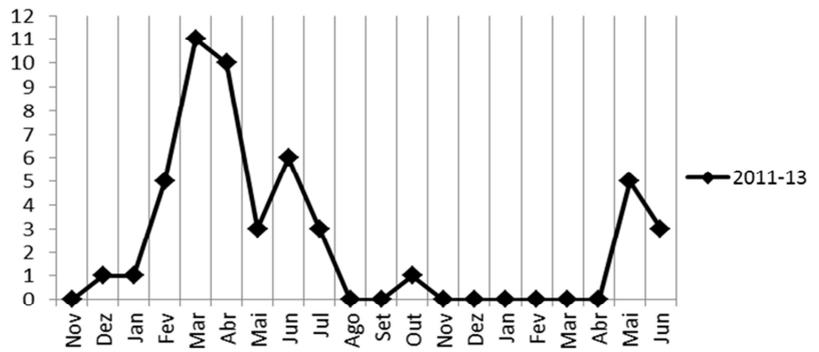
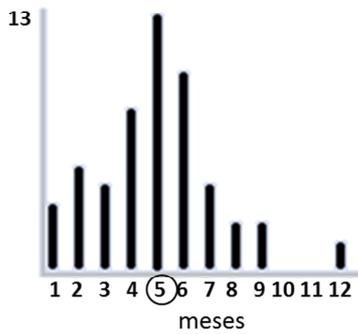
Periandra mediterranea



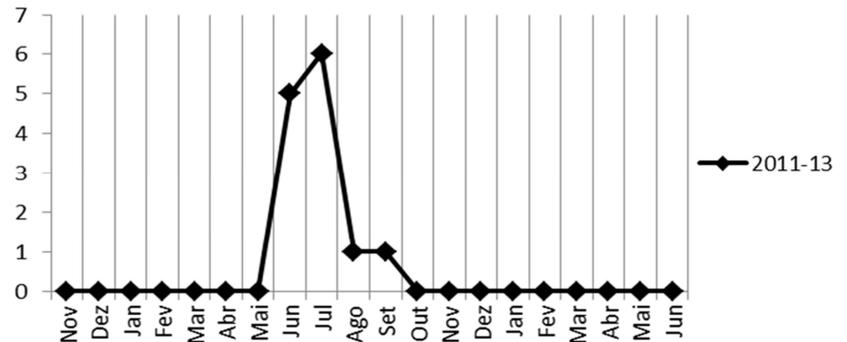
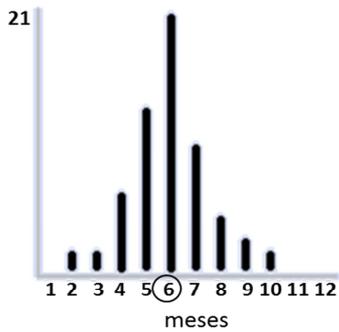
Piptocarpha rotundifolia



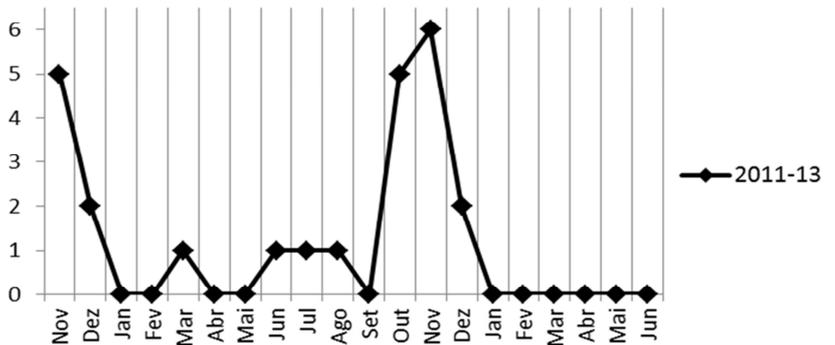
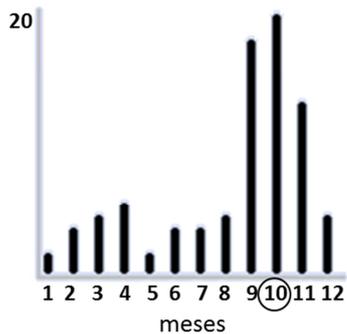
Protium ovatum



Ruellia incompta



Solanum subumbellatum



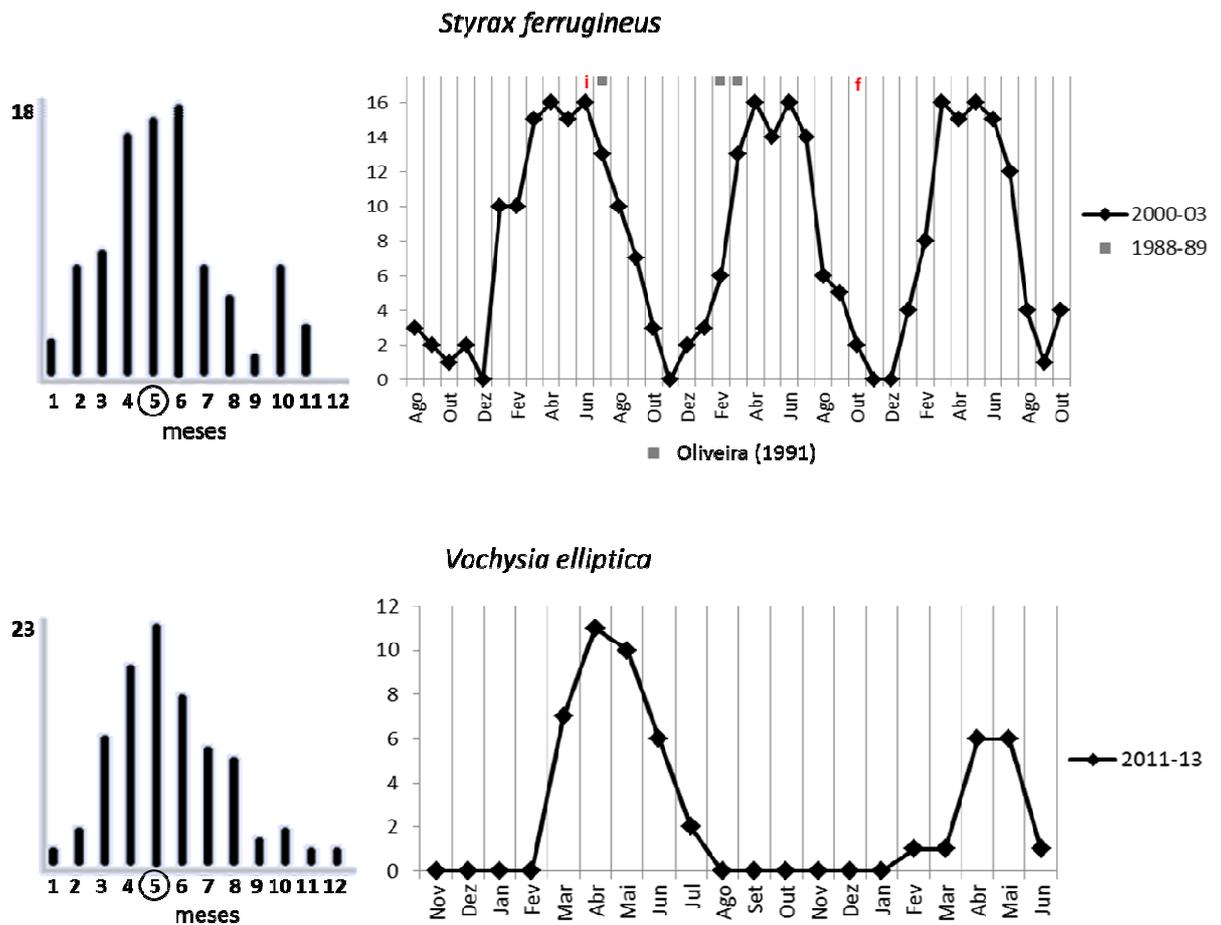


Figura 2.10. Fenofase Botão das espécies estudadas. À esquerda gráficos gerados a partir do cálculo do PPI com registros de herbário (eixo y corresponde ao número máximo de anos com coletas no respectivo mês). À direita gráficos gerados a partir dos registros coletados em campo (eixo y corresponde ao número de indivíduos). Mês circulado refere-se à probabilidade máxima indicada pelo índice. Símbolo circulado é o pico observado no estudo em questão. * indica ausência da fenofase na primeira quinzena de Novembro, quando as observações iniciaram. Em espécies cujas comunidades estudadas (PNB e ESECAE) foram analisadas individualmente \blacklozenge refere-se aos registros obtidos no PNB e \blacklozenge aos registros da ESECAE. Símbolos em cinza indicam observações em outros estudos. i = mês de início do estudo. f = mês final do estudo. Retiscências informam que o trabalho começou antes (depois) do início (fim) do gráfico.

Flor

Verificando os picos de floração das espécies estudadas percebe-se maior quantidade de indivíduos florescendo em campo nos meses de Março, Setembro e Outubro, e apenas 18.5% das espécies florescendo na estação seca. Entre os registros de herbário, que englobam todo o Distrito Federal, os meses de maior probabilidade da fenofase foram Junho e Setembro (Figura 2.11).

Quanto à duração média do evento, no campo as florações variaram de um mês e meio a quase oito meses, enquanto no herbário as espécies com registros mais concentrados somaram nove meses. *Ruellia incompta* e *Miconia albicans* apresentaram, na área de estudo, o menor período médio de floração – ambas as espécies ficam floridas, em média, por menos de dois meses – enquanto *Protium ovatum* e *Emmotum nitens* tiveram a média de floração mais extensa dentre as espécies estudadas.

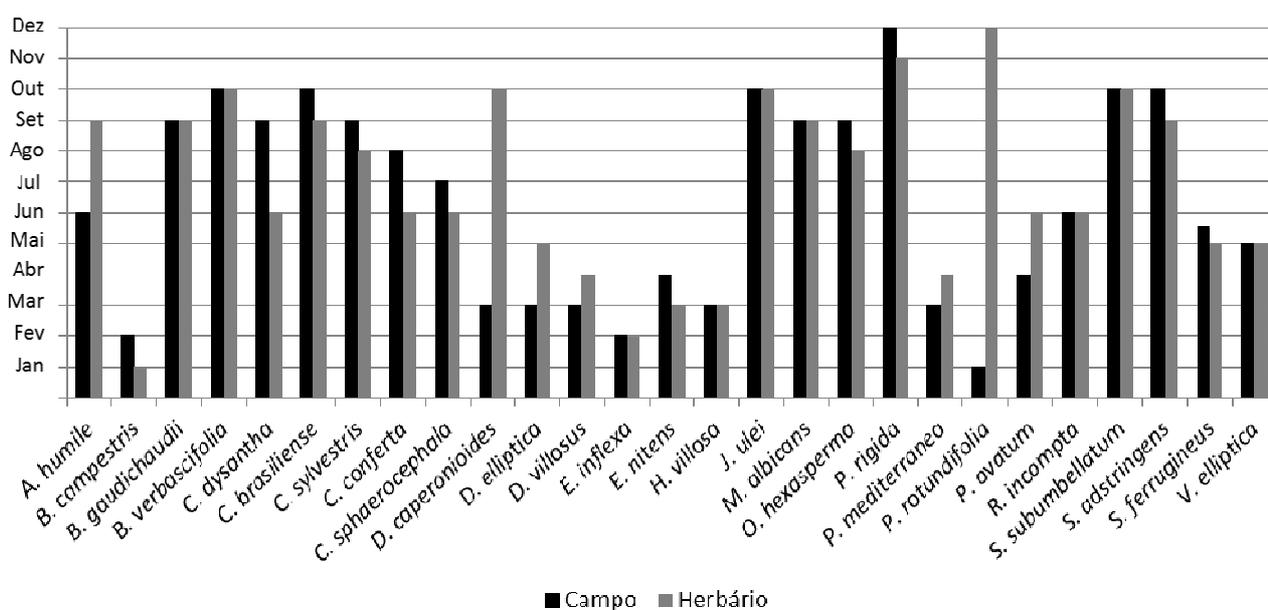


Figura 2.11. Dados da fenofase Flor indicando os meses-pico para "Campo" e meses de máxima probabilidade para "Herbário" (cálculo do PPI) das espécies em estudo. A definição dos picos para os dados de Campo seguiu a metodologia utilizada pelo índice.

Na classificação referente à frequência e regularidade da floração foram identificados os mesmos grupos da fenofase Botão, porém com algumas espécies se comportando de modo diferente: (1) Floração anual unimodal – *Anacardium humile*, *Caryocar brasiliense*, *Chresta sphaerocephala*, *Echinolaena inflexa*, *Hyptis villosa*, *Jacaranda ulei*, *Miconia albicans*, *Ouratea hexasperma*, *Protium ovatum*, *Styrax ferrugineus* e *Vochysia elliptica*; (2) Floração anual bimodal – *Brosimum gaudichaudii*, *Byrsonima verbascifolia*, *Calliandra dysantha*, *Casearia sylvestris*,

Chamaecrista conferta, *Davilla elliptica*, *Palicourea rigida*, *Periandra mediterranea*, *Piptocarpha rotundifolia*, *Ruellia incompta* e *Solanum subumbellatum*; (3) Floração subanual multimodal – *Dalechampia caperonioides* e *Stryphnodendron adstringens*; e (4) Floração supra-anual – *Banisteriopsis campestris*, *Diplusodon villosus* e *Emmotum nitens*. Quanto à classificação de acordo com o período em que a floração inicia (distribuição temporal), 51.85% das espécies apresentaram floração atrasada, 40.75% apresentaram floração tardia, apenas uma espécie (3.7%) apresentou fenofase precoce e uma espécie (3.7%) teve evento contínuo (Tabela 2.10).

Anuais unimodais – Nenhuma espécie cujo comportamento floral foi unimodal, iniciou a antese no começo da estação chuvosa (mês de Outubro), o que caracterizaria floração **precoce**.

Das seis espécies que apresentaram **floração tardia**, três (*Anacardium humile*, *Chresta sphaerocephala* e *Ouratea hexasperma*) tiveram início da fenofase entre Maio e Junho, principalmente. Com exceção de *O. hexasperma*, as demais mostraram duração do evento de cinco meses nas áreas estudadas. A previsão do índice indicou que Junho é o mês de maior previsibilidade para *C. sphaerocephala*, porém, no campo, em 2012, o pico da espécie ocorreu em Julho – com 39% dos indivíduos florindo – e Junho foi o segundo mês de maior atividade da fenofase. Em Setembro, quando o PPI previu diminuição da atividade fenológica da espécie, apenas duas plantas apresentaram flores no campo. No ano seguinte, metade dos indivíduos floresceu no mês de Junho, quando o acompanhamento em campo encerrou.

Anacardium humile, em 2012, iniciou sua floração em Junho, quando quatro indivíduos floresceram. No ano seguinte apenas as populações da ESECAE foram observadas e o evento foi registrado em apenas um indivíduo, em Maio. O índice previu, a partir dos espécimes de herbário, que em Setembro há maior chance de flores serem registradas, sendo que de Maio a Outubro a probabilidade da fenofase ocorrer é alta, e há registros de presença de flores de Dezembro a Fevereiro também. De acordo com o observado nas áreas de estudo, pode-se afirmar que o PPI previu corretamente o período de ocorrência da fenofase e é importante notar que a diferença na intensidade da floração, no campo, entre Junho (pico visto no campo) e Setembro (mês mais provável) foi de apenas um indivíduo. Das 24 plantas monitoradas, apenas seis reproduziram no período de estudo.

Ouratea hexasperma teve os meses de maior intensidade de floração previstos pelo índice. No campo, a espécie apresentou pico em Setembro em todos os anos de observação, mês com maior número de registros de flor nos herbários (Figura 2.12). O PPI previu início da fenofase em Abril e pouca chance de encontrar indivíduos floridos em Dezembro. Na área de estudo nenhum indivíduo marcado foi visto com flores em Dezembro e o primeiro mês de ocorrência da fenofase variou de Abril a Junho nos três anos de acompanhamento.

As demais (*Jacaranda ulei*, *Miconia albicans* e *Caryocar brasiliense*) iniciaram a floração em Setembro, último mês seco no período de estudo, e, com exceção de *J. ulei*, encerraram o evento em Outubro.

Jacaranda ulei foi registrada com flores no herbário de Janeiro a Novembro e o índice mostrou que a maior probabilidade de presença da fenofase acontece em Outubro. Em campo, a atividade fenológica de *J. ulei* durou três meses e ficou restrita a oito indivíduos, sendo que todos floresceram em Outubro, três em Novembro e apenas um no mês de Setembro, confirmando a previsão feita pelo PPI. A espécie teve alta produção de botões que não sofreram antese, e parte das flores que se desenvolveram normalmente não produziram frutos. A ocorrência simultânea de frutos e flores em Outubro e Novembro também foi constatada por Ribeiro (2003). Para *Miconia albicans* a previsão do mês-pico (mês mais provável) também foi correta, porém a presença de flores em quase todo o ano não foi verificada em campo, já que a espécie floresceu apenas em dois meses.

O gráfico gerado a partir dos dados herborizados de *Caryocar brasiliense* mostra floração ampla com maior intensidade no início das chuvas. No entanto, no período de acompanhamento a espécie foi vista com flores apenas em Setembro e Outubro, com pico no último mês. No herbário o número de registros obtidos de Novembro a Julho foi baixo e irregular, provavelmente, ocorridos em anos com presença de veranico.

Mais de 50% das espécies que apresentaram comportamento unimodal possui **floração atrasada**, com início da fenofase entre Novembro e Março. *Hyptis villosa*, no campo, teve a floração iniciada em Janeiro nos dois anos de estudo (2012 e 2013), com pico em Março e Maio, respectivamente. A atividade no primeiro ano de estudo pareceu mais intensa devido ao número de indivíduos acompanhados em campo ser maior, já que em 2013 foram coletados apenas registros das plantas da ESECAE. A previsão do PPI para esta espécie é de que a atividade floral entre Julho e Janeiro é baixa e os meses de maior previsibilidade são Fevereiro, Março e Abril. De fato, no campo mais de 70% dos indivíduos amostrados foram responsáveis pela intensa atividade no primeiro semestre do ano e a máxima probabilidade foi confirmada com o pico em Março.

Além de *H. villosa*, *Echinolaena inflexa* também iniciou o período de floração em Janeiro e permaneceu florida até Junho. *E. inflexa* iniciou sua floração em Janeiro nos dois anos de estudo e apresentou pico em Fevereiro em ambos, porém, a atividade em 2013 foi menor e de duração mais curta. A alta atividade prevista no primeiro semestre e o mês mais provável foram confirmados em campo, porém, a presença da fenofase entre Setembro e Dezembro verificados no gráfico de herbário, através de poucos registros, não ocorreu no período de estudo. Nenhum registro em campo – neste estudo ou nos estudos utilizados para comparação (Munhoz & Felfili 2005 e Ramos 2010) – observaram flores entre Julho e Outubro.

A floração de *Protium ovatum* no campo foi mais concentrada que a registrada nos herbários, ocorrendo em apenas seis meses do ano. De acordo com a previsão do PPI, entre Fevereiro e Julho a chance de ocorrência da fenofase é maior, e estes foram os meses em que indivíduos floridos foram registrados no campo, com pico em Abril. O mês de maior probabilidade indicado pelo índice (Junho) foi representado por apenas um indivíduo em 2012, porém foi quando a fenofase teve início em 2013, com três plantas floridas. No campo o pico observado foi o segundo mês de maior previsibilidade para o índice e a presença de flores nos demais meses – não observada em campo e com poucos registros nos herbários – reflete a pequena flexibilidade da fenofase da espécie, ocorrida em poucos indivíduos. Contudo, o adiantamento da atividade máxima da floração em 2012 pode ter sido resultado do adiantamento da seca no Distrito Federal. Nesse período houve um veranico na região (fonte: INMET), com diminuição na quantidade de chuva – principalmente no mês de Fevereiro.

Os registros de herbário de *Vochysia elliptica* mostram que, apesar de a floração apresentar apenas um pico de previsibilidade, ela dura entre 4-5 meses, e por isso a espécie tem um dos menores valores de PPI (Tabela 2.11), sendo Maio o mês com mais chance de registros da fenofase no campo. Na área de estudo, registros de flor só foram obtidos de Março a Julho em 2012 e a partir de Maio em 2013. A maior intensidade de floração ocorreu em Maio/2012, como previsto pelo índice, porém a floração contínua da espécie mostrada no gráfico de herbário não foi verificada no campo. A diferença entre a duração da fenofase no campo e o registrado em herbário mostra a plasticidade fenotípica da espécie, que pode apresentar flores em qualquer mês do ano, de acordo com as condições locais.

Styrax ferrugineus, de acordo com os dados de herbário, tem floração prolongada, com ausência de registros de flores apenas em Dezembro. Nos três anos de acompanhamento em campo a floração da espécie foi registrada em todos os meses do ano, porém entre Outubro e Fevereiro o número de indivíduos floridos foi muito pequeno. O início da floração se deu na estação chuvosa em todos os anos de estudo, com pico da fenofase na seca. O ano de 2000 foi o único com registro de flor nos meses de Novembro e Dezembro. De acordo com dados publicados pelo INMET (http://www.inmet.gov.br/html/prev_climatica.php), no fim de 2000 e início de 2001 houve um veranico no DF, que pode ter ocasionado a pequena floração da espécie nesse período. Considerando a duração média da floração da espécie, que é de aproximadamente 5 meses (Tabela 2.11), verifica-se uma flexibilidade na fenofase de quase seis meses nos registros herborizados, contudo, em ambos os gráficos – herbário e campo – é possível observar a maior intensidade do evento entre Março e Julho. Nos dois trabalhos utilizados para comparação (Oliveira 1991 e Kutschenko 2009) os autores

também registraram flores em *S. ferrugineus* nesse mesmo período, com o adiantamento de um mês no início e no término da fenofase em 2008 (Figura 2.12).

Anuais bimodais – Doze espécies apresentaram dois picos de floração, das quais cinco apresentaram floração tardia (*Byrsonima verbascifolia*, *Calliandra dysantha*, *Casearia sylvestris*, *Ruellia incompta* e *Sollanum subumbellatum*) e as demais tiveram o evento de floração identificado como atrasado.

Na análise do gráfico gerado a partir de dados de herbário verifica-se que *Byrsonima verbascifolia* apresenta flores em quase todo o ano, com maior probabilidade em Outubro, não ocorrendo floração apenas no mês de Fevereiro. Nos anos de monitoramento a espécie só não foi registrada com flores em Janeiro e os maiores picos observados – entre Setembro e Outubro – coincidiram com a previsão do PPI, enquanto o menor variou entre Fevereiro e Junho. O início da floração (mais intensa) em Setembro caracterizou a fenofase como **tardia**. Após três anos de acompanhamento em campo, e considerando informações obtidas de outros estudos fenológicos, é possível observar que a maior floração da espécie, ocorrida no início da estação chuvosa, é mais previsível, no entanto, a segunda floração do ano – representada no campo sempre por um único indivíduo – parece ocorrer quando a precipitação atinge níveis inferiores, mais próximo do mês de Junho. Entre os anos estudados, apenas em 2001 a floração desses indivíduos extemporâneos ocorreu mais cedo, em Fevereiro, quando houve um veranico no DF (fonte: INMET).

Calliandra dysantha, de acordo com os registros de herbário, apresenta floração em Janeiro e de Março a Novembro, com maior probabilidade em Junho. No campo, o primeiro período de floração foi menos amplo, com início em Junho e maior intensidade em Setembro – terceiro mês de maior previsibilidade apontado pelo PPI – já o segundo pico registrado em Janeiro/2013 foi formado pela presença de flores em apenas um indivíduo. Comparando os dois gráficos da espécie percebe-se que o índice previu maior chance da espécie florir entre Maio e Setembro, e em Janeiro há uma pequena chance de uma eventual floração ocorrer. No campo, o evento iniciou e terminou com um mês de atraso ao período mais provável e apenas 37.5% dos indivíduos marcados floresceram.

Os registros de campo de *Casearia sylvestris* mostram dois picos por ano, sendo o menor – com registro de um ou dois indivíduos – na transição da estação úmida para a seca (entre Março e Junho) e a maior atividade na estação seca, com início entre Junho e Agosto, o que caracteriza a floração da espécie como **tardia**. No herbário os registros mostram máxima previsibilidade em Agosto e alta probabilidade também em Setembro, mês com maior número de plantas floridas no campo. Entre Outubro e Junho, o índice prevê baixa ou nenhuma atividade da espécie, e neste período somente três plantas foram registradas com flores durante o estudo de campo.

As duas comunidades estudadas (PNB e ESECAE) de *Ruellia incompta* foram analisadas separadamente, com poucos indivíduos apresentando atividade fenológica em ambos os locais. No Parque Nacional somente quatro indivíduos floresceram, enquanto na ESECAE esse número foi ainda menor: três indivíduos. A probabilidade alta que o índice mostrou no mês de Maio não foi observada em campo, porém a atividade na estação seca prevista pelo índice, principalmente entre Junho e Julho, foi confirmada.

Por ser uma espécie com registros de plantas floridas em todos os meses do ano, *Solanum subumbellatum* teve um dos menores valores de PPI. No campo a fenofase foi registrada em Junho e de Agosto a Dezembro, caracterizando floração tardia, mas apenas metade dos indivíduos marcados floresceu. Junho, Agosto e Setembro foram meses em que o registro de flor se deu em um único indivíduo, enquanto em Outubro e Novembro a floração foi um pouco mais intensa, confirmando a maior probabilidade de floração da espécie na estação chuvosa, apesar da amostragem ser pequena. De acordo com a previsão do PPI, no primeiro semestre do ano a atividade floral de *S. subumbellatum* é reduzida e, no campo, nenhum indivíduo florido foi registrado nesse período.

Dentre as espécies com floração do tipo **atrasada**, duas – *Palicourea rigida* e *Periandra mediterranea* – apresentaram o maior pico na estação chuvosa e o menor na seca. Estudos fenológicos de *Palicourea rigida* mostraram que a espécie tem o maior pico de floração em Novembro (estação chuvosa) e o menor em Junho (estação seca), do mesmo modo, coletas herborizadas da espécie mostraram que estes são os meses de maior probabilidade dentro de cada estação do ano (seca e úmida).

Periandra mediterranea também apresentou, na estação chuvosa, metade dos indivíduos com atividade reprodutiva no período de estudo florindo, enquanto na estação seca esse número foi um pouco menor (diferença de poucos indivíduos), apesar de a atividade ter durado mais meses. Nos dois anos de acompanhamento a fenofase iniciou no final da estação chuvosa, quando os níveis de precipitação começam a decrescer. Como previsto pelo índice, a maior atividade fenológica da espécie ocorre no primeiro semestre do ano, porém um número considerável de plantas floridas ainda pode ser registrado no segundo semestre.

As espécies a seguir apresentaram os dois picos na estação chuvosa. *Chamaecrista conferta* mostrou em campo a floração de poucos indivíduos, porém com período extenso: o primeiro pico em Março, formado pela atividade de apenas um indivíduo, e o segundo – e maior – em Junho e Agosto, com floração que durou de Maio a Outubro. Os dados de herbário mostraram apenas um pico de probabilidade em Junho – coincidindo com o pico observado em campo – e atividade mais intensa entre Maio e Julho.

Brosimum gaudichaudii, de acordo com a análise dos registros de herbário, apresenta dois

momentos de floração: um mais intenso na transição da estação seca para a chuvosa e outro restrito a poucos indivíduos no final das chuvas. O mês de maior previsibilidade é Setembro. Em campo a espécie apresentou maior intensidade de indivíduos floridos entre Abril a Novembro, com pico em Setembro, como previsto pelo PPI. O menor pico da espécie ocorreu em Janeiro/2012, quando três indivíduos floresceram. No ano seguinte, no período de acompanhamento de campo, a espécie não apresentou atividade reprodutiva. Assim, como indicado pelo índice, a atividade no final da estação chuvosa é bastante escassa: de Janeiro a Abril/2012 apenas quatro indivíduos floresceram.

Ao contrário de *B. gaudichaudii*, *Davilla elliptica* não apresentou alta atividade em campo no segundo semestre do ano, apenas em Dezembro/2000 dois indivíduos floresceram na área de estudo. Analisando os gráficos combinados às informações climatológicas do Distrito Federal, obtidas através de documentos trimestrais publicados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), percebe-se que a antese de *D. elliptica* está relacionada com a combinação de temperatura elevada e baixa precipitação. A elevada floração em Fevereiro de 2001 foi, provavelmente, em função do veranico que ocorreu no Distrito Federal nesse período. As florações em Janeiro também acompanharam a combinação “alta temperatura x baixa precipitação” na região do DF: nos três anos de estudo a temperatura mínima no verão foi mais elevada que o normal. A maior quantidade de indivíduos floridos no mês de Janeiro aconteceu em 2001, quando houve o veranico; seguido por 2003 e 2002 – quando foi registrado o menor número de plantas em flor e o menor valor de temperatura mínima.

Piptocarpha rotundifolia, espécie que teve as duas áreas de estudo analisadas individualmente, foi observada com flores no PNB em apenas dois meses (Janeiro e Março/2012), enquanto na ESECAE a floração da espécie foi mais intensa, com um indivíduo florindo em Novembro e oito (73% dos indivíduos acompanhados na área) abrindo flores em Dezembro, somando nove plantas (82%) floridas em Dezembro de 2011. Em 2012 mais de 35% dos indivíduos foram registrados com flores em Janeiro e Março, e em Janeiro de 2013 todos os indivíduos monitorados (presentes na ESECAE) floresceram. Nos dois locais, a espécie apresentou os dois picos na estação chuvosa. No herbário a fenofase foi registrada o ano todo com presença de três picos e maior frequência de registros em Novembro, Dezembro e Janeiro, meses de precipitação normalmente elevada. Nas áreas de estudo, os maiores picos ocorreram em Dezembro e Janeiro e o menor em Março, como previsto pelo PPI, no entanto, a atividade em Maio e Novembro, observada no gráfico de herbário, não aconteceu no campo. A floração de *P. rotundifolia* parece não ser muito sensível a algumas variações climáticas, já que entre Dezembro e Janeiro os indivíduos da ESECAE apresentaram elevada atividade fenológica nos dois anos de estudo (2011-2012 e 2012-2013) e estes tiveram características climáticas bastante diferentes. No fim de 2011 e início de 2012 aconteceu o fenômeno *La Niña*, responsável pelo

aumento da precipitação e diminuição da temperatura (fonte: CPTEC/INPE), enquanto no final de 2012 e começo de 2013 houve um veranico, que propicia características climáticas opostas ao evento ocorrido no ano anterior (Proença *et al.* 2013).

Subanuais multimodais – Apenas duas das espécies estudadas apresentaram floração subanual. *Dalechampia caperonooides* teve **floração contínua** no campo, como previsto pelo PPI. Das espécies acompanhadas entre os anos 2011-2013, esta foi a única que apresentou indivíduos floridos em todos os meses. Quase 71% dos indivíduos marcados floresceram no período do estudo e, destes, 50% estavam em flor no mês de Março/2012 (maior “pico” verificado em campo). Registros de herbário indicaram picos de previsibilidade em Maio, Outubro e Janeiro, meses que apresentaram aumento de indivíduos floridos no campo quando comparados com o anterior. A distribuição da floração foi semelhante à da emissão de botões, com os “picos” acontecendo um mês depois dos observados na fenofase Botão. A fenofase contínua e irregular prevista pelo índice foi confirmada em campo e responsável pelo menor valor de PPI de floração.

Por fim, *Stryphnodendron adstringens* apresentou indivíduo florido em quase todos os meses do ano – no decorrer do período de estudo – e com início da fenofase na estação seca (**floração tardia**), porém somente nos meses de Setembro e Outubro a fenofase foi registrada em mais de uma planta. Segundo a análise dos dados de herbário, o período de maior previsibilidade da floração da espécie é de Agosto a Outubro, principalmente em Setembro, e com exceção de Dezembro e Janeiro – que não houve registros de flores nos herbários – os demais meses têm pequena chance de apresentar indivíduos floridos. Janeiro foi o único mês em que nenhum indivíduo floresceu em campo no período de estudo.

Supra-anuais – Os indivíduos de *Diplusodon villosus* monitorados nos dois locais de estudo foram analisados separadamente. No PNB eles somaram dez indivíduos, mas apenas quatro apresentaram atividade fenológica no período de acompanhamento, dos quais somente um floruiu. Na ESECAE foi marcado apenas um indivíduo no campo sujo, que floresceu entre os meses de Fevereiro e Março/2013. O gráfico da espécie plotado com dados de herbário é resultado de registros de mais de 20 anos de coletas e mostra que a floração de *D. villosus* pode ocorrer entre Novembro e Julho, com maior intensidade entre Fevereiro e Maio, principalmente em Abril. Há possibilidade de a espécie apresentar comportamento supra-anual, pois em 2011, quando as trilhas foram marcadas, alguns indivíduos estavam frutificando no PNB e estes não voltaram a reproduzir no período de acompanhamento. Ainda assim, não é possível traçar conclusões a respeito ou informar o quão correta foi a previsão do índice, já que as observações em campo foram feitas a partir de um número muito pequeno de indivíduos, em uma estação de baixa reprodutividade da espécie, e qualquer interpretação seria de pouca confiabilidade.

Banisteriopsis campestris também teve as duas comunidades estudadas analisadas individualmente, pois no primeiro ano de acompanhamento os indivíduos amostrados na ESECAE não apresentaram atividade reprodutiva, tornando impossível a realização de um teste estatístico que comparasse os dois locais. Os registros herborizados da espécie mostraram floração contínua com maior intensidade nos meses mais chuvosos (Novembro a Março). No campo, apenas dez dos 27 indivíduos marcados nas duas áreas de estudo emitiram botões florais e, destes, metade floresceu. O início da fenofase, no período de estudo, ocorreu em Dezembro/2011 no PNB e em Fevereiro/2013 na ESECAE. A atividade fenológica de *B. campestris*, observada em campo por meio das plantas monitoradas, ficou restrita a três indivíduos floridos no PNB – um em Dezembro de 2011 e outro cujas flores abriram no mês seguinte e permaneceram até Fevereiro de 2012 – e três indivíduos que floresceram entre Fevereiro e Abril de 2013. Talvez um acompanhamento mais longo seja necessário para a observação da fenologia da espécie, que pode ter comportamento supra-anual, pois no período de estudo 85% dos indivíduos marcados não apresentaram atividade reprodutiva e a falta de trabalhos de fenologia de *B. campestris* não permite que seja feita alguma comparação ou análise mais robusta. Provavelmente por esse motivo, nos dois meses indicados pelo índice como meses de maior previsibilidade – Dezembro e Janeiro – houve apenas registro de um indivíduo florido na área. Dessa forma, apesar de o estudo de campo não ter sido suficiente para confirmar a maior intensidade da fenofase nos meses mais previsíveis sugeridos pelo índice, foi possível observar a presença do evento fenológico nesses meses.

Emmotum nitens teve pico da fenofase em Abril, maior média de duração da floração dentre as espécies estudadas (7.33 meses) e nenhuma atividade reprodutiva observada em 2013, o que sugere que a espécie pode ter comportamento supra-anual, como relatado em alguns estudos, sendo necessário maior tempo de acompanhamento para a verificação desta característica. Registros de herbário indicaram ausência de flores entre Julho e Setembro e maior previsibilidade em Fevereiro e Março. Assim, a maior atividade no primeiro semestre do ano prevista pelo PPI foi confirmada em campo, enquanto a presença de floração (**atrasada**) entre Outubro e Dezembro não foi registrada.

Em relação à frequência das fenofases, sete espécies não apresentaram o mesmo comportamento nos dois eventos de floração (Tabela 2.10). Destas, quatro (*Brosimum gaudichaudii*, *Chamaecrista conferta*, *Davilla elliptica* e *Ruellia incompta*) tiveram emissão de botões em massa em determinado período do ano (comportamento unimodal), e abertura das flores ocorrendo em dois momentos diferentes (comportamento bimodal). Ao contrário, duas espécies (*Caryocar brasiliense* e *Protium ovatum*) emitiram botões florais duas vezes (comportamento bimodal), mas apenas uma floração foi observada (floração unimodal), e *Solanum subumbellatum* apresentou emergência multimodal de botões e floração bimodal. Nos dois últimos casos, a ausência de observação da

antese pode ter sido porque esta ocorreu no intervalo entre as observações ou porque os botões brotaram e não abriram, no entanto, a segunda hipótese é mais provável visto que indivíduos frutificando foram observados apenas uma vez.

Tabela 2.10. Comparação entre as classificações das espécies em relação à frequência das fenofases Botão e Flor. BT = botão. FL = flor. Uni = anual unimodal. Bi = anual bimodal. Multi = subanual multimodal. Supra = supra-anual. Em negrito estão as espécies que apresentaram comportamento diferente nas duas fenofases.

| ESPÉCIES | BT | FL | ESPÉCIES | BT | FL |
|-------------------------------------|------------|------------|-------------------------------------|--------------|------------|
| <i>Anacardium humile</i> | uni | uni | <i>Emmotum nitens</i> | supra | supra |
| <i>Banisteriopsis campestris</i> | supra | supra | <i>Hyptis villosa</i> | uni | uni |
| <i>Brosimum gaudichaudii</i> | uni | bi | <i>Jacaranda ulei</i> | uni | uni |
| <i>Byrsonima verbascifolia</i> | bi | bi | <i>Miconia albicans</i> | uni | uni |
| <i>Calliandra dysantha</i> | bi | bi | <i>Ouratea hexasperma</i> | uni | uni |
| <i>Caryocar brasiliense</i> | bi | uni | <i>Palicourea rigida</i> | bi | bi |
| <i>Casearia sylvestris</i> | bi | bi | <i>Periandra mediterranea</i> | bi | bi |
| <i>Chamaecrista conferta</i> | uni | bi | <i>Piptocarpha rotundifolia</i> | bi | bi |
| <i>Chresta sphaerocephala</i> | uni | uni | <i>Protium ovatum</i> | bi | uni |
| <i>Dalechampia caperonioides</i> | multi | multi | <i>Ruellia incompta</i> | uni | bi |
| <i>Davilla elliptica</i> | uni | bi | <i>Solanum subumbellatum</i> | multi | bi |
| <i>Diplusodon villosus</i> | supra | supra | <i>Styrax ferrugineus</i> | uni | uni |
| <i>Echinolaena inflexa</i> | uni | uni | <i>Vochysia elliptica</i> | uni | uni |

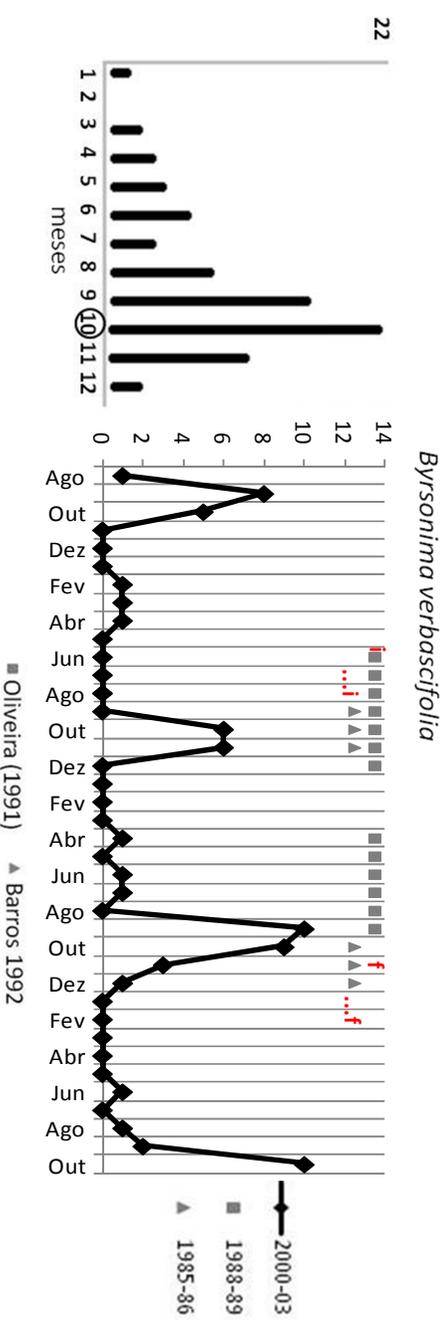
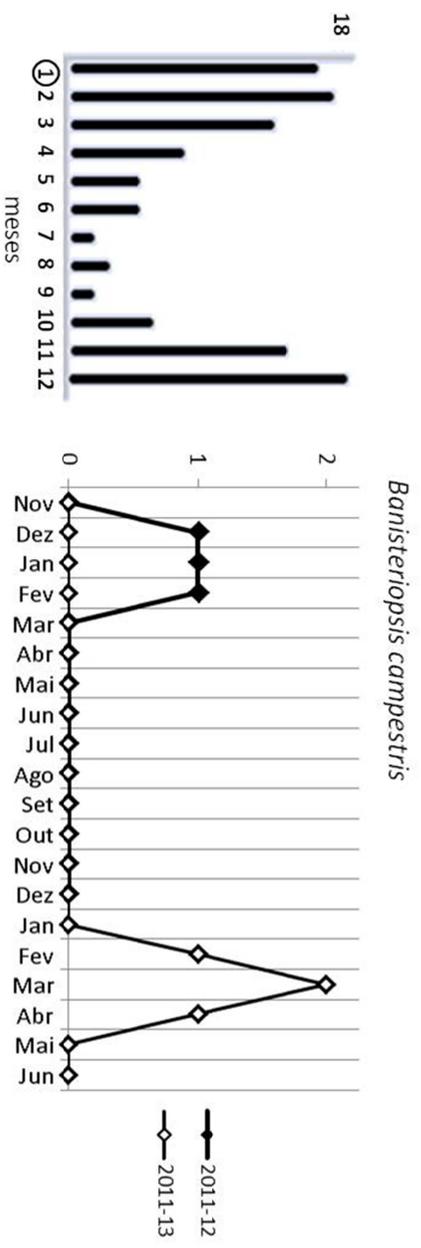
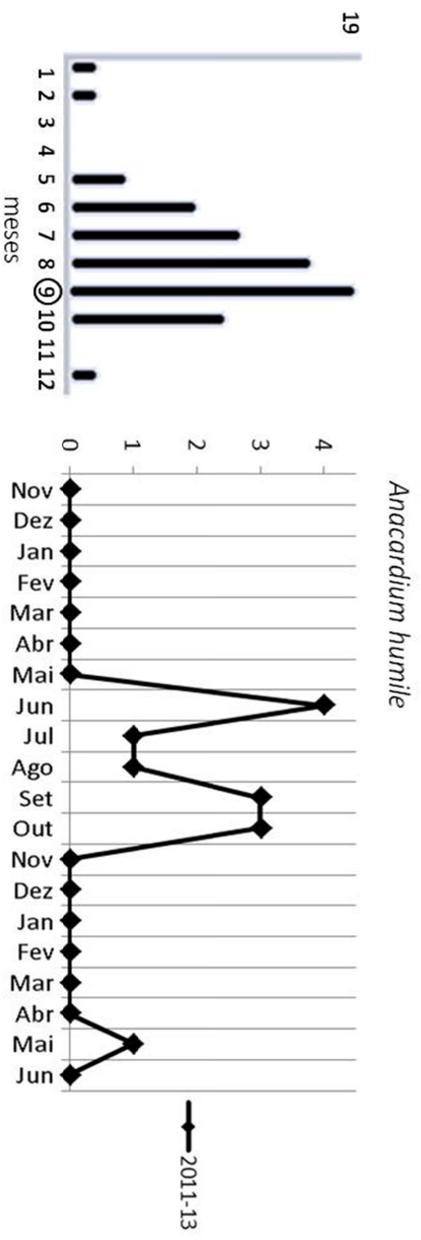
Previsibilidade do índice para a fenofase Flor

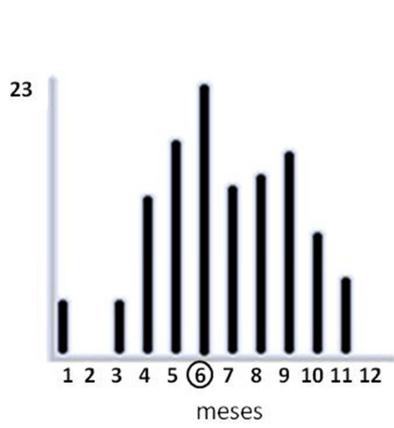
Para a fenofase Flor o índice previu o mês de maior atividade de quase 90% das espécies analisadas e o período em que a fenofase tem maior chance de ocorrer para 100% delas. O evento de abertura de flores das espécies estudadas apresentou médias de duração bastante variáveis, com espécie apresentando período médio de apenas 1.5 meses (*Ruellia incompta*) e espécie cuja florada dura, em média, 7.33 meses (*Emmotum nitens*). Quando observado o comportamento quinzenal de cada indivíduo, *E. nitens* continua apresentando a maior duração da fenofase individual (quatro meses) e *R. incompta*, juntamente com *Diplusodon villosus* e *Davilla elliptica*, o menor valor (uma quinzena).

Com exceção de *Styrax ferrugineus* e *Vochysia elliptica*, todas as espécies mostraram floração mais contingente que constante. Os dois maiores valores proporcionais de contingência (> 95% do valor do PPI total) são de *D. villosus* e *R. incompta*, que apresentaram, cada uma, registros da fenofase em nove meses no herbário. É digno de nota que os indivíduos de *D. villosus* e *R. incompta* se comportam estatisticamente diferentes em populações distintas, o que aumenta a dissincronia da espécie e consequente flexibilidade fenológica.

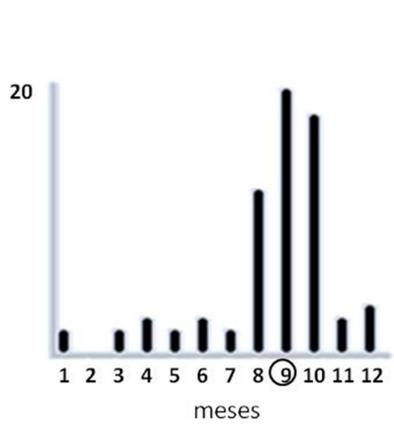
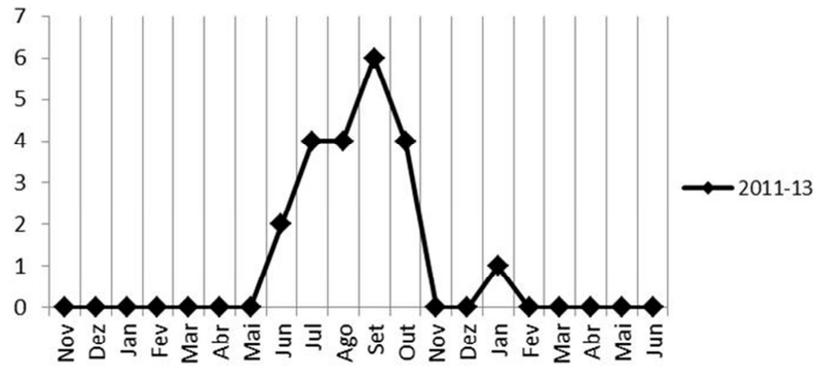
Tabela 2.11. Dados da fenofase “Flor” de 27 espécies, por ordem decrescente do valor do PPI total. *** = Registros obtidos em herbários, fotografias e estudos publicados. N = número de indivíduos amostrados. \bar{m} = número médio de meses em que a fenofase ocorreu no campo. σ = desvio-padrão da média. Pico = mês de atividade máxima da fenofase. * = número de registros inseridos com presença de flor aberta. *f* = eventos analisados. *m* = número de meses com registros da fenofase no herbário. Probabilidade máx. = período de maior probabilidade de encontrar a fenofase em campo. ** = maior pico indicado no gráfico, se diferente do cálculo do índice. ^x = PPI total (soma dos PPI’s de todos os meses). CS = valor de constância do PPI total. CG = valor de contingência do PPI total. Meses separados por barra indicam os picos observados em PNB/ESECAE, nesta ordem, quando diferem. ⁺ = Áreas de estudo analisadas individualmente. ⁺⁺ = Média calculada a partir dos meses de interrupção da fenofase. Em negrito o maior valor entre constância e contingência.

| ESPÉCIES | CAMPO | | | HERBÁRIO*** | | | | | |
|---|-------|----------------------|---------|-----------------------------|----------|---------------------------------|------------------|---------------|---------------|
| | N | $\bar{m} \pm \sigma$ | Pico | Espécimes * (<i>f</i>) | <i>m</i> | Probabilidade máx. (Gráf.**) | PPI ^x | CS | CG |
| <i>Chresta sphaerocephala</i> | 28 | 5 | Jun | 93 (64) | 9 | Jun | 0.9793 | 0.1435 | 0.8358 |
| <i>Anacardium humile</i> | 24 | 3 ± 2.82 | Jun | 105 (70) | 9 | Set | 0.9793 | 0.1346 | 0.8447 |
| <i>Ouratea hexasperma</i> | 14 | 2.86 ± 2.12 | Ago | 125 (95) | 9 | Ago (Set) | 0.9793 | 0.1154 | 0.8639 |
| <i>Diplusodon villosus</i> ⁺ | 10 | 2.2 ± 1.30 | Mar/Jan | 152 (97) | 9 | Abr | 0.9793 | 0.0385 | 0.9408 |
| <i>Casearia sylvestris</i> | 11 | 2.6 ± 2.3 | Set | 83 (60) | 9 | Ago | 0.9791 | 0.1785 | 0.8006 |
| <i>Chamaecrista conferta</i> | 11 | 2.5 ± 2.38 | Jul | 98 (67) | 9 | Jun | 0.9791 | 0.0727 | 0.9064 |
| <i>Ruellia incompta</i> ⁺ | 12 | 1.5 ± 0.71 | Jun/Jul | 120 (72) | 9 | Jun | 0.979 | 0.0385 | 0.9405 |
| <i>Emmotum nitens</i> | 21 | 7.33 ± 1.15 | Mar | 85 (62) | 9 | Mar | 0.9788 | 0.3077 | 0.6711 |
| <i>Protium ovatum</i> | 23 | 6 | Jun | 67 (51) | 9 | Jun | 0.9787 | 0.1038 | 0.8749 |
| <i>Echinolaena inflexa</i> | 20 | 3.8 ± 1.3 | Fev | 73 (58) | 10 | Fev | 0.7349 | 0.1469 | 0.588 |
| <i>Stryphnodendron adstringens</i> | 11 | 2.66 ± 1.24 | Set | 92 (70) | 10 | Set | 0.7344 | 0.0604 | 0.674 |
| <i>Brosimum gaudichaudii</i> | 28 | 5 ± 4.24 | Set | 63 (53) | 10 | Set | 0.7342 | 0.2258 | 0.5084 |
| <i>Calliandra dysantha</i> | 24 | 5 | Set | 210 (124) | 10 | Jun | 0.7341 | 0.1650 | 0.5691 |
| <i>Palicourea rigida</i> | 20 | 2.86 ± 1.21 | Dez | 123 (93) | 11 | Nov | 0.4897 | 0.0538 | 0.4359 |
| <i>Hyptis villosa</i> | 26 | 5.5 ± 0.71 | Mar | 68 (58) | 11 | Mar (Fev, Mar) | 0.4896 | 0.1538 | 0.3358 |
| <i>Jacaranda ulei</i> | 25 | 3.66 ± 0.58 | Nov | 120 (67) | 11 | Out | 0.4896 | 0.0550 | 0.4346 |
| <i>Miconia albicans</i> | 11 | 1.8 ± 0.84 | Set | 164 (55) | 11 | Set | 0.4896 | 0.0419 | 0.4477 |
| <i>Caryocar brasiliense</i> | 24 | 2.16 ± 0.75 | Out | 90 (63) | 11 | Set | 0.4894 | 0.0604 | 0.429 |
| <i>Byrsonima verbascifolia</i> | 13 | 2.37 ± 1.06 | Out | 87 (78) | 11 | Out | 0.4894 | 0.1192 | 0.3702 |
| <i>Styrax ferrugineus</i> | 16 | 5.16 ± 4.12 | Set | 163 (101) | 11 | Mai | 0.4892 | 0.2846 | 0.2046 |
| <i>Dalechampia caperionoides</i> | 34 | 10 ⁺⁺ | Jan | 275 (176) | 12 | Out | 0.245 | 0.0735 | 0.1715 |
| <i>Periandra mediterranea</i> | 11 | 3.5 ± 0.7 | Mar | 164 (121) | 12 | Abr (Fev, Mai) | 0.2449 | 0.0719 | 0.173 |
| <i>Piptocarpha rotundifolia</i> ⁺ | 10 | 2 ± 1.52 | Jan | 58 (54) | 12 | Dez | 0.2448 | 0.0604 | 0.1844 |
| <i>Banisteriopsis campestris</i> ⁺ | 27 | 3 | Jan/Mar | 164 (102) | 12 | Jan (Dez) | 0.2448 | 0.0577 | 0.1871 |
| <i>Solanum subumbellatum</i> | 25 | 3 ± 2.83 | Nov | 120 (84) | 12 | Out | 0.2448 | 0.0462 | 0.1986 |
| <i>Vochysia elliptica</i> | 19 | 4 ± 1.41 | Mai | 153 (114) | 12 | Mai | 0.2447 | 0.1412 | 0.1035 |
| <i>Davilla elliptica</i> | 20 | 2.89 ± 1.69 | Mar | 85 (73) | 12 | Mai | 0.2446 | 0.0385 | 0.2061 |

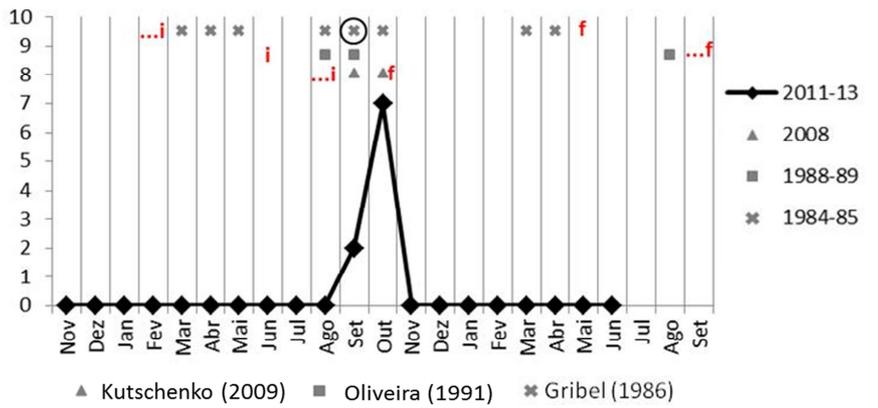




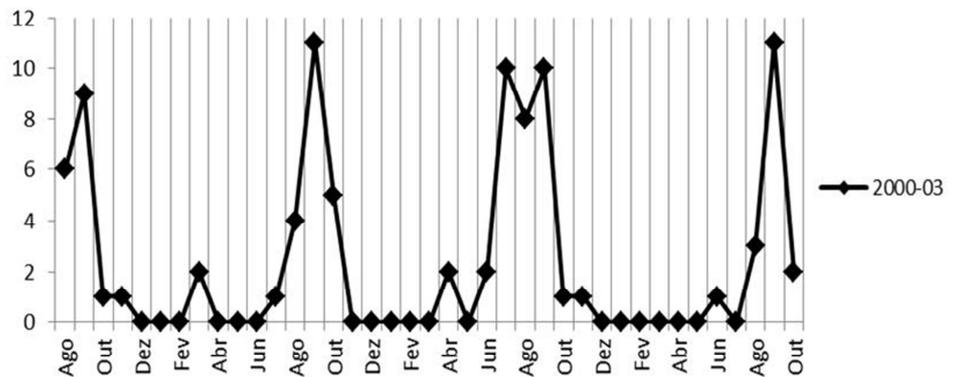
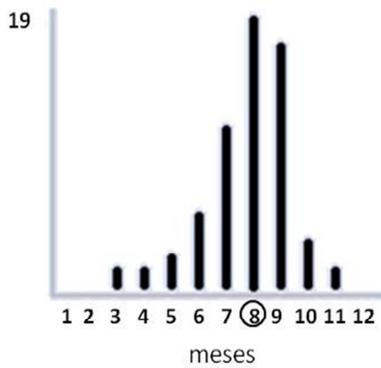
Calliandra dysantha



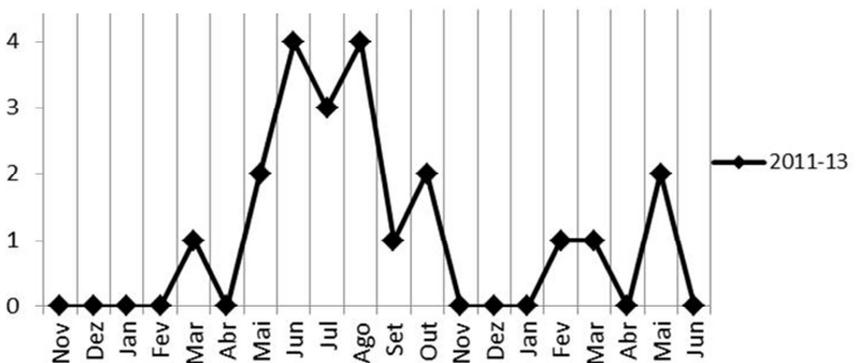
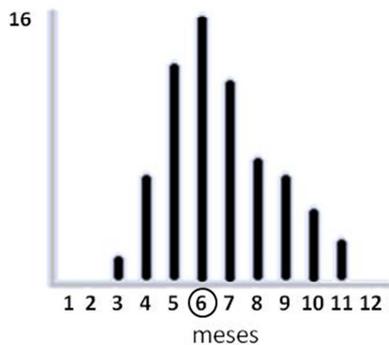
Caryocar brasiliense

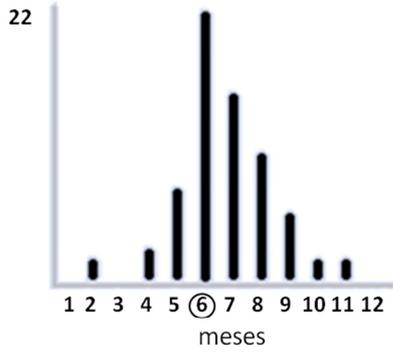


Casearia sylvestris

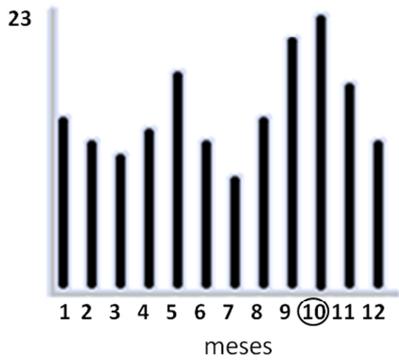
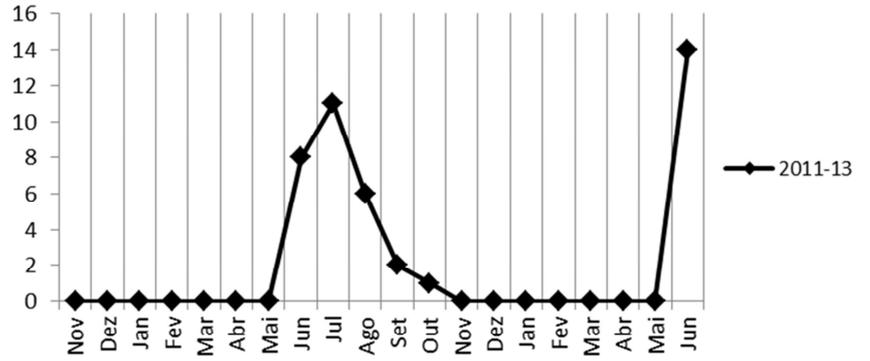


Chamecrista conferta

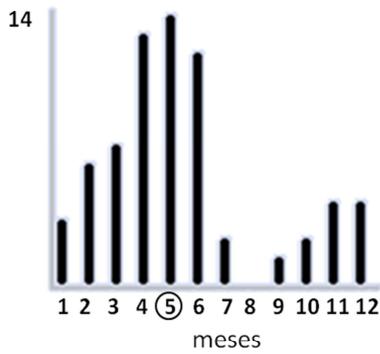
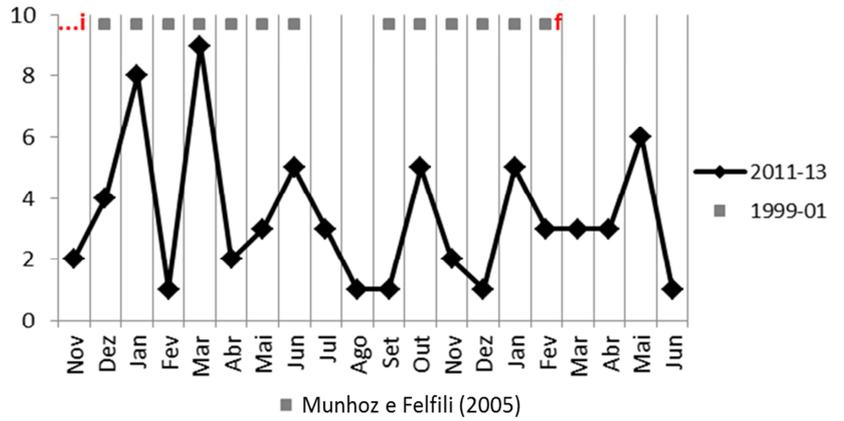




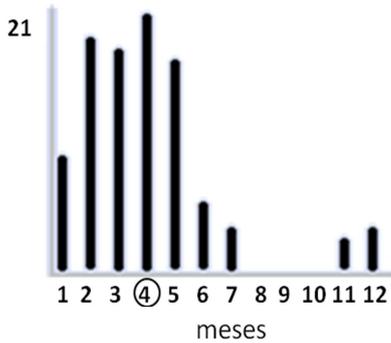
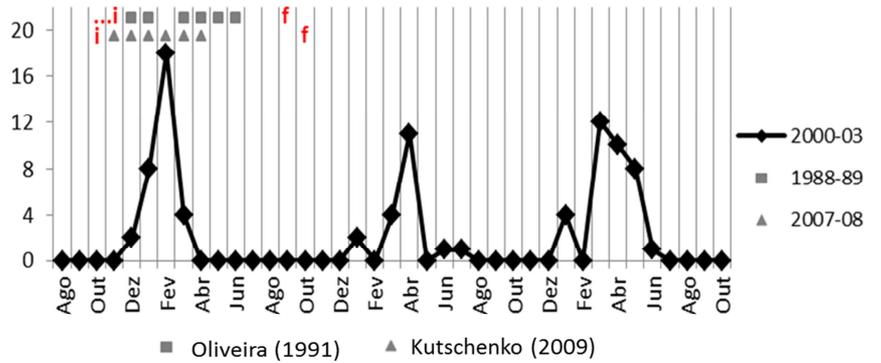
Chresta sphaerocephala



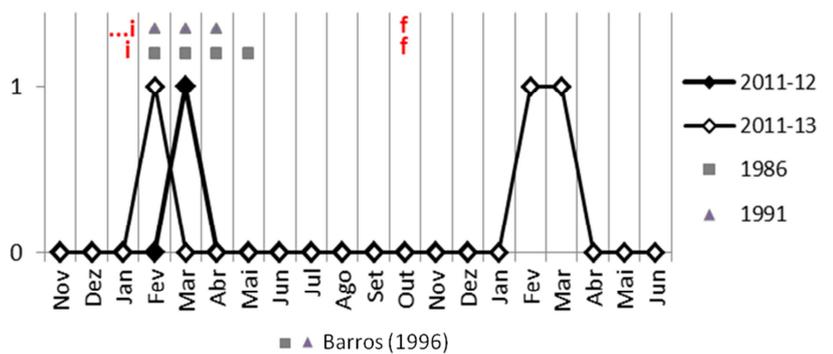
Dalechampia caperonioides

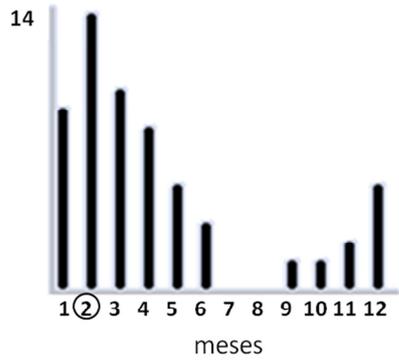


Davilla elliptica

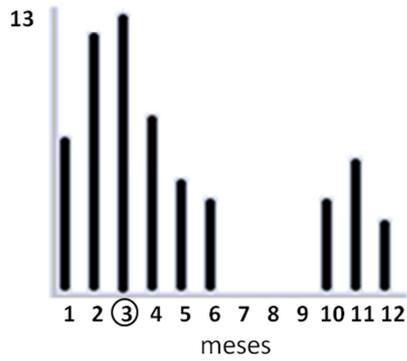
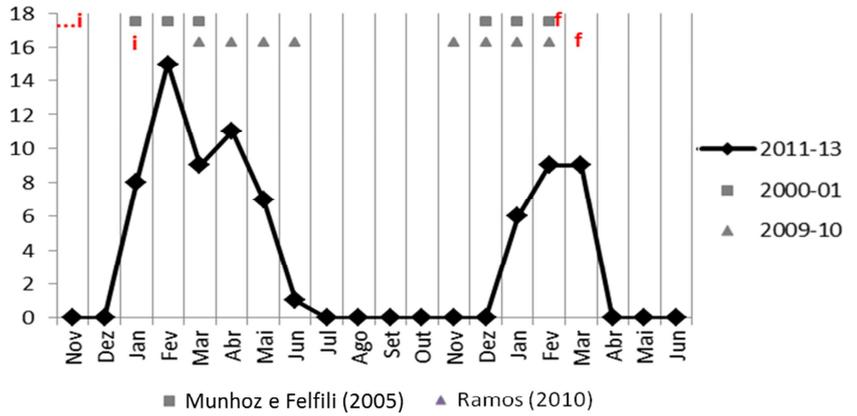


Diplusodon villosus

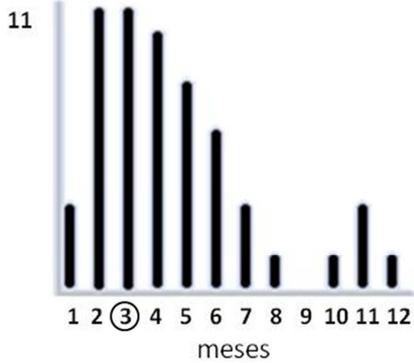
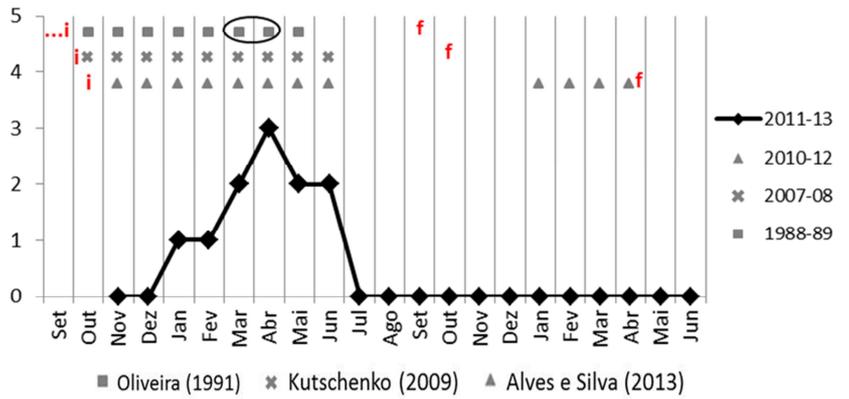




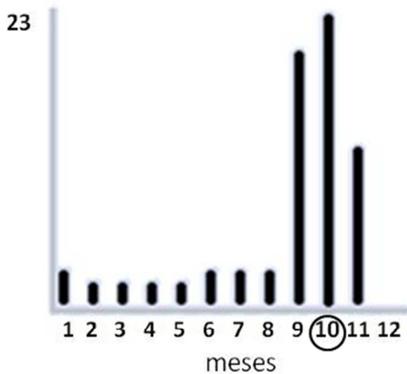
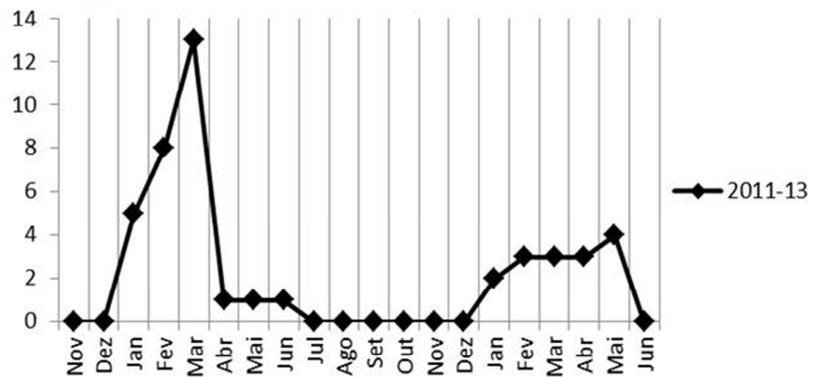
Echinolaena inflexa



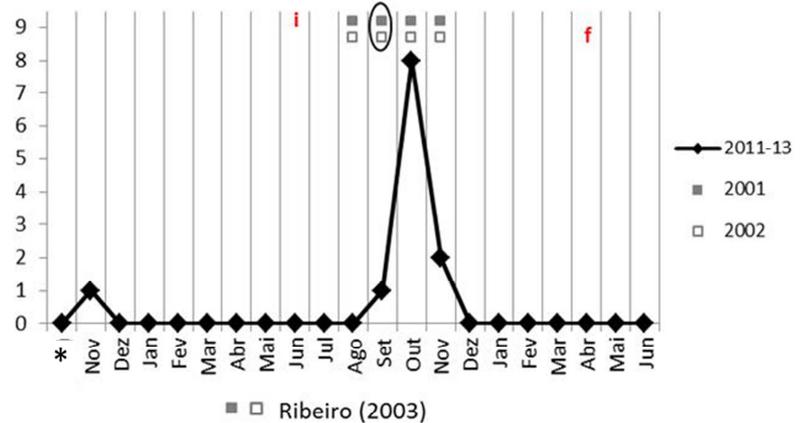
Emmotum nitens

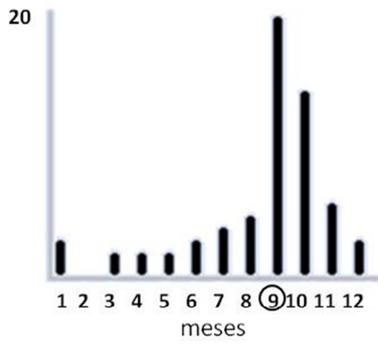


Hyptis villosa

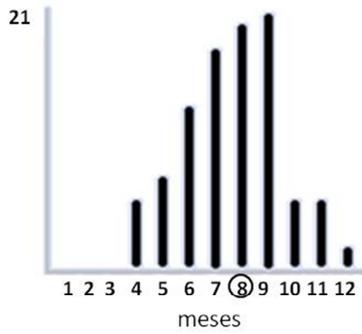
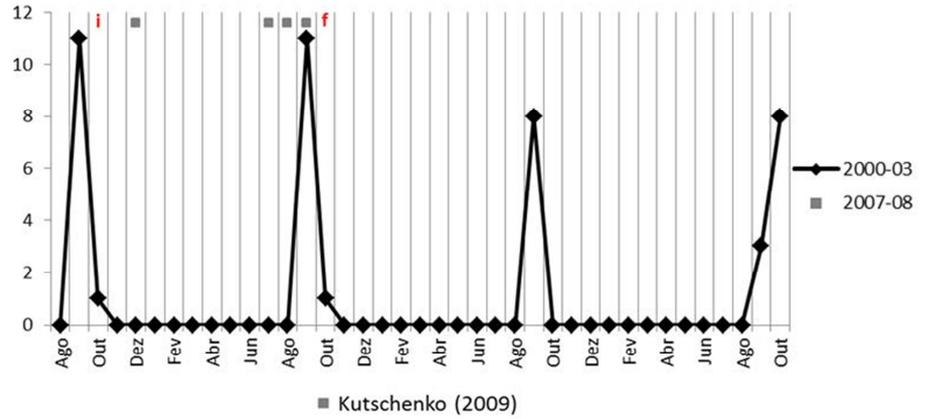


Jacaranda ulei

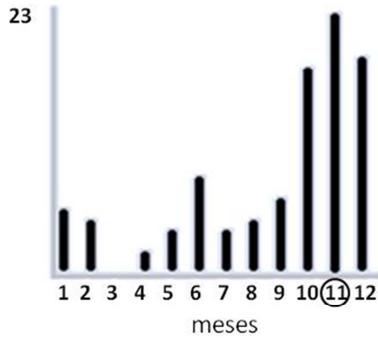
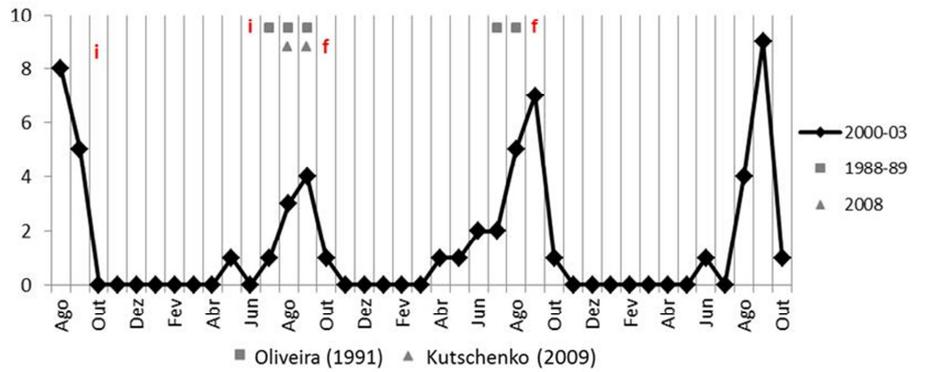




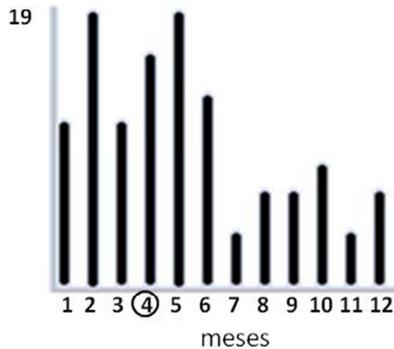
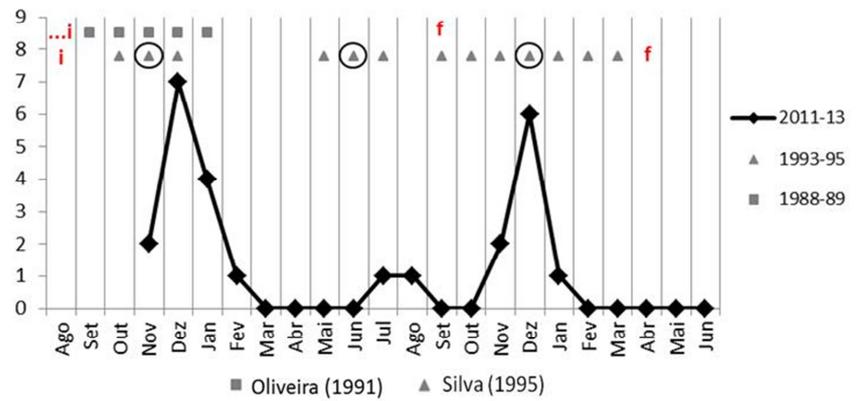
Miconia albicans



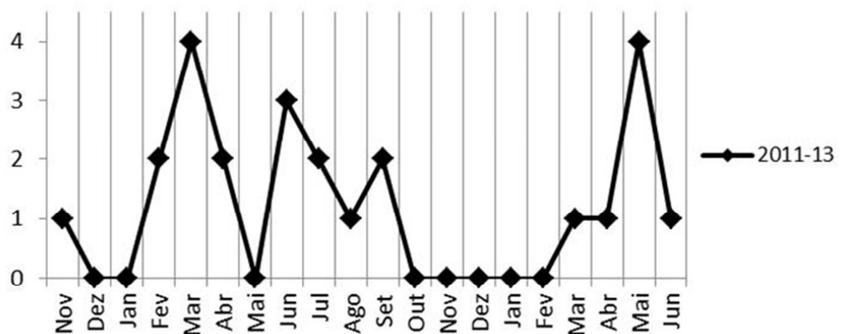
Ouratea hexasperma



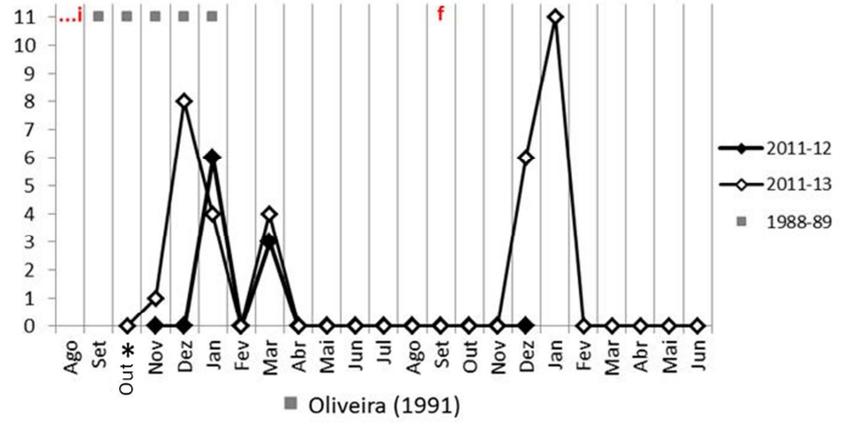
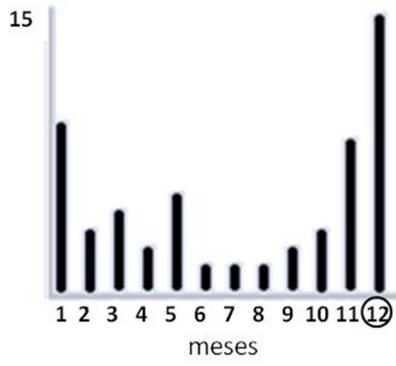
Palicourea rigida



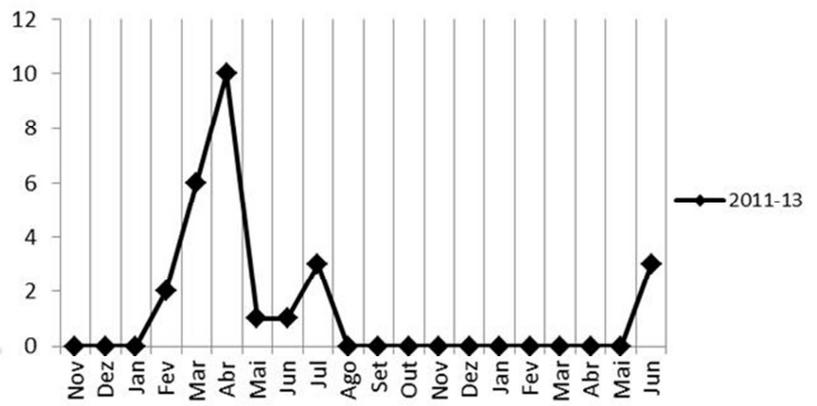
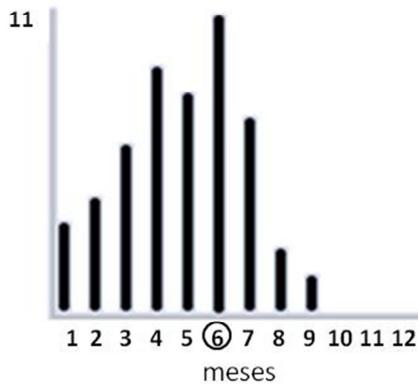
Periandra mediterranea



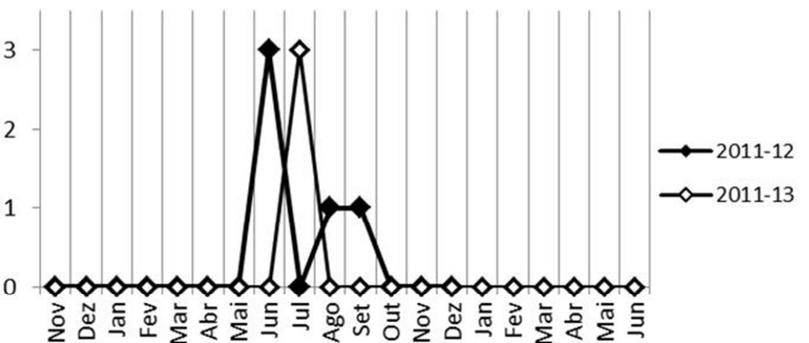
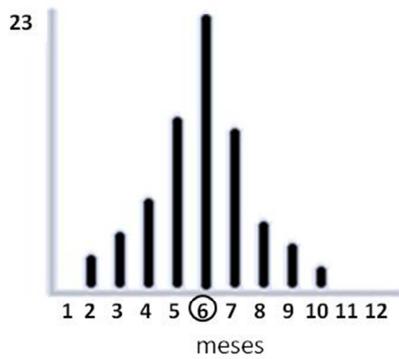
Piptocarpha rotundifolia



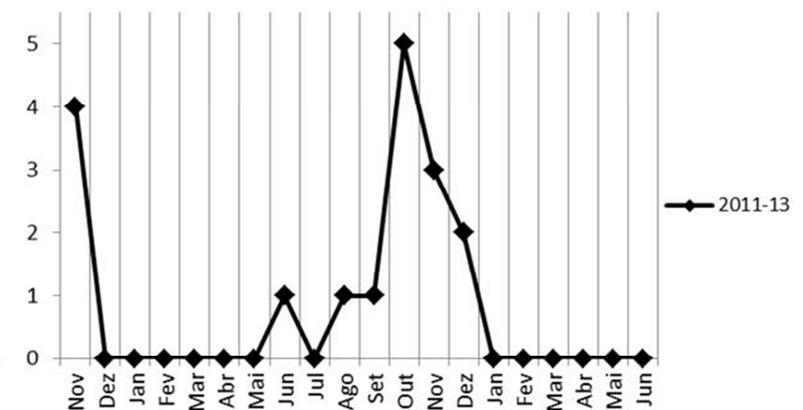
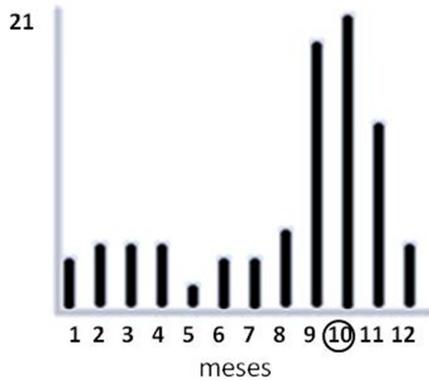
Protium ovatum



Ruellia incompta



Solanum subumbellatum



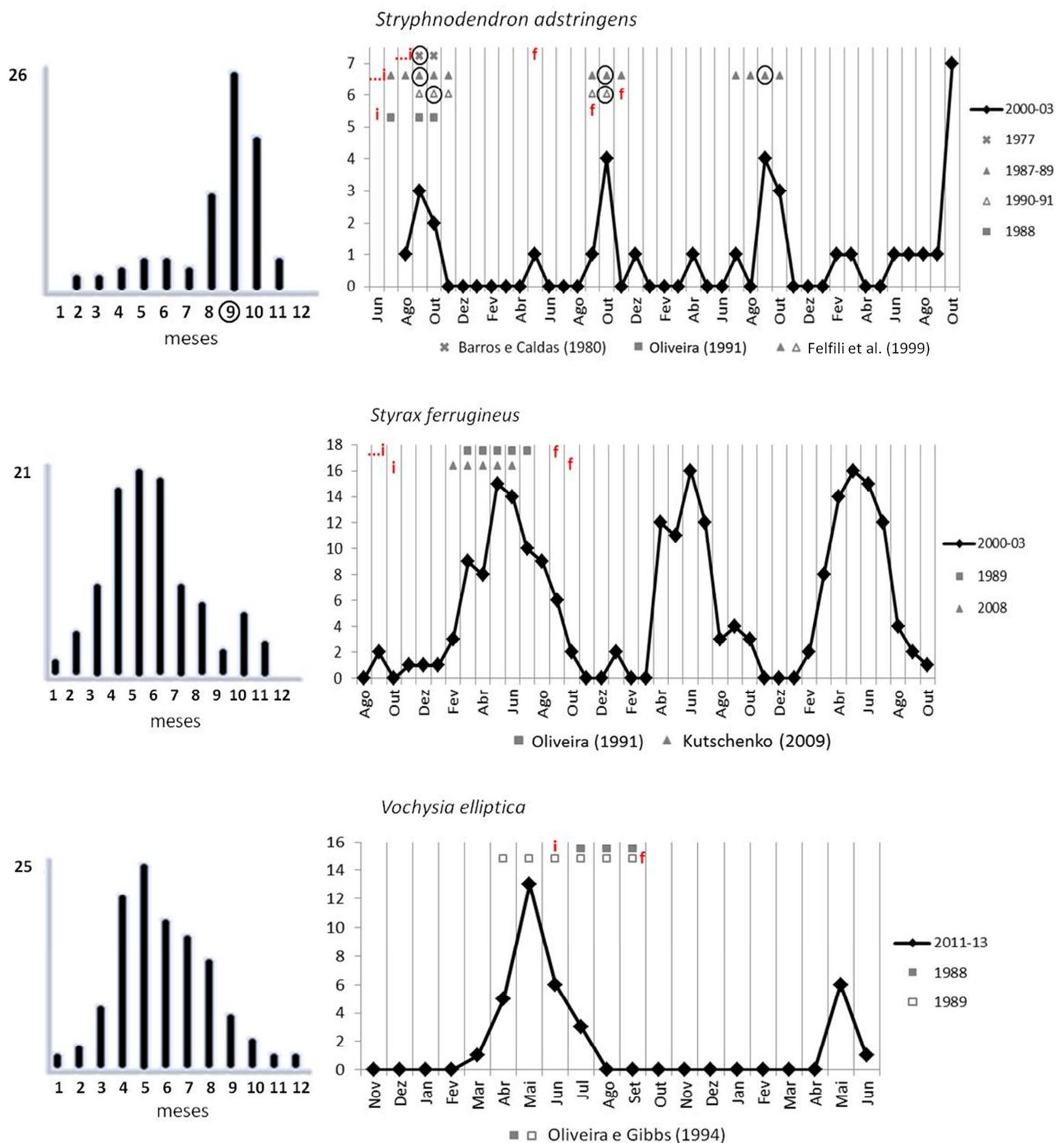


Figura 2.12. Fenofase Flor das espécies estudadas. À esquerda gráficos gerados a partir do cálculo do PPI com registros de herbário (eixo y corresponde ao número máximo de anos com coletas no respectivo mês). À direita gráficos gerados a partir dos registros coletados em campo (eixo y corresponde ao número de indivíduos). Mês circulado refere-se à probabilidade máxima indicada pelo índice. Símbolo circulado é o pico observado no estudo em questão. * indica ausência da fenofase na primeira quinzena de Novembro, quando as observações iniciaram. Em espécies cujas comunidades estudadas (PNB e ESECAE) foram analisadas individualmente —◆— refere-se aos registros obtidos no PNB e —◇— aos registros da ESECAE. Símbolos em cinza indicam observações em outros estudos. i = mês de início do estudo. f = mês final do estudo. Retiscências informam que o trabalho começou antes (depois) do início (fim) do gráfico.

Fruto

De acordo com a observação em campo, a produção de frutos nas áreas estudadas atinge o pico entre Outubro e Novembro, quando a maior parte das espécies monitoradas – bastante representativas do bioma Cerrado, principalmente da flora do Distrito Federal – apresenta maior parte dos indivíduos frutificados. Quando analisados os registros herborizados, geograficamente e temporalmente mais amplos, o índice apontou Setembro como o mês com maior atividade das espécies estudadas. A figura 2.13 compara o mês-pico de cada espécie observado em campo com o previsto pelo PPI e mostra que 46% das espécies tiveram o mês-pico previsto corretamente.

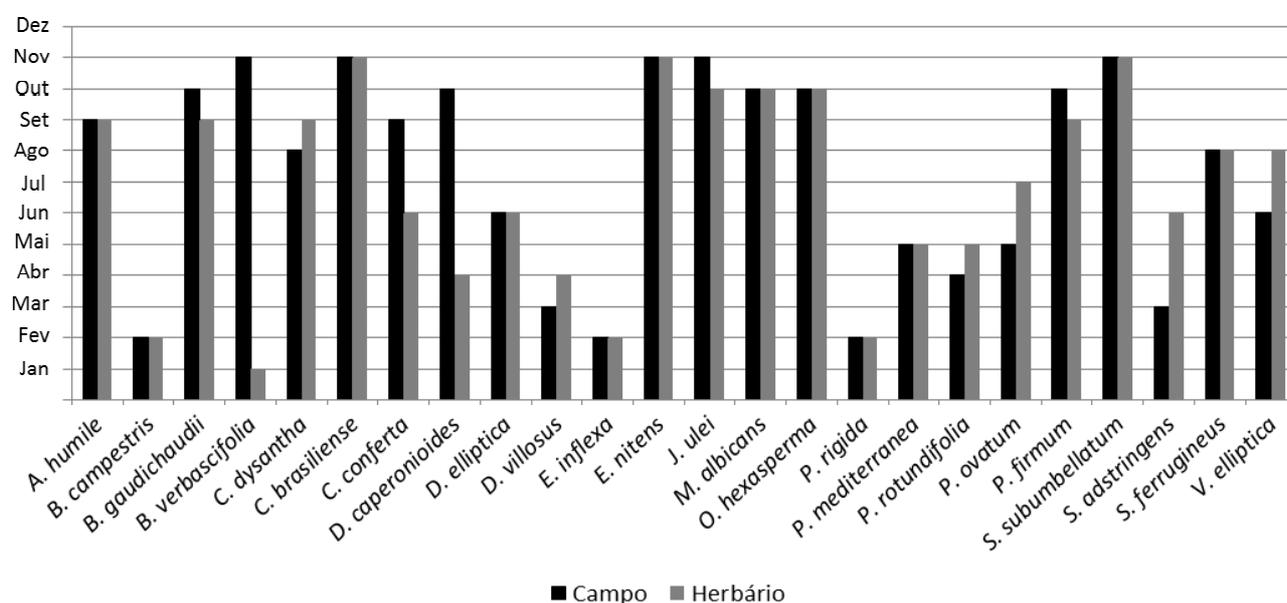


Figura 2.13. Dados da fenofase Fruto indicando os meses-pico para "Campo" e meses de máxima probabilidade para "Herbário" (cálculo do PPI) das espécies em estudo. A definição dos picos para os dados de Campo seguiu a metodologia utilizada pelo índice.

A classificação das espécies estudadas no que diz respeito à regularidade e frequência do evento fenológico resultou, para a fenofase frutificação, na identificação de quatro tipos diferentes de comportamento. Assim como ocorreu com os eventos de floração, a maioria das espécies apresentou comportamento anual unimodal (54.16%), seguido pelo anual bimodal (16.67%), subanual multimodal (16.67%) e supra-anual (12.5%).

A dispersão dos diásporos se dá por meio da zoocoria em 54% das espécies, enquanto 29% delas são autocóricas e 17% dispersam seus propágulos através do vento (anemocoria). Quanto ao período de frutificação, 37.5% das espécies frutificaram no período chuvoso e 62.5% na transição entre as estações, sendo que destas, três espécies (*Dalechampia caperonioides*, *Emmotum nitens* e *Stryphnodendron adstringens*) apresentaram frutos por um período maior que 12 meses e quatro

(*Davilla elliptica*, *Periandra mediterranea*, *Piptocarpha rotundifolia* e *Vochysia elliptica*) iniciaram e terminaram o período de frutificação na estação das chuvas, permanecendo com frutos por toda a estação seca.

Anuais unimodais – Quatorze espécies apresentaram frutificação anual com um único pico. Destas, metade mostrou fenofase prolongada, ou seja, apresentou média de duração de frutificação de seis meses ou mais. *Jacaranda ulei* teve frutificação **precoce**, *Davilla elliptica*, *Echinolaena inflexa*, *Periandra mediterranea*, *Styrax ferrugineus* e *Vochysia elliptica* apresentaram fenofase **atrasada**, com início entre Janeiro e Abril e *Protium ovatum* foi registrada com evento **contínuo**.

Jacaranda ulei teve comportamento bastante diferente entre os dois anos estudados. No primeiro mês de observação a espécie apresentou 44% dos indivíduos marcados frutificando, e indivíduos com frutos em dispersão foram registrados até Julho/2012. O início da fenofase desta estação não foi observado. Na estação seguinte, separada da anterior por apenas dois meses de não-atividade (Agosto e Setembro), a frutificação foi menos intensa e mais curta (Figura 2.14), porém, é possível que o evento tenha se estendido por mais meses entre os indivíduos do PNB, que não foram acompanhados em 2013, já que a presença de frutos registrada entre Outubro e Dezembro foi proveniente apenas dos indivíduos do Parque Nacional. A classificação da espécie como precoce foi devido à observação dessa frutificação menos intensa, que foi acompanhada no seu início. Na análise dos dados de herbário o mês de maior previsibilidade foi Outubro, mas o evento foi registrado em todos os meses do ano. A média mensal de duração da fenofase de onze meses foi calculada a partir do número de meses com interrupção do evento, método que retrata mais fielmente o comportamento da espécie em campo, cuja frutificação é prolongada e pode durar até doze meses (Ribeiro 2003).

Periandra mediterranea apresentou frutificação bem parecida com a de *J. ulei*, com alta atividade em uma estação reprodutiva (entre Fevereiro e Setembro) e frutificação pouco intensa na estação seguinte – apenas uma planta frutificada foi observada em Maio/2013. Contudo, o início da frutificação em Fevereiro classifica a espécie como atrasada. Em *P. mediterranea* observou-se que as três fenofases ocorrem simultaneamente, pois os frutos ainda estão amadurecendo ou dispersando quando novos botões são produzidos e a antese começa a acontecer. No início do estudo de campo pouco mais de 20% dos indivíduos estavam dispersando suas sementes. No herbário os registros mostram que a frutificação, assim como as outras fenofases, ocorre o ano todo, com maior intensidade na estação chuvosa. Em campo a espécie teve pico em Maio, mês indicado pelo PPI como sendo o de maior previsibilidade.

Indivíduos de *Davilla elliptica* com frutos foram vistos por nove meses no campo, variando, no período de estudo, entre Janeiro e Outubro. O PPI previu que entre Janeiro e Maio a chance de

encontrar a fenofase é maior, mas até Setembro, e em Novembro, há presença de frutos no campo. A máxima probabilidade, de acordo com o índice, é Abril. No IBGE, Maio e Junho foram os meses com mais indivíduos frutificados em 2002 e 2003, porém, no primeiro ano de acompanhamento (2000-2001) a fenofase teve pico mais cedo, entre Fevereiro e Março. Nesse período houve um veranico no DF (fonte: INMET) e, talvez, esse tenha sido o motivo da frutificação adiantada de muitos indivíduos.

Echinolaena inflexa apresentou, no gráfico plotado a partir de registros de herbário, fenofase de intensidade irregular e presente o ano todo. No campo, a fenofase foi registrada no início do período de monitoramento (Novembro e Dezembro de 2011), entre Fevereiro e Julho de 2012 – quando a frutificação foi acompanhada desde sua produção até a total dispersão – e a partir de Fevereiro de 2013, caracterizando-a como atrasada. Em Junho, quando a pesquisa de campo encerrou, os indivíduos monitorados ainda apresentavam frutos. Os meses de maior previsibilidade apontados pelo índice (Fevereiro e Abril) foram, respectivamente, o primeiro mês e a exata metade do período em que a fenofase foi registrada em campo, enquanto a atividade prevista no fim do ano só foi observada no início do estudo (2011). Observando estudos fenológicos da espécie (Figura 2.14) percebe-se a presença de frutificação em todos os meses do ano, porém, com maior frequência e intensidade na transição da estação chuvosa para a seca.

Styrax ferrugineus apresentou alta atividade em campo na estação seca nos três anos de acompanhamento. A previsão do PPI mostra que a espécie frutifica entre Fevereiro e Novembro, com maior intensidade entre Junho e Outubro – exatamente como observado na área de estudo. No IBGE, Setembro foi um dos meses de maior atividade da espécie.

Junho foi o mês-pico de *Vochysia elliptica* observado em campo, com 58% dos indivíduos frutificados. Em 2012 a fenofase foi registrada em Janeiro e de Abril a Novembro. No ano anterior 31.6% dos indivíduos apresentaram frutos em Novembro (início do acompanhamento) e Dezembro. No herbário há coletas frutificadas de Abril a Dezembro e atividade alta (alta probabilidade de ocorrência da fenofase) entre os meses de Maio e Outubro, exatamente como observado em campo e no estudo de Oliveira & Gibbs (1994) (Figura 2.14). A maior atividade em campo, contudo, não ocorreu no mês de maior previsibilidade (Agosto), talvez o veranico ocorrido no final da estação chuvosa de 2012 tenha ocasionado um adiantamento na atividade máxima da fenofase (Junho).

Protium ovatum apresentou diferença estatisticamente significativa entre as duas comunidades e, por isso, teve os dois locais analisados separadamente. No PNB a atividade foi maior, com metade dos indivíduos monitorados frutificando entre Abril e Junho. A fenofase, neste local, se mostrou bastante prolongada (duração de 12 meses), já que indivíduos frutificados foram registrados desde o primeiro mês de observação até Outubro/2012, o que classificou a frutificação da espécie como contínua. Na ESECAE o evento foi mais intenso entre Novembro/2011 e Janeiro/2012, com até

41.5% dos indivíduos apresentando frutos nesse período, porém, nos meses de maior atividade no Parque Nacional, a fenofase foi restrita à atividade de um único indivíduo na ESECAE, ou seja, dos indivíduos floridos na ESECAE apenas um frutificou e em Abril a atividade foi ausente. Na previsão do índice a fenofase ocorre o ano todo, e é mais previsível entre os meses de Julho e Setembro. No entanto, como consequência da atividade floral adiantada, por possível interferência do veranico ocorrido no DF, o pico de frutificação no campo também se adiantou em relação à previsão feita pelo índice.

As sete espécies de frutificação unimodal curta apresentaram duração média da fenofase igual ou menor de cinco meses. Frutificação **tardia** foi registrada em mais de 70% delas (*Anacardium humile*, *Chamaecrista conferta*, *Psidium firmum*, *Ouratea hexasperma* e *Miconia albicans*), e apenas duas espécies (*Caryocar brasiliense* e *Solanum subumbellatum*) tiveram fenofase **precoce**. A menor média de duração foi de *Anacardium humile* (dois meses).

A atividade reprodutiva de *Anacardium humile*, nas áreas de estudo, se restringiu a poucos indivíduos, sendo que alguns emitiram botões e não floresceram e outros floresceram, mas não geraram frutos. Em Setembro apenas dois indivíduos foram registrados com frutos, sendo um deles resultado da floração de Junho (pico floral). Este foi o único indivíduo dessa floração que frutificou. Em Outubro outras duas plantas frutificaram, sendo os frutos provenientes de flores abertas no mês anterior. A análise do índice feita a partir dos dados de herbário previu presença da fenofase em oito meses, com maior previsibilidade em Setembro e Outubro, únicos meses com registros em campo.

Caryocar brasiliense apresentou registros de frutos nos herbários em dez meses do ano. O PPI indicou Novembro como o mês de maior previsibilidade, seguido por Outubro. No campo, a espécie frutificou entre Outubro e Janeiro, com pico em Novembro, como previsto pelo índice. No primeiro mês de acompanhamento (Novembro/2011) 71% dos indivíduos marcados estavam frutificados e a fenofase nesse ano durou até Fevereiro – representado por uma única árvore.

Psidium firmum não teve as fenofases florais analisadas por falta de eventos suficientes para o cálculo do PPI e a presença de frutos em campo foi registrada em metade dos indivíduos marcados. A atividade se restringiu ao período de Setembro a Dezembro, mas a previsão do PPI mostra que Setembro e Outubro são os meses com frutificação mais provável. No campo a fenofase foi mais intensa em Outubro (pico) e Novembro. Da mesma forma que ocorreu com *C. brasiliense*, nos meses com poucos registros no herbário o evento não foi registrado em campo. Ambas as espécies foram registradas com frutos no herbário por dez meses e apresentaram valores de PPI que estão entre os dez maiores, no entanto, o valor do índice de *P. firmum* foi um pouco mais alto. Isso se deu pelo fato de a fenofase desta espécie, segundo a análise do índice, ser um pouco mais concentrada, ou seja, com mais registros em torno do mês mais previsível. A média de duração da frutificação de *P. firmum*

também é um pouco maior, confirmando sua menor flexibilidade quando comparada à frutificação de *C. brasiliense*. Quanto maior a flexibilidade da espécie, mais irregular o gráfico tende a ser e, por consequência, menor será o valor do PPI.

Solanum subumbellatum apresentou frutos entre Outubro/2012 e Janeiro/2013, porém, no ano anterior (2011) a fenofase encerrou em Novembro, quando o acompanhamento em campo começou. Menos de 20% dos indivíduos marcados frutificaram no período de estudo. No herbário, registros da espécie com frutos foram feitos em todos os meses do ano e Novembro foi indicado como o mês de maior probabilidade da fenofase ser registrada em campo. De fato, este foi um dos meses de maior atividade no estudo (Figura 2.14).

Ouratea hexasperma teve o segundo maior valor de PPI e o gráfico de herbário mostra que frutos da espécie podem ser observados em campo de Maio a Dezembro, com maior chance de ocorrer entre Setembro e Novembro. Na área de estudo, o período de frutificação variou entre os anos amostrados, mas a maior intensidade entre Setembro e Novembro foi verificada nos três anos de acompanhamento, como previsto pelo índice. O pico em Outubro também coincidiu com a previsão do PPI. A média de duração da fenofase em campo é de quatro meses e meio, portanto sua flexibilidade é de aproximadamente três meses e meio apenas. A alta contingência da espécie contribuiu para o alto valor do índice.

Para *Miconia albicans* a presença de frutos foi registrada em herbário de Maio a Março, com atividade mais intensa entre Setembro e Janeiro, período em que a fenofase foi observada em campo. O pico de frutificação da espécie no campo ocorreu entre Outubro e Novembro, quando todos os indivíduos marcados estavam frutificando.

De acordo com o índice, Junho é o mês de maior previsibilidade de *Chamaecrista conferta* para a fenofase Fruto, contudo, nas áreas de estudo, o período de maior intensidade de frutificação foi diferente. No Parque Nacional de Brasília, a atividade máxima da fenofase se deu entre os meses de Setembro e Outubro e frutos não foram observados de Dezembro a Maio, período em que houve registro de indivíduos frutificados na ESECAE. O gráfico de herbário mostra uma única coleta de fruto maduro em Fevereiro, mês em que o evento foi registrado apenas em Águas Emendadas, sugerindo que a localidade – microclima, tipo de solo ou até mesmo algum tipo de competição inter-específica – tem influência no comportamento fenológico da espécie.

Anuais bimodais – Quatro espécies apresentaram dois picos de frutificação no campo, mas apenas *Byrsonima verbascifolia* teve um dos picos na estação seca.

Em relação ao mês de início do evento, *Palicourea rigida* mostrou frutificação **atrasada**, *Byrsonima verbascifolia* e *Brosimum gaudichaudii* tiveram a fenofase classificada como **precoce**, já que esta se iniciou no começo das chuvas, e *Calliandra dysantha* foi a única com frutificação **tardia**.

Byrsonima verbascifolia, acompanhada no IBGE, apresentou dois picos de frutificação, sendo o maior entre os meses de Setembro e Fevereiro, aproximadamente. O pico menos intenso, formado pela atividade de poucos indivíduos, foi bastante variável entre os anos de estudo, porém sempre na estação seca. No ano 2002-2003 a segunda frutificação, iniciada em Julho, não foi observada completamente devido ao término do trabalho de campo; no evento de 2001-2002 apenas um indivíduo frutificou em Maio; e no primeiro ano de acompanhamento (2000-2001) percebe-se que o “menor pico” é uma continuação da intensa frutificação, normal do início da estação chuvosa. Isso ocorreu devido à emissão de botões em período atípico de um único indivíduo – apenas uma planta emitiu botões em Fevereiro/2001, que foi responsável pela presença de frutos no mês seguinte. No herbário a fenofase foi registrada em todos os meses do ano e, assim como verificado em campo, apresentou dois picos de previsibilidade: o maior em Janeiro (estação chuvosa) e o menor em Junho (estação seca). O baixo valor do PPI deve-se principalmente à extensa frutificação da espécie.

Brosimum gaudichaudii apresentou registros de frutos nos herbários em dez meses do ano e no campo mostrou fenofase prolongada, durando até oito meses. Atividade curta e de pequena intensidade foi registrada entre Dezembro/2011 e Janeiro/2012 na área de estudo, período que o índice aponta presença do evento pouco previsível. De acordo com o PPI, Setembro e Outubro são os meses em que a fenofase tem maior chance de ser encontrada em campo, período em que, pelo menos, 71.5% dos indivíduos monitorados estavam frutificando na área de estudo. Apesar da frutificação de *B. gaudichaudii* ser ampla, o índice apresentou valor alto para a previsibilidade da espécie, visto que a maior parte dos registros se deu entre dois meses. Já a flexibilidade do evento, apesar de grande, restringe-se a poucas observações.

Calliandra dysantha apresentou um período mais intenso de frutificação na transição da estação seca para a chuvosa – com pico em Outubro – e um período mais curto e de menor intensidade da fenofase no fim das chuvas. De acordo com os registros de herbário a espécie tem maior chance de ser encontrada com frutos em Novembro, mas a fenofase é ampla – de Abril a Novembro – e pode ocorrer também em Janeiro. Comparando os dois gráficos da espécie percebe-se atividade mais intensa no final da seca e início das chuvas (quando acontece o pico do evento) que se estende até Novembro, e no meio da estação chuvosa uma frutificação de baixa intensidade pode ocorrer. No herbário essa pequena frutificação está representada por uma coleta com frutos feita no início de 1965 e no campo pelo registro de um indivíduo em Fevereiro e Março de 2013, resultado da floração de Janeiro.

Durante o período de estudo *Palicourea rigida* mostrou dois períodos de frutificação: o maior no meio da estação chuvosa (Fevereiro), com média de cinco meses de duração, e o menor no início das chuvas, entre Setembro e Outubro. A partir dos dados de herbário, o índice previu presença de

frutos em todos os meses do ano, com maior chance de ocorrer a maior frutificação em Fevereiro e a menor em Julho. Os gráficos mostram que, no herbário, a presença da fenofase é mais previsível entre Fevereiro e Abril, porém nas áreas de estudo, a intensidade da frutificação aumentou a partir de Janeiro, principalmente no segundo ano de acompanhamento, quando o evento foi mais curto. Além disso, a presença nos herbários de registros de frutos o ano todo deixa clara a plasticidade fenotípica da espécie, já que a duração média da fenofase calculada por meio de estudos fenológicos é de apenas quatro meses.

Subanuais multimodais – *Dalechampia caperonioides*, *Emmotum nitens* e *Piptocarpha rotundifolia* foram as espécies cuja frutificação se mostrou **contínua**, com duração maior de 12 meses no ano e intensidade irregular, formando vários “picos” no decorrer do ano.

No herbário, registros de *Dalechampia caperonioides* com frutos mostram que a fenofase é ampla, podendo ocorrer em qualquer mês, sem preferência por estação ou período do ano, já que a previsibilidade é alta em vários meses. De acordo com esses dados, Fevereiro parece ser o mês menos previsível, seguido por Julho e Agosto. No campo, apenas um indivíduo apresentou frutos em Fevereiro, Novembro e Dezembro. Dos 35 indivíduos monitorados, 14 (40%) frutificaram no período de estudo, dos quais pelo menos 36% apresentaram frutos em Março, Setembro e Outubro, meses de maior atividade observada.

A frutificação prolongada de *Emmotum nitens* observada em vários estudos fenológicos da espécie (Moreira 1987; Oliveira 1991; Kutschenko 2009; Alves & Silva 2013) foi verificada também neste estudo e no gráfico gerado a partir de registros de herbário. No cerradão da ESECAE, onde a espécie foi amostrada, os indivíduos monitorados apresentaram frutos por 17 meses consecutivos – de Novembro/2011 (primeiro mês de observação) a Março/2013, com maior intensidade na estação chuvosa. Assim como *D. caperonioides*, a previsibilidade de frutificação de *E. nitens* é bastante irregular, sendo um pouco mais provável a presença de frutos em campo nos meses de Outubro e Novembro.

Piptocarpha rotundifolia, no campo, só não foi registrada com frutos entre Janeiro e Abril de 2013, sendo observada duração de 14 meses da fenofase na primeira estação reprodutiva. No ano seguinte o evento teve início em Maio, mas seu ciclo não foi acompanhado por completo devido ao fim do estudo de campo. Registros de herbário mostram a presença de frutos na espécie em todos os meses do ano, com maior probabilidade em Maio. Já o estudo usado para comparação (Oliveira 1991) observou frutificação em *P. rotundifolia* de Outubro a Março, confirmando a ocorrência da fenofase em todos os meses do ano. Desse modo, as três espécies que apresentam fenofase bastante prolongada e irregular, tiveram os três valores mais baixos de PPI (Tabela 2.12).

Supra-anuais – Três espécies apresentaram comportamento supra-anual: *Stryphnodendron adstringens*, cuja frutificação foi **tardia** (início no fim da seca), e *Banisteriopsis campestris* e *Diplusodon villosus*, que tiveram frutificação **atrasada** (início no meio das chuvas).

S. adstringens mostrou, em campo, frutificação bianual (Figura 2.14), ou seja, atividade em anos intercalados. Apesar de a floração da espécie ter ocorrido em todos os anos de acompanhamento, com maior intensidade entre Setembro e Outubro, a frutificação não apresentou comportamento anual e esteve reduzida à atividade de, no máximo, três indivíduos. Na primeira estação reprodutiva (2000-2001) frutos foram observados em três árvores de Setembro/2000 a Setembro/2001 e duas delas voltaram a frutificar apenas em 2002-2003, de Setembro a Setembro novamente. Entre Outubro/2001 e Agosto/2002 nenhum indivíduo frutificando foi registrado na área de estudo. No último mês de observação em campo (Outubro/2003) nenhuma árvore foi registrada com frutos, o que sugere que a frutificação no período 2003-2004 pode não ter ocorrido ou teve início mais tarde, no entanto, isso são apenas suposições, já que a fenologia desta estação reprodutiva não foi monitorada. No herbário a fenofase foi registrada em todos os meses do ano – com previsibilidade maior entre Maio-Junho e entre Agosto-Setembro – e o valor do PPI do mês de maior previsibilidade, como esperado para espécies com fenofase prolongada, foi um dos menores calculados (< 0.03).

Banisteriopsis campestris mostrou comportamento diferente nas duas áreas de estudo. No PNB dois picos formados pela atividade de apenas três indivíduos – um maior em Fevereiro e um menor em Maio – foram registrados em 2012, enquanto na ESECAE um único indivíduo frutificou entre Abril e Maio de 2013, não sendo possível a observação de um segundo pico da espécie na área. A falta de atividade reprodutiva dos indivíduos da ESECAE indica que a espécie pode ter comportamento supra-anual, o que pode ser confirmado – ou não – com um estudo fenológico mais longo e acompanhamento de um maior número de plantas férteis. De acordo com a análise do PPI, a frutificação de *B. campestris* pode ocorrer em quase todo o ano, o que não foi verificado em campo devido à baixa atividade reprodutiva dos indivíduos monitorados. Contudo, os picos de probabilidade indicados pelo índice (maior chance na estação chuvosa e menor no início da seca) foram confirmados em campo.

Diplusodon villosus teve os indivíduos dos dois locais analisados individualmente. Das dez plantas monitoradas no PNB, apenas quatro apresentaram frutos – todas em Novembro/2011, mês em que há apenas dois registros da fenofase no herbário (em 2001 e 2008). Na ESECAE o único indivíduo marcado frutificou em Março de 2012. Uma amostragem tão pequena – e de atividade quase nula – não permite que muitas conclusões sejam tiradas a respeito da fenologia da espécie, no entanto, é possível que o motivo da falha seja o comportamento supra-anual da espécie, pois os

indivíduos que apresentavam frutos quando as trilhas foram marcadas, em Novembro de 2011, não voltaram a reproduzir no período de acompanhamento. A previsão do índice indica que o período de frutificação mais intenso de *D. villosus* ocorre entre Fevereiro e Maio, com máxima probabilidade em Abril.

Previsibilidade do índice para a fenofase Fruto

O estudo de campo confirmou a previsão do índice, em relação à alta atividade da fenofase, para todas as espécies, e para aproximadamente 50% delas foi confirmado ainda o mês de atividade máxima previsto.

Piptocarpha rotundifolia, *Emmotum nitens* e *Stryphnodendron adstringens* apresentaram frutificação altamente constante, ou seja, a sincronia populacional é alta, com todos os indivíduos presentes na fenofase por um período prolongado.

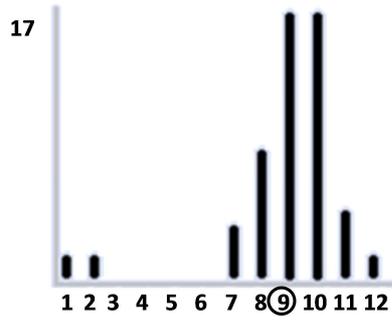
Quase 30% das espécies analisadas apresentaram valor negativo de contingência e *Anacardium humile* e *Ouatea hexasperma* obtiveram a soma total dos PPI's (e valor de contingência, no caso de *A. humile*) acima de 1. Ambos os casos não existem na teoria e podem ter ocorrido por diferentes motivos.

A. humile (N = 52) e *O. hexasperma* (N = 51) podem ter sofrido interferência de resíduos casuísticos causados pelo baixo número de registros utilizados na análise, pois apesar de o desvio-padrão diminuir significativamente quando a análise é feita com mais de 50 registros, apenas a partir de 60 registros o desvio torna-se insignificante (Proença *et al.* 2012).

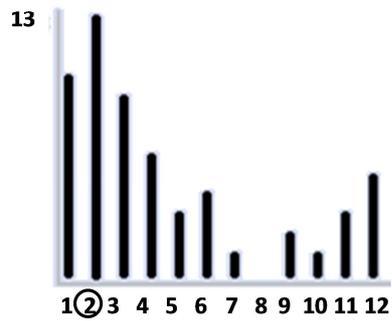
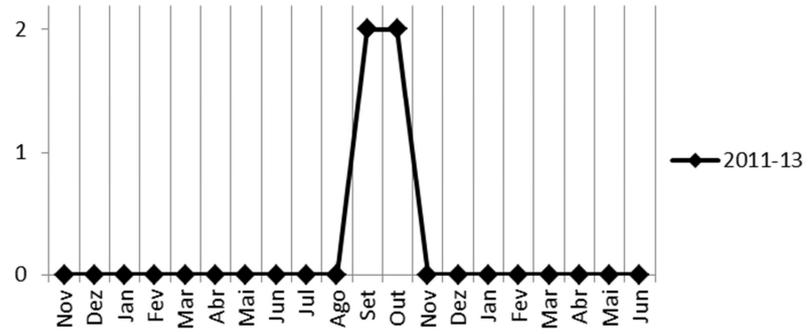
Em relação aos valores negativos de contingência, observa-se que estas espécies estão entre os menores valores de PPI total, o que indica que são espécies pouco previsíveis – apresentaram registros em herbário nos 12 meses do ano. Apenas *Jacaranda ulei* e *Periandra mediterranea* têm frutificação unimodal, as demais são supra ou multimodal, o que também caracteriza pouca sincronia entre indivíduos. Observa-se ainda que das sete espécies que apresentaram contingência negativa, quatro (*Emmotum nitens*, *Jacaranda ulei*, *Piptocarpha rotundifolia* e *Protium ovatum*) têm fenofase prolongada e três (*Byrsonima verbascifolia*, *Periandra mediterranea* e *Stryphnodendron adstringens*) foram representadas por indivíduos com comportamento fenológico bastante diferentes. Essa dissincronia interfere no cálculo da constância, que tende a ser superestimada e resulta em valor de contingência menor que zero.

Tabela 2.12. Dados da fenofase “Fruto” de 24 espécies, por ordem decrescente do valor do PPI total. *** = Registros obtidos em herbários, fotografias e estudos publicados. N = número de indivíduos amostrados. \bar{m} = número médio de meses em que a fenofase ocorreu no campo. σ = desvio-padrão da média. Pico = mês de atividade máxima da fenofase. * = número de registros inseridos com presença de fruto. *f* = eventos analisados. *m* = número de meses com registros da fenofase no herbário. Probabilidade máx. = período de maior probabilidade de encontrar a fenofase em campo. ** = Maior pico indicado no gráfico, se diferente do cálculo do índice. ^x = PPI total (soma dos PPI’s de todos os meses). CS = valor de constância do PPI total. CG = valor de contingência do PPI total. Meses separados por barra indicam os picos observados em PNB/ESECAE, nesta ordem, quando diferem. ⁺ = Áreas de estudo analisadas individualmente. ⁺⁺ = Média calculada a partir dos meses de interrupção da fenofase. Em negrito o maior valor ente constância e contingência.

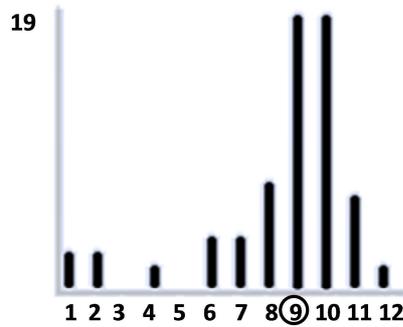
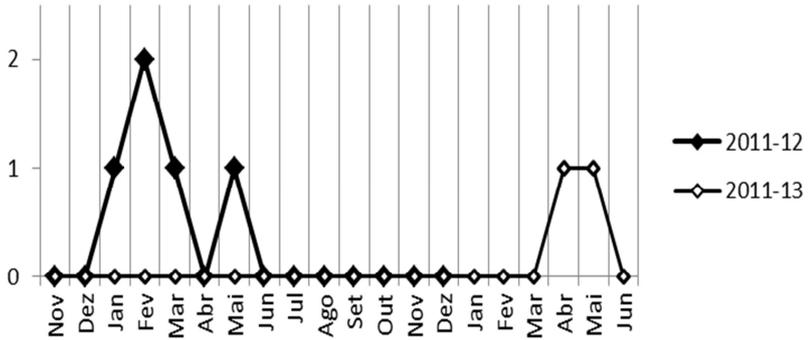
| ESPÉCIES | CAMPO | | | HERBÁRIO*** | | | | | |
|---|-------|--------------------------|---------|-----------------------------|----------|---------------------------------|------------------|---------------|---------------|
| | N | $\bar{m} \pm \sigma$ | Pico | Espécimes * (<i>f</i>) | <i>m</i> | Probabilidade máx. (Gráf.**) | PPI ^x | CS | CG |
| <i>Anacardium humile</i> | 24 | 2 | Out | 71 (52) | 8 | Set (Set, Out) | 1.2243 | 0.0769 | 1.1474 |
| <i>Ouratea hexasperma</i> | 14 | 4.5 ± 2.08 | Out | 62 (51) | 8 | Out | 1.224 | 0.2373 | 0.9867 |
| <i>Chamaecrista conferta</i> ⁺ | 11 | 5 | Set/Jul | 75 (57) | 9 | Jun | 0.9795 | 0.2258 | 0.7537 |
| <i>Calliandra dysantha</i> | 24 | 4 | Out | 57 (50) | 9 | Set | 0.9792 | 0.1154 | 0.8638 |
| <i>Vochysia elliptica</i> | 19 | 6 ± 2.82 | Nov | 65 (52) | 9 | Ago | 0.9791 | 0.4615 | 0.5176 |
| <i>Brosimum gaudichaudii</i> | 28 | 4.5 ± 4.95 | Nov | 79 (63) | 10 | Set (Set, Out) | 0.7347 | 0.1415 | 0.5932 |
| <i>Caryocar brasiliense</i> | 24 | 3.5 ± 1.29 | Dez | 58 (52) | 10 | Nov | 0.7344 | 0.1208 | 0.6136 |
| <i>Psidium firmum</i> | 11 | 2 | Nov | 101 (67) | 10 | Set | 0.7343 | 0.1219 | 0.6124 |
| <i>Diplusodon villosus</i> ⁺ | 10 | 1 | ? / Mar | 95 (69) | 10 | Abr | 0.7341 | 0.0769 | 0.6572 |
| <i>Styrax ferrugineus</i> | 16 | 8 ± 4.24 | Set | 72 (54) | 10 | Ago (Set) | 0.734 | 0.5565 | 0.1775 |
| <i>Banisteriopsis campestris</i> ⁺ | 27 | 2 ± 1.41 | Fev/Abr | 79 (57) | 11 | Fev | 0.4898 | 0.0962 | 0.3936 |
| <i>Miconia albicans</i> | 11 | 4.66 ± 0.58 | Out | 82 (62) | 11 | Out | 0.4894 | 0.2692 | 0.2202 |
| <i>Davilla elliptica</i> | 20 | 9 | Ago | 84 (76) | 11 | Jun (Mai, Jun) | 0.4893 | 0.4015 | 0.0878 |
| <i>Piptocarpha rotundifolia</i> | 10 | 8 ⁺⁺ | Dez | 61 (52) | 12 | Mai | 0.2449 | 0.7692 | -0.5243 |
| <i>Stryphnodendron adstringens</i> | 11 | 9 ± 4.33 | Set | 100 (84) | 12 | Jun | 0.2449 | 0.6796 | -0.4347 |
| <i>Periandra mediterranea</i> | 11 | 8 | Mai | 93 (76) | 12 | Mai | 0.2449 | 0.2581 | -0.0132 |
| <i>Byrsonima verbascifolia</i> | 13 | 6.43 ± 4.61 | Nov | 59 (55) | 12 | Jan | 0.2448 | 0.3204 | -0.0756 |
| <i>Palicourea rigida</i> | 20 | 4 ± 2 | Fev | 66 (56) | 12 | Fev | 0.2448 | 0.1923 | 0.0525 |
| <i>Protium ovatum</i> ⁺ | 23 | 10 ⁺⁺ / 7 | Mai/Ago | 130 (103) | 12 | Jul | 0.2448 | 0.3385 | -0.0937 |
| <i>Jacaranda ulei</i> | 25 | 11 ± 1.41 ⁺⁺ | Dez | 114 (90) | 12 | Out (Out, Dez) | 0.2447 | 0.3719 | -0.1272 |
| <i>Dalechampia caperonioides</i> | 34 | 9 ± 2.83 ⁺⁺ | Jun | 69 (62) | 12 | Abr (Nov) | 0.2447 | 0.1112 | 0.1335 |
| <i>Solanum subumbellatum</i> | 25 | 4 | Dez | 67 (59) | 12 | Nov | 0.2447 | 0.0962 | 0.1485 |
| <i>Echinolaena inflexa</i> | 20 | 6.33 ± 0.58 | Mai | 56 (53) | 12 | Fev | 0.2446 | 0.2388 | 0.0058 |
| <i>Emmotum nitens</i> | 21 | 9.5 ± 0.71 ⁺⁺ | Jan | 147 (101) | 12 | Nov | 0.2446 | 0.6923 | -0.4477 |



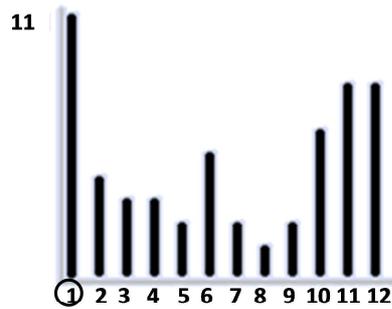
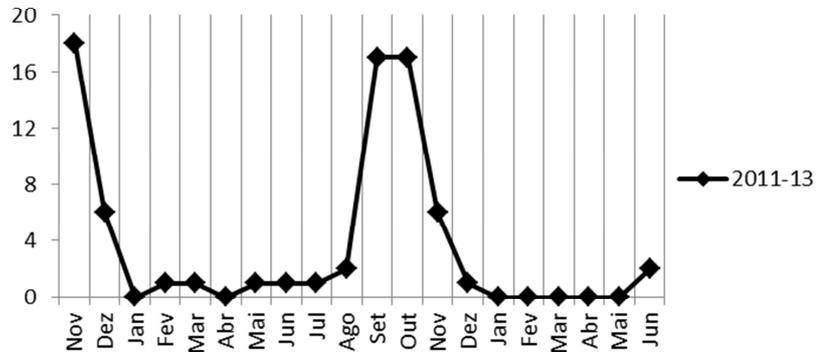
Anacardium humile



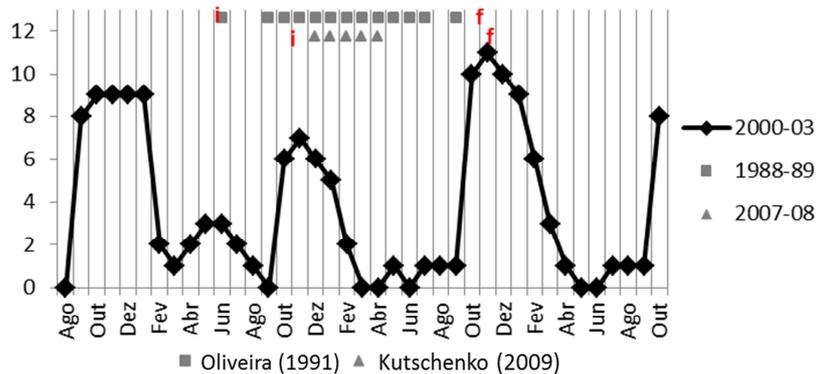
Banisteriopsis campestris

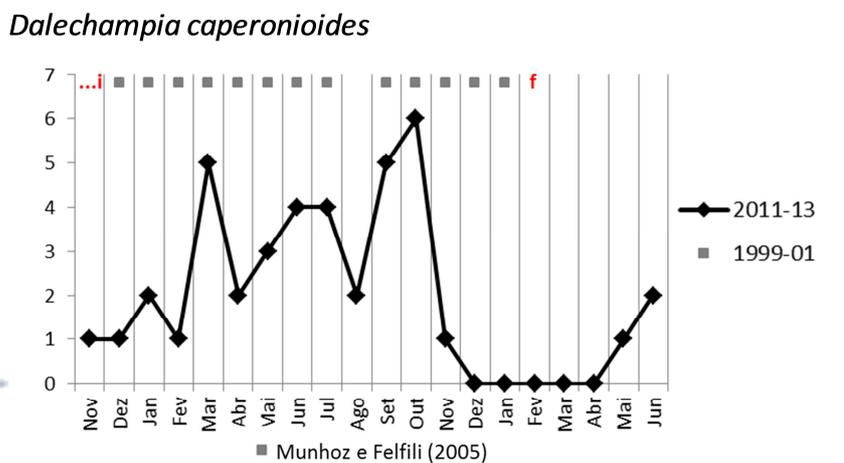
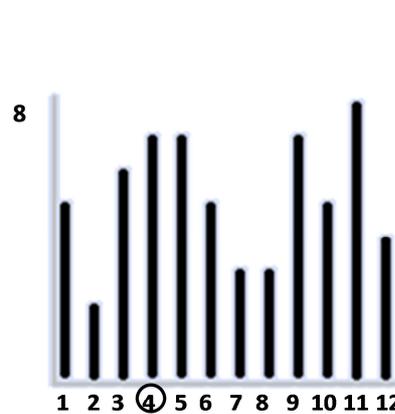
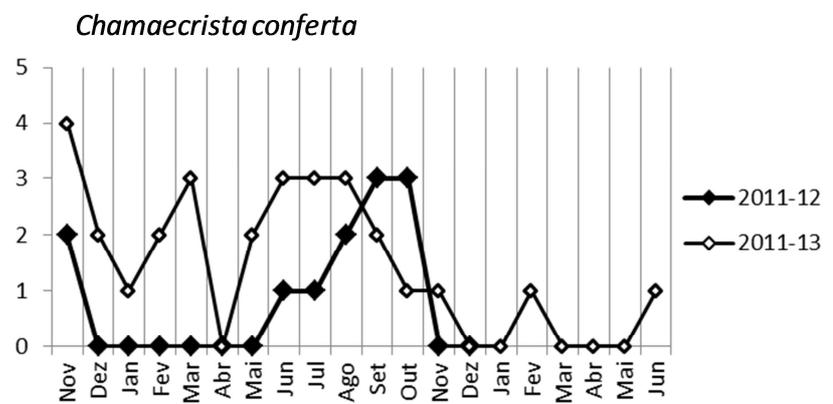
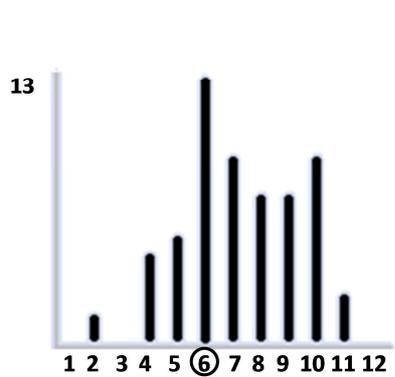
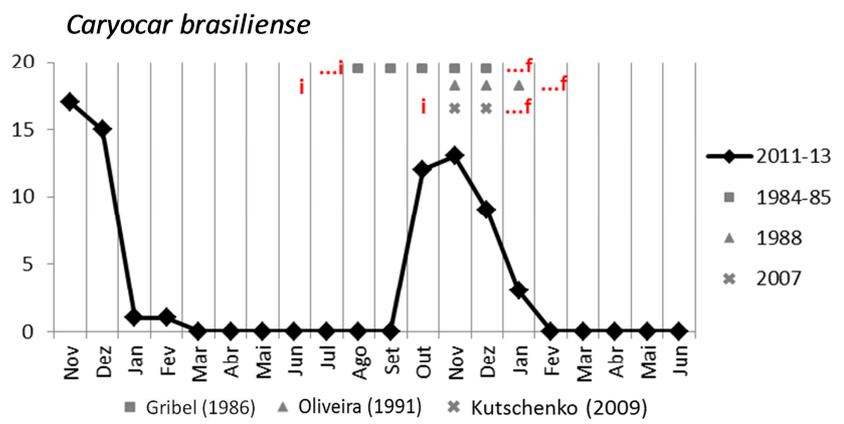
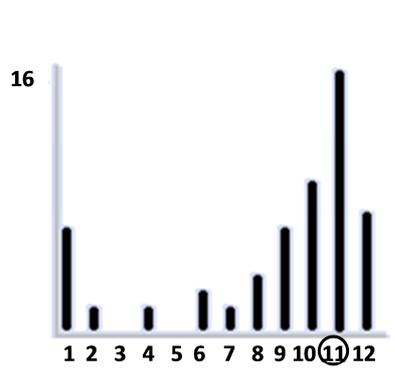
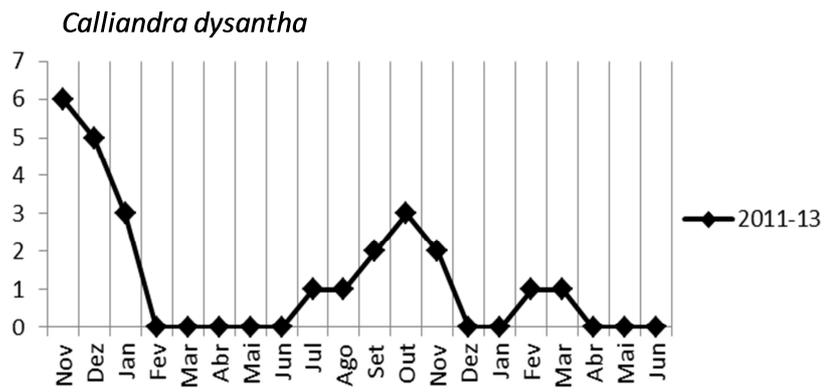
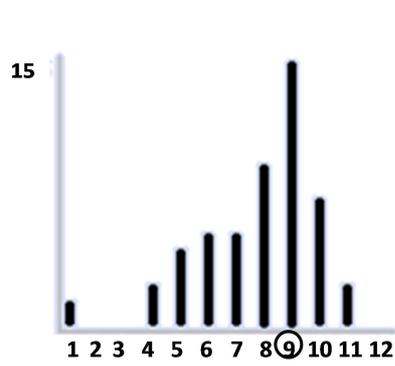


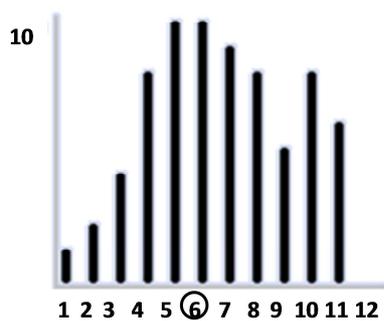
Brosimum gaudichaudii



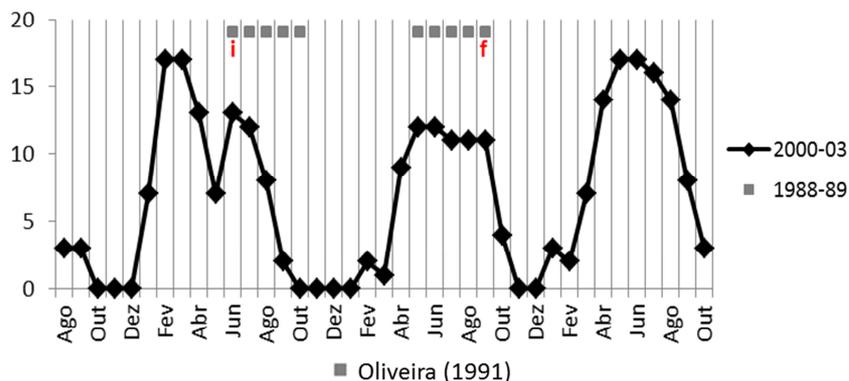
Byrsonima verbascifolia



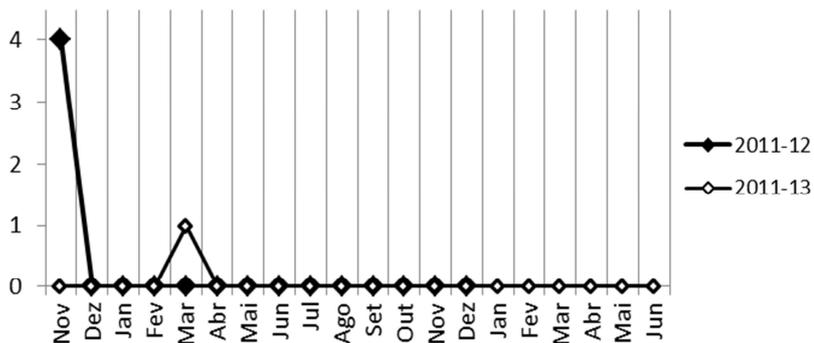
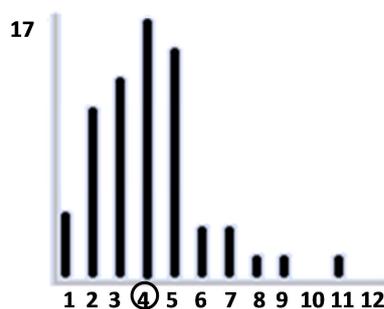




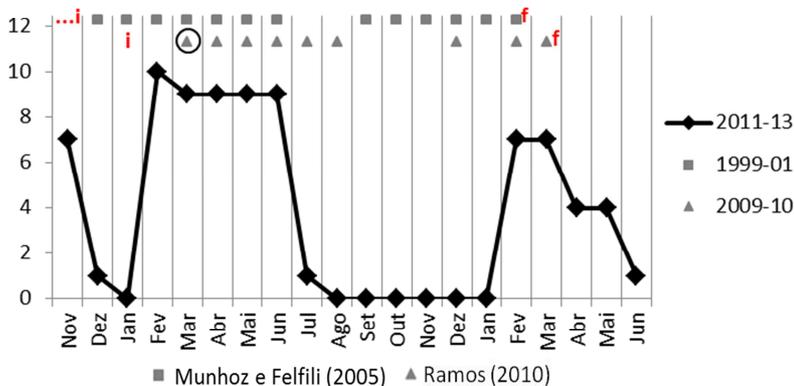
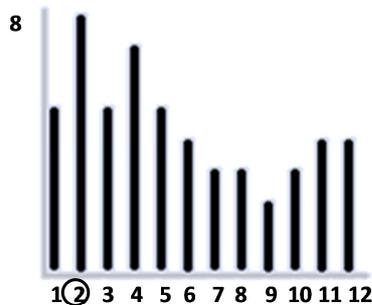
Davilla elliptica



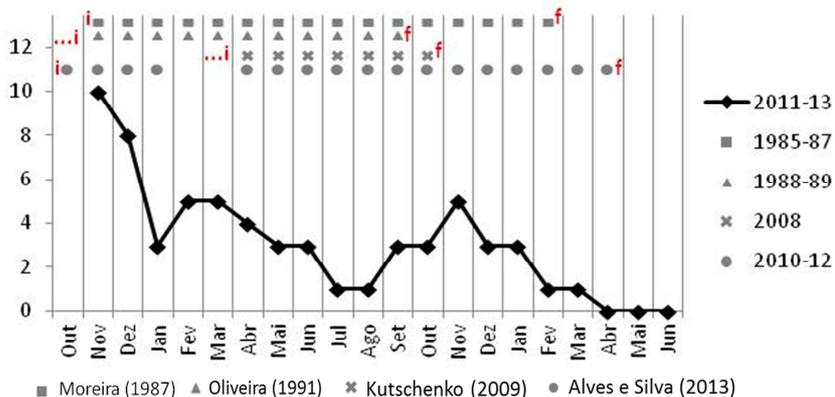
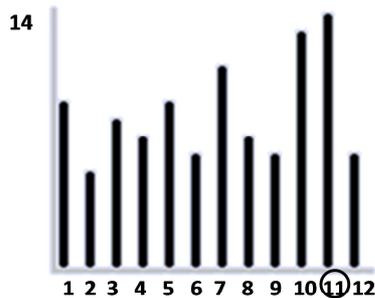
Diplusodon villosus



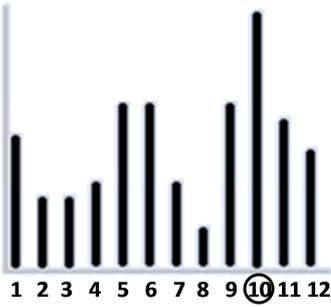
Echinolaena inflexa



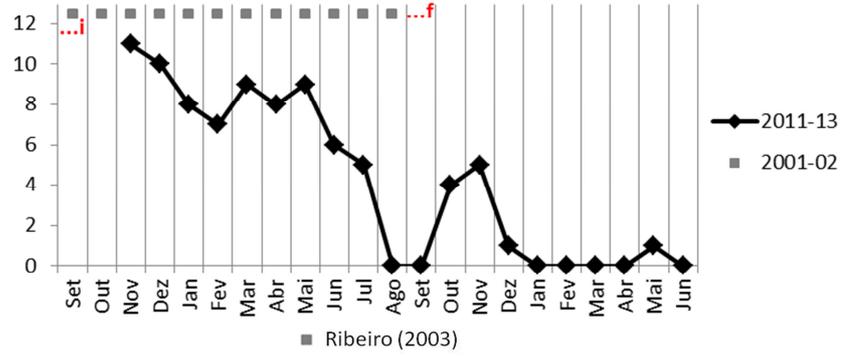
Emmotum nitens



16

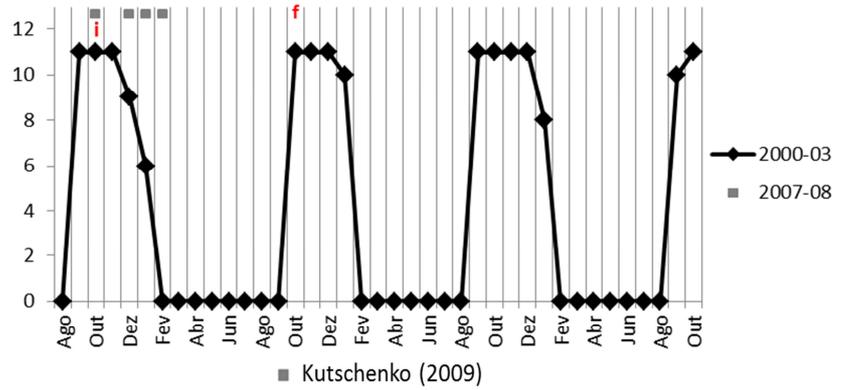
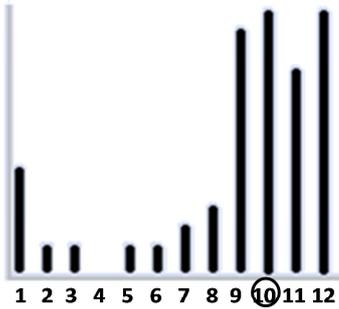


Jacaranda ulei



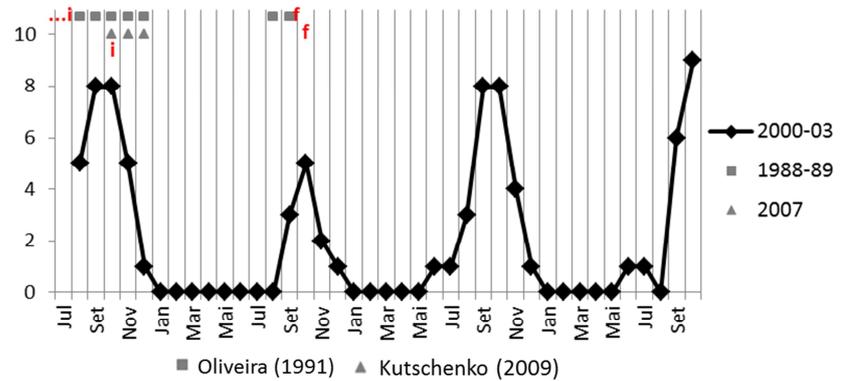
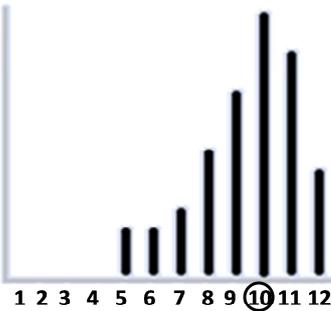
Miconia albicans

13



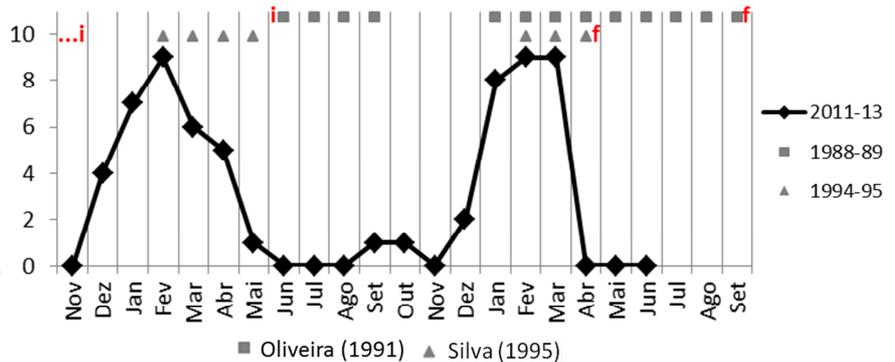
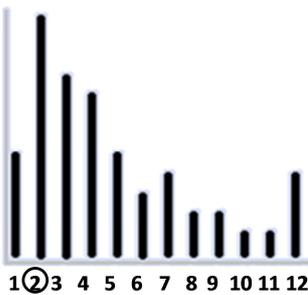
Ouratea hexasperma

13



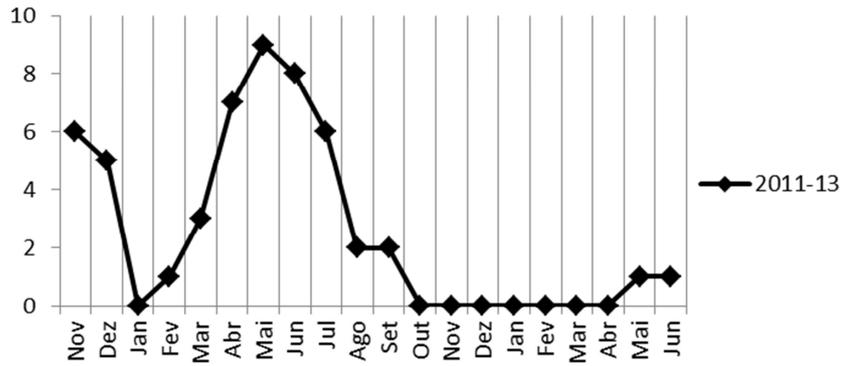
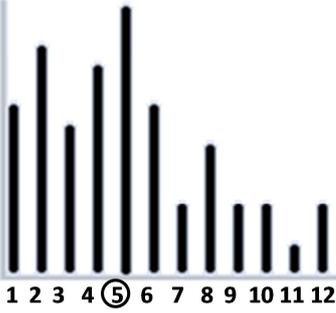
Palicourea rigida

12



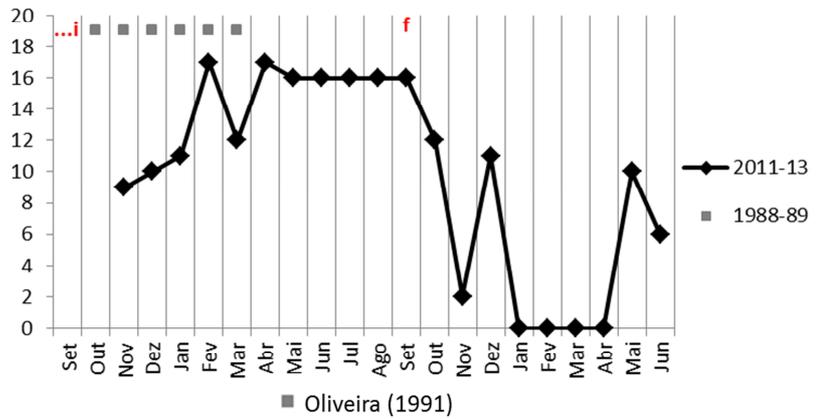
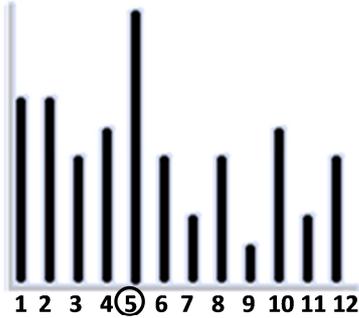
Periandra mediterranea

16



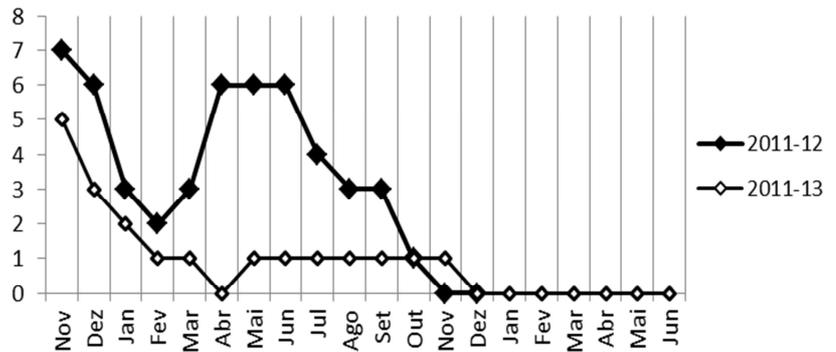
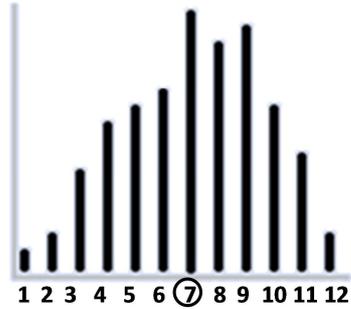
Piptocarpha rotundifolia

9



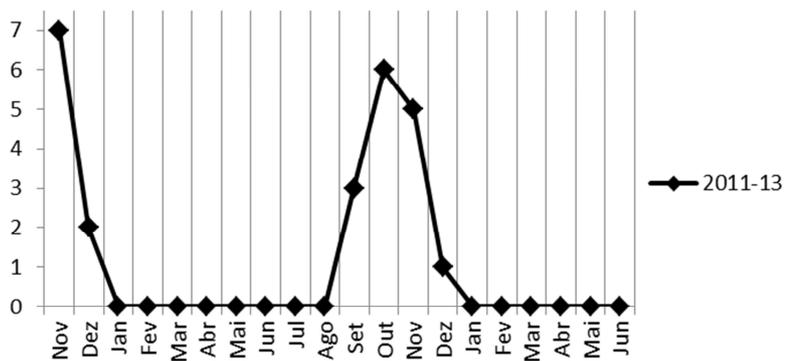
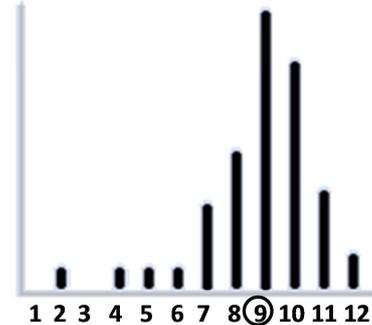
Protium ovatum

16

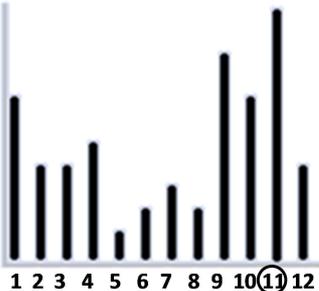


Psidium firmum

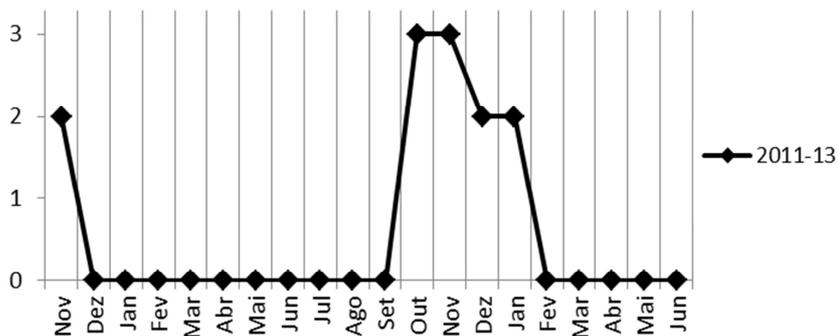
21



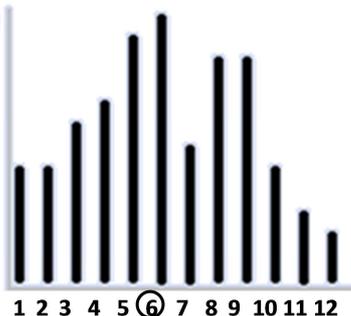
11



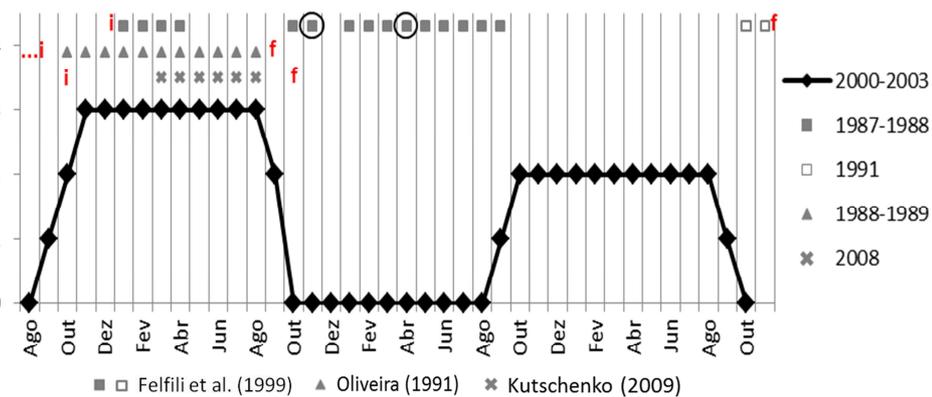
Solanum subumbellatum



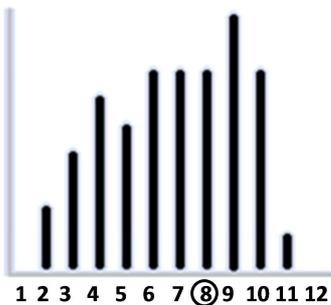
12



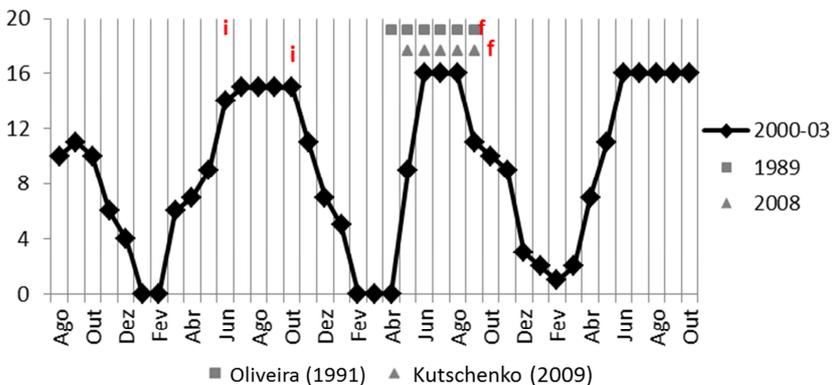
Stryphnodendron adstringens



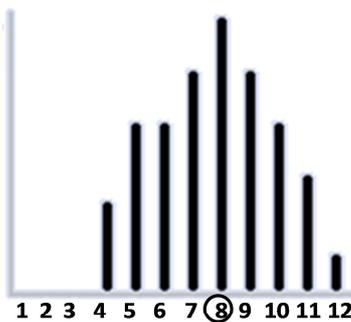
9



Styrox ferrugineus



10



Vochysia elliptica

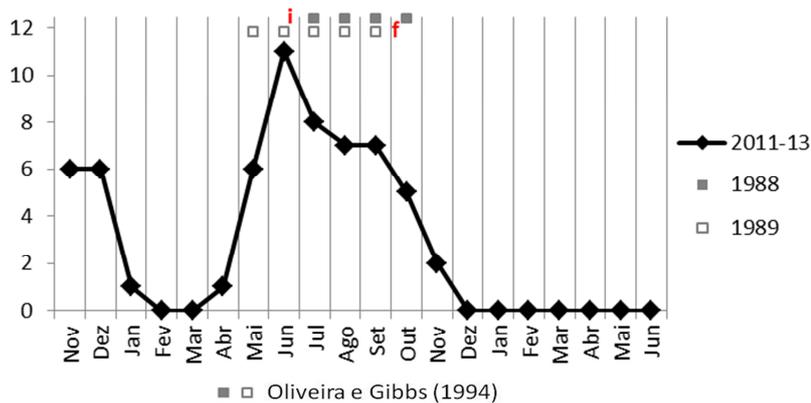


Figura 2.14. Fenofase Fruto das espécies estudadas. À esquerda gráficos gerados a partir do cálculo do PPI com registros de herbário (eixo y corresponde ao número máximo de anos com coletas no respectivo mês). À direita gráficos gerados a partir dos registros coletados em campo (eixo y corresponde ao número de indivíduos). Mês circulado refere-se à probabilidade máxima indicada pelo índice. Símbolo circulado é o pico observado no estudo em questão. Em espécies cujas comunidades estudadas (PNB e ESECAE) foram analisadas individualmente \blacktriangleleft refere-se aos registros obtidos no PNB e \blacktriangleleft aos registros da ESECAE. Símbolos em cinza indicam observações em outros estudos. i = mês de início do estudo. f = mês final do estudo. Retiscências informam que o trabalho começou antes (depois) do início (fim) do gráfico.

Tabela 2.13. Frequência e distribuição temporal das fenofases reprodutivas de 28 espécies estudadas no Distrito Federal. U = anual unimodal; B = anual bimodal; M = subanual multimodal; S = supra-anual; P = precoce (início das chuvas); A = atrasada (entre o meio e o fim das chuvas); T = tardia (na seca). Para espécies bi- ou multimodais considerou-se o período mais expressivo do evento para definir a distribuição.

| Espécie | Botão | Flor | Fruto |
|------------------------------------|--------|------|-------|
| <i>Anacardium humile</i> | U, T | U, T | U, T |
| <i>Banisteriopsis campestris</i> | S, A | S, A | S, A |
| <i>Brosimum gaudichaudii</i> | U, A | B, A | B, P |
| <i>Byrsonima verbascifolia</i> | B, T | B, T | B, P |
| <i>Calliandra dysantha</i> | B, T | B, T | B, T |
| <i>Caryocar brasiliense</i> | B, T | U, P | U, P |
| <i>Casearia sylvestris</i> | B, T | B, T | - |
| <i>Chamaecrista conferta</i> | U, A/T | B, A | U, T |
| <i>Chresta sphaerocephala</i> | U, A | U, T | - |
| <i>Dalechampia caperonioides</i> | M, C | M, C | M, C |
| <i>Davilla elliptica</i> | U, A | B, A | U, A |
| <i>Diplusodon villosus</i> | S, A | S, A | S, A |
| <i>Echinolaena inflexa</i> | U, A | U, A | U, A |
| <i>Emmotum nitens</i> | S, A | S, A | M, C |
| <i>Hyptis villosa</i> | U, A | U, A | - |
| <i>Jacaranda ulei</i> | U, T | U, P | U, P |
| <i>Miconia albicans</i> | U, A | U, P | U, T |
| <i>Ouratea hexasperma</i> | U, A | U, T | U, T |
| <i>Palicourea rigida</i> | B, P | B, A | B, A |
| <i>Periandra mediterranea</i> | B, A | B, A | U, A |
| <i>Piptocarpha rotundifolia</i> | B, P | B, A | M, C |
| <i>Protium ovatum</i> | B, A | U, A | M, C |
| <i>Psidium firmum</i> | - | - | U, T |
| <i>Ruellia incompta</i> | U, T | B, T | - |
| <i>Solanum subumbellatum</i> | M, P | B, T | U, P |
| <i>Stryphnodendron adstringens</i> | - | M, T | S, C |
| <i>Styrax ferrugineus</i> | U, A | U, A | U, T |
| <i>Vochysia elliptica</i> | U, A | U, A | U, A |

5. DISCUSSÃO

5.1. Padrões vegetativos

Verificou-se neste estudo que nos meses mais secos a brotação foi menor e a maior intensidade de caducifolia observada entre as espécies acompanhadas no PNB e na ESECAE, principalmente as espécies decíduas, ocorreu na transição da estação seca para a úmida, quando a emissão de folhas novas foi também mais intensa, como geralmente encontrado na literatura. No total, 68% das espécies aqui estudadas apresentaram queda foliar na seca. Outros estudos realizados no Distrito Federal observaram comportamento parecido em espécies decídua e brevidecídua. No início da estação seca a espécie decídua *Kielmeyera coriacea* Mart. & Zucc. foi observada perdendo suas folhas e alguns indivíduos chegaram a perder toda a parte aérea nos primeiros meses chuvosos (Nardoto *et al.* 1998). Já a brevidecídua *Dalbergia miscolobium* Benth. teve uma redução considerável no número de folhas em áreas de cerrado e campo sujo ao longo da estação seca (Franco *et al.* 1996).

No Mato Grosso, Silvério & Lenza (2010) também encontraram, em uma área de cerrado *sensu stricto*, abscisão foliar ocorrendo predominantemente no período seco e emissão de folhas jovens na transição entre as estações de seca e chuva e perceberam que mais de 60% das espécies avaliadas apresentaram evidências da indução climática e do ajuste fenológico das plantas à condição de redução da disponibilidade de água, uma vez que a abscisão foliar dessas espécies foi mais intensa no ano em que seca foi mais severa. Segundo Rivera *et al.* (2002), o tempo de brotação tende a variar entre os anos e os *habitats*, dependendo de quando ocorrem as primeiras chuvas. De acordo com Sobrado (1993), as espécies com características (brevis-)decíduas não perdem as folhas imediatamente ao início da estação seca, mas somente após o declínio na habilidade de conduzir água através de seus ramos mais finos e terminais. A perda das folhas durante a estação seca é uma estratégia adotada por algumas espécies para evitar o estresse hídrico quando a disponibilidade de água é reduzida (Lieberman & Lieberman 1984; Borchert 1994; Borchert *et al.* 2002).

Com exceção de três espécies acompanhadas no IBGE, todas as espécies de porte arbóreo monitoradas mostraram comportamento sempre-verde. Comportamento decíduo foi verificado em 25% das espécies estudadas no PNB e na ESECAE e em apenas duas (10.5%) das 19 espécies monitoradas por Oliveira (2005). A aparente correlação entre atividade e disponibilidade hídrica sugere que a seca sazonal atua como fator ambiental limitante para o crescimento e determinante dos padrões fenológicos, sendo importante também na sazonalidade da fenodinâmica foliar (Bulhão & Figueiredo 2002; Figueiredo 2008). Aparentemente, quanto mais severas forem as restrições

hídricas impostas pela sazonalidade climática, maior será a proporção de espécies decíduas observadas nas comunidades. Para Bulhão & Figueiredo (2002), o fato de que as espécies variam com relação à sua sensibilidade a estes fatores ambientais poderia explicar a ocorrência de padrões fenológicos divergentes.

Dentre as espécies analisadas neste estudo, cuja fenologia em campo foi acompanhada por Oliveira (2005), duas (*Byrsonima verbascifolia* e *Davilla elliptica*) apresentaram comportamento variado dentro da mesma população. Classificadas como brevidecíduas, ambas as espécies possuíam indivíduos com e sem deciduidade completa. A fenologia vegetativa das espécies de Cerrado representa um contínuo e dificilmente há padrões claramente definidos, dificultando o estabelecimento de grupos fenológicos vegetativos, já que a variabilidade entre populações e entre indivíduos é comum, mesmo quando estes ocorrem na mesma localidade (Lenza & Klink 2006).

Silvério & Lenza (2010) avaliaram a fenologia de *Davilla elliptica* em Mato Grosso e perceberam que a espécie apresentou comportamento brevidecíduo, como verificado por Lenza & Klink (2006), por outro lado, *Byrsonima verbascifolia* mostrou comportamentos diferenciados em locais de estudo distintos. Em um tabuleiro litorâneo em Alagoas, Araújo (2009) verificou que durante o período de menor precipitação houve maior frequência de queda de folhas nos indivíduos de *B. verbascifolia*, enquanto na estação chuvosa nenhum indivíduo foi registrado com essa atividade. Essas características, juntamente com o brotamento contínuo durante a estação seca - que ocorre na sequência da abscisão foliar - observado pelo autor, sugere que a espécie apresenta comportamento brevidecíduo, como visto também por Lenza & Klink (2006). Para Araújo (2009), os fatores indutores da brotação na seca foram o aumento do fotoperíodo, a elevação da temperatura e a própria queda das folhas. Porém, Morellato (1987) em duas florestas de São Paulo observaram que *Byrsonima verbascifolia* produz de forma intermitente uma pequena quantidade de folhas novas logo após a queda das folhas maduras, apresentando-se sempre enfolhadas sem a dormência típica das plantas caducifólias, o que caracteriza comportamento sempre-verde. Este fato indica que a produção e queda foliar em espécies lenhosas do cerrado *sensu stricto* podem apresentar plasticidade fenotípica, permitindo que as espécies apresentem ampla distribuição espacial no bioma e ainda ocupem ecossistemas com distintos substratos e níveis de restrição hídrica (Silvério & Lenza 2010).

Comportamento diferente também foi observado em *Caryocar brasiliense*, espécie reconhecida na literatura como brevidecídua, mas que neste estudo não apresentou nenhum nível de caducifolia. Fagundes *et al.* (2007) afirma que *C. brasiliense* tem enfolhamento bianual e quando precisa competir por luz o enfolhamento, assim como a queda foliar, se torna menos intenso. Segundo Gribel (1986), a abscisão de *C. brasiliense* está relacionada com fatores climáticos anteriores ao evento e em

um estudo no Distrito Federal o autor percebeu que a diminuição da precipitação, da umidade relativa do ar e da temperatura levaram a um aumento gradual na perda de folhas da espécie.

Brosimum gaudichaudii, *Chresta sphaerocephala*, *Dalechampia caperonioides*, *Emmotum nitens* e *Ruellia incompta*, ao contrário das demais espécies estudadas, apresentaram pequenos picos de produção de folhas novas na estação seca, ao que podemos atribuir duas prováveis razões: a precipitação acima do normal registrado no Distrito Federal no mês de Maio/2012, quando inicia o período seco no Cerrado, ou a preferência da espécie em renovar sua foliação nesta estação.

Em um estudo fenológico de *Brosimum gaudichaudii* realizado em Nossa Senhora do Livramento - MT, foi verificado que a produção de folhas diminui na estação seca e o mês com menor taxa de produção foliar (Julho) foi quando houve registro da menor temperatura média do período de estudo. A espécie, assim como neste estudo, mostrou comportamento sempre-verde e os autores concluíram que a baixa temperatura afeta mais fortemente o evento do que a precipitação (Faria *et al.* 2012). No presente estudo o mês de Junho de 2012 apresentou a temperatura média mais elevada entre os meses mais frios (Maio a Agosto) e talvez esse pequeno aumento de temperatura tenha induzido a produção de folhas jovens em alguns indivíduos de *B. gaudichaudii*. Quanto a *Emmotum nitens*, sua brotação ocorre praticamente todo o ano, com uma pequena interrupção entre Fevereiro e Março (Moreira 1987). Segundo Moreira (1987), o curto período em que não ocorre brotação corresponde à época da reprodução da espécie, sugerindo que há um deslocamento dos recursos para serem utilizados na produção de flores e frutos. Na ESECAE, *E. nitens* apresentou dois momentos de produção foliar, o maior na estação chuvosa e o menor na seca, corroborando com a afirmação de que a produção de folhas novas da espécie pode se estender por toda a estação seca e não apresenta sazonalidade marcada. Oliveira (1991) também notificou comportamento sempre-verde em *E. nitens*.

Munhoz & Felfili (2005), avaliando a fenologia do estrato herbáceo-subarbustivo de um campo sujo no Distrito Federal, encontraram correlação positiva entre precipitação e emissão de folhas novas tanto para o número de indivíduos quanto para as espécies estudadas, como por exemplo *Dalechampia caperonioides*, cuja brotação ocorreu apenas na estação chuvosa. As autoras observaram um pico anual de espécies emitindo folhas jovens no período chuvoso, entre Outubro e Dezembro, porém, aproximadamente 3.2% das espécies e 1.8% dos indivíduos produziram folhas novas no início ou no fim da estação seca, entre elas uma espécie de *Ruellia* (*R. brevicaulis* (Nees) Lindau).

Em relação à *Chresta sphaerocephala*, a produção observada em Maio e Junho pode ser devido às chuvas ocorridas em Maio, já que em ambos os locais estudados os indivíduos apresentaram folhas juvenis nestes meses e na ESECAE a atividade foi intensa. No entanto, estudos da fenologia

vegetativa da espécie, que pudessem confirmar, ou não, este comportamento não foram encontrados na literatura. Borchert (1999) observou que as mudanças foliares são progressivamente mais independentes da sazonalidade climática à medida que as plantas crescem em microambientes com maior suprimento de água no solo, que as protegeria contra o estresse hídrico sazonal. Os indivíduos de *C. sphaerocephala* monitorados em ambos os locais estavam localizados em campos limpos úmidos com murundus.

As espécies decíduas e brevidecíduas deste estudo permaneceram sem folhas por períodos diferentes de tempo, mas todas apresentaram brotação no mesmo período. A precipitação após um período de estresse hídrico é o principal fator indutor para o brotamento de muitas espécies, porém a variação no aumento de fotoperíodo e a elevação da temperatura podem também atuar como fatores indutores do brotamento de árvores tropicais, principalmente para espécies que iniciam seu brotamento na estação seca (Morellato 1991). De acordo com Reich & Borchert (1984), a queda das folhas seria outro fator indutor do brotamento, já que ela reduz dramaticamente a perda de água pela planta, reidratando os ramos e permitindo a produção de brotos ainda na estação seca, no entanto, nas espécies decíduas, que ficam algum tempo sem folhas, e nas brevidecíduas, que não substituem suas folhas logo após perdê-las, a precipitação permanece como principal responsável pela produção e crescimento foliar e de brotos (Morellato 1991).

Desse modo, *Emmotum nitens* é a única espécie que parece não sofrer interferência da sazonalidade, ou de mudanças no clima.

Por fim, verificou-se que a emissão de ramos foliares pôde ser observada antes, durante e/ou depois da floração. Espécies como *Anacardium humile*, *Brosimum gaudichaudii*, *Caryocar brasiliense*, *Calliandra dysantha*, *Chamaecrista conferta*, *Emmotum nitens*, *Ruellia incompta* e *Palicourea rigida* emitiram brotos antes e/ou depois dos eventos florais. Batalha *et al.* (1997) encontraram espécies lenhosas se comportando de forma parecida e definiu este padrão como uma estratégia para tornar as flores mais aparentes para os polinizadores. Segundo Morellato (1987), floração e brotamento nunca acontecerão juntos para a maioria das espécies arbóreas de regiões tropicais porque a formação de botões, a antese e produção de folhas novas exigem um grande gasto de energia, e flores e brotos competiriam por nutrientes e/ou fitormônios. Longman & Jenik (1974) também acreditam que a mudança foliar ligada à floração pode ser uma consequência da competição por nutrientes e/ou hormônios entre folhas e flores. Contudo, brotamento durante o período de floração foi verificado no presente estudo em espécies arbóreas como *Piptocarpha rotundifolia* e *Vochysia elliptica* e em herbáceas-subarbustivas como *Hyptis villosa*, *Jacaranda ulei* e *Periandra mediterranea*, e pode estar relacionado com a floração ocorrente na estação chuvosa dessas espécies, já que durante as chuvas há maior decomposição da serapilheira e mais nutrientes disponíveis para as

plantas (Morellato 1992), maior disponibilidade hídrica para a formação dos órgãos reprodutivos (Belo *et al.* 2013) e sistema radicular mais desenvolvido para captação de água, principalmente no caso das herbáceas que desenvolvem esse sistema no período seco (Batalha & Martins 2004).

5.2. Padrões reprodutivos

Plasticidade fenotípica e duração das fenofases

Variações no comportamento fenológico entre plantas de uma mesma população, como por exemplo, botões, flores e/ou frutos ocorrendo fora do período normal em um ou dois indivíduos apenas, foram detectadas e dificultaram a caracterização do comportamento de algumas espécies, como aquelas que apresentaram fenofases contínuas, por exemplo. Em florestas (sub)tropicais a fenologia é determinada por um conjunto de fatores endógenos e ambientais, como genética, tipo de solo, temperatura, precipitação, balanço hídrico, umidade relativa, fotoperíodo, e frequência de predadores, agentes polinizadores e dispersores, agindo isolados ou em combinação (Janzen 1967, Lieberman 1982), o que explica a frequente falta de sincronia entre indivíduos ou populações.

Do total das espécies monitoradas, 75% pertenciam a comunidades diferentes (PNB e ESECAE) e, destas, pouco mais de 30% (*Banisteriopsis campestris*, *Chamaecrista conferta*, *Chresta sphaerocephala*, *Periandra mediterranea*, *Piptocarpha rotundifolia*, *Protium ovatum* e *Ruellia incompta*) mostraram comportamento diferenciado entre os dois locais. Segundo Borchert (1998), mudanças na fenologia de espécies lenhosas tropicais podem ocorrer em resposta a distintas condições climáticas e edáficas microlocais. A fenologia de espécies de savanas neotropicais faz parte de estratégias adaptativas que maximizam a reprodução em ambientes sazonais. Dessa forma, as variações fenológicas observadas entre populações e entre indivíduos podem representar a plasticidade fenotípica das espécies frente às mudanças locais na disponibilidade de recursos (Sarmiento & Monasterio 1983). Assim, espécies com floração prolongada tendem a apresentar, muitas vezes, comportamento contínuo, com presença da fenofase em todos os meses do ano e picos formados pela atividade de poucos indivíduos, como observado neste estudo.

A diferença entre a duração da fenofase observada em determinado ano e lugar e o período total obtido dos registros de herbários (se forem representativos em termos de amplitude geográfica e temporal) indica a plasticidade fenotípica da espécie. Essa plasticidade tende a ser alta em espécies que apresentam média de duração da fenofase muito curta. No presente estudo espécies como *Echinolaena inflexa* (botão), *Caryocar brasiliense* (botão e flor), *Miconia albicans* (flor), *Piptocarpha rotundifolia* (flor), *Ruellia incompta* (flor), *Anacardium humile* (fruto), *Banisteriopsis campestris*

(fruto), *Diplusodon villosus* (fruto) e *Psidium firmum* (fruto) apresentaram fenofase com duração média de dois meses ou menos e registros no herbário de oito a doze meses. Segundo Gentry (1974), florações longas são mais comuns em ambientes asazonais, enquanto florações de curta duração caracterizam ambientes de maior sazonalidade.

Com exceção das espécies de floração contínua, *Emmotum nitens* foi a espécie que apresentou média de duração da floração mais longa (7.33 meses) e o terceiro menor valor de contingência na análise do PPI. Gouveia & Felfili (1998), estudando a fenologia de espécies arbóreas em um cerrado *sensu stricto* e uma mata de galeria no Distrito Federal, encontraram as fenofases melhor distribuídas ao longo do ano na mata, ao que atribuíram a maior disponibilidade hídrica no solo desta fitofisionomia, enquanto no cerrado *sensu stricto* os eventos fenológicos estavam mais relacionados ao período seco. Talvez a maior duração da floração de *E. nitens* esteja ligada à sua localização no cerradão, ambiente mais sombreado, com microclima menos sazonal e alta camada de serapilheira que ajuda a manter a umidade do solo. Além disso, a variação existente entre as determinantes dessa fitofisionomia deve também ser considerada.

De acordo com os dados coletados em campo, além de *Emmotum nitens*, que apresentou indivíduos floridos durante nove meses no período de estudo, *Brosimum gaudichaudii*, *Dalechampia caperonioides* e *Styrax ferrugineus* estiveram floridos por um período prolongado, que variou de oito a vinte meses consecutivos (duração do acompanhamento fenológico em campo). *Styrax ferrugineus*, única espécie com floração mais constante que contingente, apresentou flores abertas por 12 meses no primeiro ano de monitoramento e no ano seguinte essa duração caiu para sete meses. A competição por agentes polinizadores pode ser uma das causas da floração durante quase todo o ano (Morellato 1987) e também do deslocamento temporal do evento (Rathcke & Lacey 1985), que pode ter sido responsável pela formação de alguns pequenos picos de previsibilidade mostrados nos gráficos de herbário, assim como pela variação na amplitude da fenofase. Contudo, a alta sincronia na população, responsável pelo menor valor de contingência na floração, indica que os indivíduos respondem a algum estímulo da mesma maneira. Variações anuais do clima e flutuações nas populações de herbívoros são elementos que interferem na mudança do tempo de floração e consequente frutificação de algumas espécies (Primack 1980).

Analisando o comportamento individual dos indivíduos acompanhados em campo foi possível observar que a dissincronia na população permite que o evento permaneça por um período mais longo de tempo. Sarmiento & Monasterio (1983) explicam que a dissincronia fenológica entre indivíduos geram, com frequência, pequenos picos quando um número muito grande de plantas é analisado, como acontece com o estudo de registros de herbário, no entanto, ao acompanhar uma comunidade no campo esse tipo de comportamento dificilmente é identificado.

Dados de herbário são, enfim, excelentes demonstradores da plasticidade fenotípica de muitas espécies, visto que são a soma de registros de populações distintas localizadas em diferentes regiões e a análise desses dados nos permite, então, visualizar o comportamento geral da espécie.

Floração

Nove padrões de floração foram encontrados entre as espécies com a fenofase avaliada (vide Tabela 2.13). Diversos estudos relatam a alta diversidade de padrões fenológicos em vegetações tropicais, como o Cerrado e as Florestas úmidas (Morellato *et al.* 2000; Batalha & Martins 2004; Santos 2007; Staggemeier & Morellato 2011) e atribuem os numerosos padrões às diversidades florística e climática e à heterogeneidade ambiental destes locais.

Com exceção de *Dalechampia caperonioides* que apresentou a fenofase em todos os meses do estudo, metade das espécies monitoradas iniciou o período de floração no meio da estação chuvosa – das quais quatro permaneceram floridas durante a estação seca – e a outra metade teve início da floração na seca ou nos primeiros meses de chuva. Lenza & Klink (2006) em um estudo fenológico de 19 espécies arbóreas nativas encontraram maior concentração da floração no período seco e na transição entre o período seco e o chuvoso. Kutschenko (2009), que também estudou a fenologia de espécies arbóreas no Distrito Federal, encontrou botões florais e flores abertas o ano todo, com maior concentração no início das chuvas (Outubro e Novembro). O florescimento na seca apresenta vantagens como condições climáticas favoráveis e maior atividade dos polinizadores, já que não há chuvas pesadas que danifiquem as flores, a caducifolia, por sua vez, mais intensa nesse período, facilita a visualização das flores pelos polinizadores e a florivoria é reduzida (Janzen 1967). Por outro lado, o florescimento na estação chuvosa tem sido relatado para a maioria dos subarbustos e ervas de áreas tropicais sazonais (Rathcke & Lacey 1985), como ocorre nas fitofisionomias campestres do Cerrado (Barbosa 1997; Munhoz & Felfili 2005; Tannus *et al.* 2006; Dutra *et al.* 2009). Batalha & Martins (2004) encontraram espécies de hábito herbáceo florindo durante as chuvas em uma área de cerrado no Estado de Goiás e avaliaram que durante a seca estas plantas investem no desenvolvimento do seu sistema radicular. Segundo Belo *et al.* (2013), o florescimento sincrônico das espécies na estação chuvosa pode não só estar relacionado à maior disponibilidade hídrica para a formação dos órgãos reprodutivos, como também favorecer a polinização, por atrair mais polinizadores. Além disso, maiores temperaturas e índices pluviométricos, que acarretam aumento na decomposição da serrapilheira e nos teores de nutrientes disponíveis para as plantas (Morellato 1992) e a variação na irradiação servindo como um fator próximo para iniciar e sincronizar o

florescimento (Wright & van Schaik 1994) também são características favoráveis para o florescimento durante a estação chuvosa (Pedroni *et al.* 2002).

Quando consideradas apenas espécies de hábitos arbóreo e arbustivo, 59% delas iniciaram a floração no início ou meio da estação chuvosa, ao contrário do observado na maioria dos trabalhos realizados em áreas tropicais. Contudo, destas, 40% mantiveram-se floridas no período seco. Indivíduos de *Brosimum gaudichaudii* e *Styrax ferrugineus* apresentaram flores em toda a estação seca e *Vochysia elliptica* e *Protium ovatum* tiveram registros de floração se estendendo até Julho, quando os níveis de precipitação já estavam bastante baixos. Em uma área de cerrado em Brasília-DF, Oliveira (1991) observou em *Vochysia elliptica* o mesmo comportamento verificado no PNB e na ESECAE – floração iniciada nas chuvas, com duração de aproximadamente cinco meses e se estendendo até a estação seca – e encontrou espécies lenhosas florescendo por todo o ano, em contraste às herbáceas que possuem floração mais sazonal. *Styrax ferrugineus* foi observada no presente estudo com intensa floração por um período médio de cinco meses (considerando a atividade de indivíduos isolados), mesmo padrão registrado em Minas Gerais por Maruyama *et al.* (2012), que relacionaram esse tipo de comportamento à entomofilia generalista da espécie, e no Distrito Federal, onde Pinto (1999) registrou flores em *S. ferrugineus* no período chuvoso, com pico de floração no início da estação seca. Esses resultados indicam que *S. ferrugineus*, apesar de apresentar indivíduos – geralmente um ou dois na população estudada – florescendo na estação chuvosa, tem maior atividade no período seco, quando há mais vantagens para a polinização.

Quanto à *Brosimum gaudichaudii*, o mesmo comportamento floral observado no presente estudo – floração se estendendo do final da estação chuvosa até o início das próximas chuvas, com pico de atividade na transição da seca para a estação úmida – foi registrado em Mato Grosso (Faria *et al.* 2012), sugerindo que a espécie apresenta certa independência da estação chuvosa. Faria *et al.* (2012) constataram que os meses de maior atividade da fenofase foram os que apresentaram maiores valores de temperatura e concluíram que a floração da espécie está mais relacionada com o termoperíodo do que com a precipitação. Fato também observado nas comunidades aqui estudadas. Assim, *B. gaudichaudii* parece apresentar a estratégia de maximizar a polinização, florindo durante um longo período e mantendo suas flores antes do início das chuvas mais fortes, com aumento da produção nos meses mais quentes, quando os polinizadores encontram-se em alta atividade.

Dentre as herbáceas-subarbustivas, 40% floresceram na seca e apenas *Ruellia incompta* iniciou e terminou sua floração neste período. Munhoz & Felfili (2005) encontraram em uma área de campo sujo do Distrito Federal menos de 15% das espécies florescendo entre Junho e Agosto. Batalha *et al.* (1997), estudando uma comunidade de cerrado representada em sua maioria por espécies herbácea-subarbustivas, observaram maior quantidade de espécies floridas entre Outubro e Abril, atingindo

seu valor máximo em Março e mínimo em Julho. Mantovani & Martins (1988), em um cerrado de São Paulo, verificaram o mesmo padrão de comportamento.

Solanum subumbellatum iniciou a floração na estação seca, mas o pico de produção de flores ocorreu em Outubro, início das chuvas. A floração na seca foi restrita à atividade de um único indivíduo, responsável pela classificação da espécie como tardia. Estudando *S. lycocarpum* A. St.-Hil., Oliveira-Filho & Oliveira (1988) e Moura *et al.* (2010) encontraram correlação positiva entre floração e precipitação/umidade. Moura *et al.* (2010), apesar de registrarem floração mais intensa nos meses chuvosos, observaram presença de flores durante todo o ano. No presente estudo *S. subumbellatum* apresentou registros herborizados em meses cuja floração não foi verificada em campo e o mesmo foi constatado por Fornis-Martins *et al.* (1998) em um estudo com *S. paniculatum* L. no Estado de São Paulo. Isso indica que espécies de *Solanum* L., apesar da preferência em florescer no período chuvoso, podem apresentar indivíduos que florescem em meses mais secos, maximizando assim sua reprodução. De acordo com Primack (1980), a floração massiva tem como vantagem a atração de mais polinizadores, no entanto, a floração sequencial, em que ocorre produção pequena e constante de flores por um longo período de tempo, reduz o nível de geitonogamia e força a polinização cruzada.

No bioma Cerrado, ambiente de clima sazonal, a estação seca parece exercer uma pressão sobre a fenologia vegetativa em herbáceas, fazendo com que o florescimento deste grupo se concentre na estação chuvosa e ocorra simultaneamente ao crescimento vegetativo (Monasterio & Sarmiento 1976; Sarmiento 1992). Nas comunidades aqui estudadas *Echinolaena inflexa* floresceu apenas nos meses de maior pluviosidade, contudo, Ramos (2010), estudando a fenologia desta espécie no Distrito Federal, não encontrou relação com nenhuma variável climática e classificou-a como espécie não sazonal. Almeida (1995), também no DF, registrou a floração de *E. inflexa* iniciando em Novembro e Dezembro e classificou-a como gramínea precoce de ciclo longo, enquanto nas populações do PNB e da ESECAE o primeiro registro de flores da espécie ocorreu em Janeiro (floração atrasada) e apenas as espécies que iniciaram a floração em Outubro e início de Novembro foram classificadas como precoce. É necessário cautela ao comparar resultados obtidos em diferentes trabalhos devido às diferenças nos critérios de classificação utilizados por cada autor. De acordo com registros climáticos publicados pelo INMET, nos anos avaliados por Almeida (1995) – 1984 a 1987 – as chuvas tiveram início entre final de Agosto e início de Outubro, o que classificaria *E. inflexa* como espécie com floração atrasada – ocorrendo na estação chuvosa já iniciada há alguns meses.

Quanto às espécies arbóreas, apesar da maioria dos estudos fenológicos afirmarem que elas iniciam a floração na estação seca, espécies como *Caryocar brasiliense*, *Davilla elliptica*, *Emmotum nitens* e *Miconia albicans* apresentaram toda a sua floração no período chuvoso. Pedroni *et al.* (2002)

observaram, no sudeste do Brasil, a arbórea *Copaifera langsdorffi* Desf. florescendo nos meses de chuva.

Nas comunidades monitoradas neste estudo *Caryocar brasiliense* produziu botões em Maio e Junho – com pico no último mês – provavelmente ocasionada pelo veranico ocorrido no Distrito Federal alguns meses antes, porém, os botões formados nesse período secaram ou foram atacados por insetos e não sofreram antese. Apenas as flores desenvolvidas a partir dos botões produzidos no período normal de floração foram polinizadas e deram frutos. Vilela *et al.* (2008) presenciaram, em uma área de Cerrado no sul de Minas Gerais, a mesma situação: formação de botões florais entre os meses de Fevereiro e Abril de 1996, quando houve um curto período de déficit hídrico (veranico) na região, e quantidade de flores desenvolvidas a partir da florada extemporânea muito menor que a ocorrida no período normal de floração, sem formação de frutos. Primack (1980) afirma que plantas que florescem fora do período ótimo da espécie têm capacidade reprodutiva reduzida.

A floração de *C. brasiliense* em Setembro e Outubro ocorreu, em cada indivíduo, poucas semanas depois da emissão dos botões nas comunidades estudadas (PNB e ESECAE). De acordo com diversos estudos fenológicos da espécie, a floração é curta no início da estação chuvosa (floração de primavera), e a emissão de botões ocorre, geralmente, um mês antes. Ocasionalmente, pode haver floração no meio da estação chuvosa, provocada por um período de estiagem (Vilela *et al.* 2008) e elevada insolação (Gribel 1986). No estudo de Vilela *et al.* (2008) os autores não encontraram correlação positiva significativa entre as fenofases de floração e a insolação, mas a correlação entre o número de flores abertas e a precipitação foi positiva.

O cálculo do índice de *C. brasiliense* mostrou elevada contingência da fenofase, podendo ocorrer floração em qualquer mês do ano. Esse comportamento “infidel” e pouco previsível da espécie parece estar altamente relacionado às mudanças ambientais e sugere que a emergência de botões é induzida pelo estresse hídrico, mas por outro lado, a abertura das flores é dependente da combinação precipitação x insolação/fotoperíodo. Gribel (1986) percebeu, no Distrito Federal, que houve uma tendência geral do horário da antese tornar-se mais tardio quando os dias foram consecutivamente nublados. A indução da fenofase pelo aumento do fotoperíodo está relacionada com a atividade fotossintética mais elevada nos períodos de maior intensidade de luz (Wright & van Schaik 1994).

Miconia albicans floresceu entre Setembro e Outubro nos três anos de estudo, com duração média de quase dois meses e PPI total representado quase totalmente pela alta contingência. A ocorrência da floração durante as chuvas, assim como a flexibilidade do evento, parece ser característica do gênero, já que Dias & Oliveira-Filho (1996), em uma Floresta Estacional Semidecídua de Minas Gerais, registraram pico do evento em *M. pepericarpa* DC. na estação chuvosa, além de

verificarem na espécie variação na duração da fenofase entre os anos amostrados. No estado do Pará, Peçanha Júnior (2005), estudando a fenologia de *M. ciliata* (Rich.) DC., registrou presença de flores em todos os meses do ano, porém com maior intensidade no meio da estação chuvosa. Por fim, Souza (2009) observou em área de Cerrado no estado de São Paulo que *M. albicans* floresce no período úmido, com pico em Setembro e duração curta, assim como constatado neste estudo. Desse modo é possível perceber que *M. albicans* concentra sua floração no início da estação chuvosa e no Distrito Federal, de acordo com o Índice de Previsibilidade Fenológica, a espécie tem maior chance de florir entre Agosto e Setembro e floração menos previsível nos outros meses, principalmente no meio do período chuvoso, quando outras espécies do gênero encontram-se floridas.

O florescimento de *Emmotum nitens* durante as chuvas também foi observado em outros estudos de fenologia da espécie (Moreira 1987; Oliveira 1991; Kutschenko 2009; Alves & Silva 2013). Na ESECAE a floração registrada apenas em 2012 reflete a característica bianual da espécie que tende a apresentar floração e frutificação com intensidades que se revezam, ou seja, cada ano um evento ocorre mais intensamente (Moreira 1987; Oliveira 1991). Esse padrão observado é classificado como tipo *mast-years*, quando há pico de produção em um ano e produção pequena e irregular no ano seguinte (Moreira 1987), e auxilia na proteção dos botões e flores contra possível florivoria, já que a estação chuvosa é a fase de maior atividade dos potenciais predadores (Janzen 1967). Segundo Moreira (1987), a floração de *E. nitens* está provavelmente mais associada à disponibilidade de polinizadores do que aos estímulos ambientais, como fotoperíodo, chuvas e mudanças na temperatura. No entanto, a espécie parece ser fiel quanto ao período de floração, já que nos estudos fenológicos realizados no Distrito Federal, já citados, ela foi registrada com flores em toda a estação chuvosa, exatamente como ocorrido no presente estudo e previsto pelo PPI.

Além de *Emmotum nitens*, a espécie arbustiva *Banisteriopsis campestris* também apresentou comportamento supra-anual (bianual): os indivíduos monitorados no Parque Nacional floresceram apenas no primeiro ano do estudo (2012), enquanto os presentes na ESECAE emitiram flores somente no ano seguinte. De acordo com Pirani *et al.* (2009), as espécies que não florescem em algum ano do período de acompanhamento, e que encontram-se em idade reprodutiva, sugerem padrões supra-anuais de floração. Diversos estudos fenológicos de comunidades vegetais, em diferentes localidades, já registraram esse comportamento (Mantovani & Martins 1988; Morellato *et al.* 1989; Pedroni *et al.* 2002; Costa *et al.* 2004). Para Newstrom *et al.* (1994), a maioria das espécies tropicais não apresenta, de fato, padrões anuais de floração. Existe muita variação interanual na quantidade de flores produzidas de forma que, muitas vezes, a produção de flores no ano é tão pequena que, na prática, aquela espécie que floresceu discretamente não contribui de maneira efetiva com recursos para a comunidade. Pirani *et al.* (2009), em um estudo de fenologia no cerrado

sensu stricto de Mato Grosso, constatou comportamento supra-anual em algumas espécies, entre elas *Davilla elliptica*, que produziu muitas flores em apenas um dos dois anos de observação.

A população de *Davilla elliptica* estudada no IBGE floresceu nos três anos de acompanhamento em campo, do meio para o final da estação chuvosa. Outros estudos fenológicos da espécie (Oliveira 1991; Kutschenko 2009; Santos & Ferreira 2012) também registraram floração anual, contudo, no Tocantins, Santos & Ferreira (2012) observaram *D. elliptica* florescendo durante os meses de maior estresse hídrico, ao passo que no Distrito Federal a floração geralmente ocorre nos meses que antecedem diretamente o período seco, como mostrou o gráfico de previsão do PPI. Esse comportamento diferenciado da espécie em relação ao período de floração sugere que outros fatores, além dos níveis de precipitação, interferem na sua fenologia como, por exemplo, a temperatura mais elevada e menos variável e a seca atmosférica menos crítica no Tocantins quando comparada ao Distrito Federal.

Outra espécie de porte arbustivo-arbóreo que floresce no período chuvoso é *Palicourea rigida*, no entanto, a espécie tem duas florações por ano e a de menor intensidade ocorre nos meses de maior seca. Silva (1995) descreve a floração de *P. rigida* como “floração extensiva”, com produção diária de flores relativamente pequena (ca. 5 flores por inflorescência) e extensa (ca. 60 dias). A autora relaciona os eventos fenológicos da espécie com o regime de chuvas e alterações climáticas associadas, já que os períodos de intensa floração só começam aproximadamente um mês após o início das chuvas, como observado na ESECAE e no PNB. O principal período reprodutivo ocorrendo durante a estação chuvosa e a floração esparsa na estação seca também foram verificados no estudo de Silva (1995), sendo atribuídos a uma provável estratégia da espécie para manutenção de polinizadores e dispersores durante a maior parte do ano. Essa estratégia e a relação positiva com a precipitação justificam a alta plasticidade das três fenofases estudadas e explicam a presença delas em todos os meses do ano.

Byrsonima verbascifolia mostrou comportamento parecido com o de *P. rigida*, com alguns indivíduos florescendo durante a seca e maior atividade da fenofase no início da estação chuvosa, ao contrário do observado por Barros (1992) em um estudo com espécies simpátricas de *Byrsonima* Rich. ex Kunth. O índice previu floração em quase todo o ano, maior atividade durante as chuvas e pequeno pico de previsibilidade na estação seca, mostrando a chance de ocorrência da fenofase nesse período. A atividade dos poucos indivíduos no decorrer da estação seca gerou picos que foram responsáveis pela classificação da espécie como bimodal, porém Barros (1992) e Mendes *et al.* (2011) verificaram floração unimodal nesta e em outras espécies do gênero. Por outro lado, a floração extensiva foi confirmada e Mendes *et al.* (2011) afirmam que uma grande e contínua oferta de flores em plantas melitófilas funciona como importante fator para a manutenção e sobrevivência de

populações de abelhas coletoras de óleo, cujos imaturos dependem fundamentalmente deste recurso para completar seu ciclo de vida.

Frutificação

A produção de frutos nas três comunidades estudadas foi contínua ao longo do ano, com a maior parte das espécies apresentando pico de frutificação no início da estação chuvosa – Outubro e Novembro. Munhoz (2003), em uma comunidade de campo sujo e outra de campo limpo no Distrito Federal, observou que a maior produção de frutos ocorreu no período chuvoso e a maioria das espécies amadureceu seus diásporos do meio para o final da estação chuvosa. Contudo, muitas espécies mantiveram seus frutos por toda a estação seca e algumas ainda apresentavam frutos novos no final de Junho, ao que a autora concluiu que a falta de chuvas pode ser um fator limitante nesses ambientes somente no auge da seca, quando a umidade do solo cai a níveis críticos para as plantas. Em florestas tropicais, apesar de serem encontradas espécies florescendo e frutificando durante todo o ano, há diferença no número de espécies produzindo flores e frutos nos diferentes meses e estações (Lieberman 1982).

Em relação à síndrome de dispersão, foi observado no presente estudo que mais da metade das espécies analisadas apresenta dispersão zoocórica. Para Janzen (1967), a maior população de árvores em florestas tropicais está adaptada à zoocoria. Do total destas espécies, 75% iniciaram a frutificação no período chuvoso e 25% apresentaram frutos na transição de uma estação para outra. Dentre as espécies cujos propágulos são dispersos principalmente pelo vento (*Banisteriopsis campestris*, *Jacaranda ulei*, *Piptocarpha rotundifolia* e *Vochysia elliptica*), apenas *B. campestris* teve a fenofase restrita à estação chuvosa, as demais, apesar de iniciarem a frutificação durante as chuvas, apresentaram maior atividade do evento na estação seca. Batalha *et al.* (1997) em um cerrado de São Paulo observaram comportamento semelhante: espécies anemocóricas do estrato arbustivo-arbóreo frutificando na seca e espécies zoocóricas produzindo frutos no início das chuvas. Talora & Morellato (2000) e Morellato (1987) constataram que a frutificação tem pouca relação com a época do ano, sendo o evento menos sazonal e mais dependente da disponibilidade de dispersores, principalmente no caso das espécies com síndrome de dispersão zoocórica. Segundo Janzen (1975), os padrões de frutificação de espécies zoocóricas, por dependerem de animais para a disseminação de seus diásporos, estão sob forte pressão seletiva dos seus dispersores, ou seja, entre estas espécies a competição intra e interespecífica por agentes dispersores é mais acentuada e a frutificação é menos sincronizada com as condições abióticas.

Foi verificado que mais de 90% das espécies zoocóricas com frutos carnosos amadureceram seus frutos na estação chuvosa, enquanto a única espécie zoocórica que tem frutos secos (*Davilla elliptica*) apresentou maturação na transição entre os períodos seco e úmido. Morellato & Leitão-Filho (1992) verificaram também espécies com frutos secos zoocóricos apresentando maturação na seca. Na estação chuvosa, as árvores maximizam o ganho de carbono por estarem com as copas plenamente desenvolvidas, o que influencia o abundante florescimento e a alta produtividade de frutos. Na estação seca, as plantas perdem folhas aliviando o déficit hídrico e abrem os frutos secos quando a umidade do ar é favorável à deiscência (Pedroni *et al.* 2002). Já para espécies com frutos carnosos a frutificação e dispersão no período chuvoso são favorecidas por manterem os frutos mais atrativos aos dispersores por períodos mais longos, propiciando maior sucesso na dispersão (Batalha & Mantovani 2000; Batalha & Martins 2004).

Em uma floresta semidecídua em Campinas-SP, Morellato (1991) observou que as espécies que possuem frutos ornitocóricos frutificam de forma sequencial ao longo do ano, nas comunidades aqui estudadas as espécies de síndrome ornitocórica frutificaram sequencialmente também, com início em Setembro e término em Abril. Estas observações, apesar de terem sido feitas em tipos vegetacionais diferentes, concordam com a hipótese de que espécies que utilizam o mesmo grupo de dispersores teriam vantagens no deslocamento dos períodos de frutificação para minimizar a competição por dispersores (Pedroni *et al.* 2002). Já as espécies autocóricas dependem basicamente da gravidade, sem relação abiótica ou biótica, e muitas vezes podem ter dispersão zoocórica relacionada, como é o caso de *Emmotum nitens* e *Stryphnodendron adstringens*.

Apesar de *E. nitens* apresentar características de quiropterocoria, na área de estudo grande quantidade de frutos foram observadas sob a copa das árvores, mostrando alta atuação de síndrome barocórica. Moreira (1987) constatou este mesmo comportamento em um cerradão no Distrito Federal. Segundo a autora, essa estratégia não parece muito eficiente, já que há um desperdício de propágulos, por outro lado, os frutos no chão podem ser deslocados pela chuva ou animais para ambientes mais favoráveis à sua germinação e estabelecimento. A frutificação de *E. nitens* foi registrada no cerradão da ESECAE por 17 meses consecutivos e muitos frutos caídos no chão foram predados. Para evitar essa perda, algumas espécies utilizam de estratégias de defesa, como a reprodução do tipo *mast-years*. A lenhosidade do endocarpo, capaz de proteger as sementes contra insetos e fogo, e a presença de lóculos vazios em muitos frutos que funcionam como um fator de incerteza na localização das sementes, além da frutificação massiva e escape temporal (*mast-years*), são algumas estratégias utilizadas na defesa contra a predação (Moreira 1987). A existência de anos de frutificação intensa tende a promover a saciação dos predadores com o aumento dos recursos disponíveis (Janzen 1971). De fato, *E. nitens* se comportou como uma espécie que faz uso dessa

estratégia, já que floresceu apenas no primeiro ano de acompanhamento e frutificou de forma irregular, com variações na intensidade e mantendo seus frutos por quase todo o período de estudo em diferentes níveis de maturação.

Stryphnodendron adstringens foi registrada com frutos, no IBGE, por 13 meses consecutivos e apresentou uma das maiores médias de duração dessa fenofase (nove meses). Segundo Newstrom *et al.* (1994), os padrões fenológicos podem variar de contínuos – com apenas breves intervalos entre os ciclos – até muito infrequentes – com um ciclo ocorrendo no mínimo a cada dois anos – sendo na maioria das vezes irregulares e de difícil reconhecimento, principalmente a curto prazo (Bencke & Morellato 2002). Assim, é necessário que os acompanhamentos fenológicos tenham longo prazo para que esses padrões supra-anuais possam ser identificados.

O monitoramento de *S. adstringens* por três anos em campo foi suficiente para a identificação do comportamento supra-anual da espécie, que frutificou em anos alternados, apesar de ter florescido em todo o período de estudo. Dias & Oliveira-Filho (1996) observaram lapso na floração e frutificação de duas espécies arbóreas (*Copaifera langsdorffii* Desf. e *Amaioua guianensis* Aubl.) durante o período de acompanhamento, sugerindo certa tendência em apresentarem padrão trienal de reprodução. Tais espécies seriam, portanto, segundo os autores, típicas supra-anuais. Schulz (1960, *apud* Dias & Oliveira-Filho 1996) observou nas florestas tropicais do Suriname que a frutificação bienal é uma característica da maioria das árvores de Lecythidaceae, Burseraceae e Leguminosae.

Felfili *et al.* (1999), estudando *S. adstringens* no Distrito Federal, perceberam que em duas das cinco florações acompanhadas não houve formação de frutos e na última estação a frutificação foi restrita à metade dos indivíduos. Nas duas primeiras estações fenológicas, quando a espécie frutificou normalmente, foram observados frutos de Janeiro a Novembro. No IBGE, a atividade registrada foi baixa, com 27% dos indivíduos monitorados frutificando no primeiro ano de acompanhamento e 18% no terceiro ano, sendo que em ambos a fenofase se estendeu de Setembro a Setembro. O ciclo reprodutivo das plantas pode ser afetado pela quantidade de nutrientes disponíveis no solo e, muitas vezes, quando a deficiência de recursos torna-se acentuada em função de frutificações anteriores, um padrão supra-anual de frutificação pode ocorrer (Pedroni *et al.* 2002). Além disso, a ausência de polinização também é um fator capaz de ocasionar a falta de frutos.

O comportamento bienal de reprodução de algumas espécies, como *Emmotum nitens* e *Stryphnodendron adstringens*, deve estar relacionado com uma menor velocidade no acúmulo de reservas nutricionais ou como forma de evitar uma superprodução de plântulas ao redor da planta mãe, o que resultaria no aumento da competição por nutrientes e água ou ainda um aumento na quantidade de predadores de sementes e outras pragas (Dias & Oliveira-Filho 1996).

Diplusodon villosus, que apresentou baixa atividade reprodutiva durante o período de estudo, parece também fazer uso da estratégia *mast-years* e a hipótese de que seja uma espécie com comportamento supra-anual é reforçada pelo estudo de Barros (1996), que acompanhou sua fenologia em campo por dois anos consecutivos no Distrito Federal e registrou floração apenas no segundo ano de estudo.

Dentre as espécies autocóricas, três (*Calliandra dysantha*, *Chamaecrista conferta* e *S. adstringens*) iniciaram a produção de frutos na estação seca, o restante (57%) iniciou a fenofase no período chuvoso, diferente do publicado por Batalha *et al.* (1997) que observaram todas as espécies autocóricas frutificando na seca.

Segundo Janzen (1967), a baixa umidade relativa do ar durante a estação seca seria importante no processo de dessecação que acompanha a maturação dos diásporos de leguminosas e bignoniáceas. As leguminosas amostradas neste estudo (*Stryphnodendron adstringens*, *Periandra mediterranea*, *Chamaecrista conferta* e *Calliandra dysantha*) iniciaram o processo de maturação dos frutos na estação seca e, com exceção de *S. adstringens*, os últimos propágulos foram dispersos no início das chuvas, já *Jacaranda ulei*, a única bignoniácea do estudo, teve todas suas sementes dispersas até Julho e início de um novo ciclo de frutificação no começo do período chuvoso (Outubro), restrito apenas aos indivíduos do PNB e que não foi observado por completo. Lins & Nascimento (2010), estudando a bignoniácea *Paratecoma peroba* (Record & Mell) Kuhl. no Rio de Janeiro, verificaram que os frutos da espécie foram produzidos na estação chuvosa, amadureceram na transição entre as chuvas e a seca, e dispersaram suas sementes no final da seca e início do período chuvoso seguinte. Guilherme *et al.* (2011) constataram em Goiás o mesmo comportamento da fenofase em outra espécie da mesma família – *Cybistax antisiphilitica* (Mart.) Mart.: maturação dos frutos ocorrendo nos meses chuvosos e estendendo-se até a estação seca. As duas pesquisas observaram ainda diferença na intensidade das fenofases de um ano para outro, o que também foi constatado no presente estudo para as três fenofases reprodutivas analisadas de *Jacaranda ulei*, sugerindo ser um comportamento fenológico comum da família Bignoniaceae, mesmo que ocorra em locais diferentes.

Ao contrário das leguminosas, a gramínea *Echinolaena inflexa* iniciou a produção de frutos na estação chuvosa e terminou de ter seus diásporos dispersos na seca nos dois anos de monitoramento. Ramos (2010) registrou, em Brasília-DF, pico de produção e dispersão da espécie no meio e fim da estação chuvosa, respectivamente. De acordo com Veenendaal *et al.* (1996), espécies anuais e perenes com estolões curtos têm a produção de frutos concentrada no início da estação chuvosa, enquanto as perenes com longos estolões e as perenes cespitosas, como *E. inflexa*, concentram sua frutificação no fim da estação chuvosa. Ramos (2010) afirma que *E. inflexa* é uma

espécie não sazonal, ou seja, seu longo e assíncrono período reprodutivo não se restringe à sazonalidade.

Por fim, a autocórica *Dalechampia caperonioides* apresentou frutos o ano todo com intensidade que variou muito pouco entre as estações, já que o número de indivíduos que frutificou foi pequeno, enquanto *Diplusodon villosus* foi registrada com fruto em apenas um mês. A pouca informação da última espécie obtida em campo – grande parte dos indivíduos que emitiram botão floral não floresceu e, por consequência, não frutificou – fez com que poucas conclusões pudessem ser tiradas, tornando necessário novo acompanhamento em campo para confirmar a previsão do índice que não pôde ser confirmada neste estudo.

As durações médias da fenofase variaram de um mês (*Diplusodon villosus*) à frutificação prolongada ou contínua (*Dalechampia caperonioides*, *Emmotum nitens*, *Stryphnodendron adstringens* e *Styrax ferrugineus*), sugerindo que não há relação entre a duração da fenofase e o tipo de dispersão, no entanto, o período de frutificação está diretamente relacionado às condições que influenciam o sucesso da dispersão e estabelecimento (Rathcke & Lacey 1985; Morellato *et al.* 2000; Pedroni *et al.* 2002; Belo *et al.* 2013). Se a espécie apresenta seus frutos maduros por um maior período de tempo a dispersão dos diásporos tende a ser mais bem sucedida. No presente estudo isto ocorreu em espécies com diferentes síndromes de dispersão. Alta taxa de espécies com frutos maduros ao longo do ano também foi observada por Munhoz & Felfili (2005). Segundo Smythe (1970), é importante, em ambientes sazonais, manter constante a disponibilidade de frutos para as populações sedentárias de animais dispersores. De acordo com Janzen (1967), algumas arbóreas podem amadurecer simultaneamente todos os frutos de um determinado indivíduo, ou o amadurecimento pode ocorrer durante um período longo de tempo, numa taxa de poucos frutos por dia. A primeira estratégia tem dispersores pouco especializados, enquanto o segundo tipo tende a manter dispersores mais especializados.

A flexibilidade dos indivíduos na fenofase (contingência) foi bem alta para espécies como *Anacardium humile*, *Ouratea hexasperma* e *Calliandra dysantha*. De acordo com Pedroni *et al.* (2002), a irregularidade, seja individual ou populacional, da frutificação pode representar uma estratégia para evitar a ação de predadores e garantir a dispersão das sementes. É possível encontrar espécies frutificando logo após a floração, na mesma estação ou paralelamente à floração seguinte, a frutificação pode ainda ocorrer em períodos mais ou menos longos. *Palicourea rigida*, por exemplo, apresentou frutificação mais curta no segundo ano de acompanhamento do que no primeiro e grande variação no período de ocorrência do evento, quando comparados os registros obtidos neste estudo com os demais apresentados no gráfico da espécie.

Anacardium humile, apesar de contingente, teve apenas oito dos 24 indivíduos amostrados com atividade reprodutiva durante o período de estudo, dos quais somente três chegaram à produção de frutos. A razão de tão baixa atividade pode ser o local sombreado em que a maioria dos indivíduos se encontrava, o que é um fator limitante para o desenvolvimento da espécie que é heliófila e depende da queimada para florescer (Almeida *et al.* 1998) – o que também não ocorreu nos locais de presença da espécie. Segundo Almeida *et al.* (1998), além desses fatores limitantes, a espécie apresenta ainda baixa capacidade de produção de frutos e sementes que ocorre devido à alta proporção (1:4) entre flores monóclinas – cujo ovário súpero abriga um único óvulo lateral – e flores estaminadas – onde apenas um estame é fértil. Limitações na polinização, como a tendência dos grãos de pólen de se manterem aderentes à antera mesmo depois da deiscência, e a incapacidade de algumas flores monóclinas se transformarem em fruto, apesar do grande número de flores por inflorescência, são características que também dificultam a formação de frutos na espécie (Carvalho *et al.* 2005).

Quanto à época de frutificação, dentre as espécies aqui estudadas, *Jacaranda ulei*, *Periandra mediterranea*, *Piptocarpha rotundifolia* e *Vochysia elliptica* foram as que apresentaram frutificação tardia em 2013 quando comparadas ao ano anterior, devido ao atraso no início da floração no último ano. Morellato (1987) constatou que as espécies foram fiéis quanto ao período de produção de frutos de um ano para outro, com maiores variações entre as durações do que entre a época de ocorrência da fenofase. Em relação à duração da fenofase não é possível fazer qualquer inferência, já que o acompanhamento em campo encerrou no meio do ano de 2013 e a segunda estação fenológica não foi monitorada por completo.

6. CONCLUSÕES

Para espécies com assincronia populacional o cálculo do PPI pode resultar na superestimação da constância – e, nesse caso, o valor de contingência será negativo – ou no valor elevado de contingência, que nada mais é que o reflexo da flexibilidade do evento causada pelo comportamento distinto de cada indivíduo.

Assim, o PPI tende a ser bem sucedido em prever a presença do evento, bem como seu mês-pico, em dois casos: (1) quando o número de registros é elevado e (2) quando o índice é naturalmente alto, ou seja, quando a fenofase é concentrada (ocorre em poucos meses do ano). Contudo, ainda que o índice não preveja exatamente qual o mês de atividade máxima de uma fenofase para determinada espécie, ele aponta, corretamente, o período em que tal evento pode ser encontrado em campo, em maior e/ou menor intensidade.

Devem-se levar em conta as mudanças ambientais que ocorrem todo ano, no que diz respeito principalmente ao clima, que influenciam a atividade dos agentes polinizadores e dispersores, e que interferem na fenologia das espécies, induzindo certa plasticidade fenotípica (ou flexibilidade fenológica) em algumas espécies. Por esse motivo nem sempre o índice de previsibilidade consegue prever o mês-pico com exatidão. Algumas espécies, inclusive, são mais sensíveis que outras a estas mudanças temporais-climáticas.

É difundido na literatura que em ambientes tropicais as espécies arbóreas têm preferência em florescer na estação seca, assim como as herbáceas tendem a florir na chuva, contudo, neste estudo foi verificado que mais da metade das espécies de hábito arbustivo-arbóreo monitoradas iniciou a floração no meio ou no início da estação chuvosa, e 40% das espécies de hábito herbáceo-subarbustivo, quantidade maior que o encontrado em outros trabalhos, floresceram na seca. Da mesma forma, muitos estudos afirmam que espécies anemocóricas dispersam seus propágulos no período de maior estresse hídrico, quando os ventos são mais favoráveis para este fim, mas nas áreas estudadas espécies anemocóricas foram registradas iniciando sua dispersão durante as chuvas e uma delas (*Banisteriopsis campestris*) teve todas as fases da frutificação – da maturação à dispersão – ocorrendo no período chuvoso. O que concluímos é que comportamentos diferenciados podem ocorrer no Cerrado e acredita-se que resultados diferentes tendem a ser obtidos principalmente se as análises forem feitas em fitofisionomias heterogêneas, como ocorrido no presente estudo, e não apenas em uma única fisionomia, como geralmente ocorre.

Assim, neste trabalho pudemos obter o resultado comportamental mais amplo e geral de plantas comuns da região central do Cerrado, definir conjuntos de espécies com características fenológicas bastante parecidas e provar que o uso de espécimes coletados em um grande período de tempo – como aqueles depositados em herbários – são úteis no estudo da fenologia vegetal, quando tem-se como objetivo definir comportamentos e padrões de espécies da flora.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahas, R. & Aasa, A. 2006. The effects of climate change on the phenology of selected Estonian plant, bird and fish populations. **International Journal of Biometereology** **51**: 17-26.
- Almeida, S.P. 1995. Grupos fenológicos da comunidade de gramíneas perenes de um campo cerrado no Distrito Federal, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** **30** (8): 1067-1073.
- Almeida, S.P.; Proença, C.E.B.; Sano, S.M. & Ribeiro, J.F. 1998. **Cerrado: espécies vegetais úteis**. EMBRAPA/CPAC, Planaltina-DF. 464 p.

- Almeida, R.F.; Fagg, C.W.; Oliveira, M.C.; Munhoz, C.B.R.; Lima, A.S. & Oliveira, L.S.B. 2014. Mudanças florísticas e estruturais no cerrado *sensu stricto* ao longo de 27 anos (1985-2012) na Fazenda Água Limpa, Brasília, DF. **Rodriguésia** **65**(1): 1-19.
- Alves, M.V.P. & Silva, J.C.S. 2013. Fenologia de *Emmotum nitens* (Benth.) Miers (Icacinaeae) na Reserva Ecológica Cerradão – Embrapa Cerrados, Planaltina – DF. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável** **8**(1): 125-131.
- Amaral, A.G.; Munhoz, C.B.R.; Eugênio, C.U.O. & Felfili, J.M. 2013. Vascular flora in dry-shrub and wet grassland Cerrado seven years after a fire, Federal District, Brazil. **Check List** **9**(3): 487–503.
- Antunes, N.B. & Ribeiro, J.F. 1999. Aspectos fenológicos de seis espécies vegetais em matas de galeria do Distrito Federal, Brasília. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** **34**(9): 1517-1527.
- Appezato-da-Glória, B.; Curry, G.; Soares, M.K.M.; Rocha, R. & Hayashi, A.H. 2008. Underground systems of Asteraceae species from the Brazilian Cerrado. **Journal of the Torrey Botanical Society** **135**(1): 103-113.
- Araújo, R.R. 2009. Fenologia e morfologia de plantas e biometria de frutos e sementes de muricizeiro (*Byrsonima verbascifolia* (L.) Rich.) do tabuleiro costeiro de Alagoas. **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró-RN.
- Assunção, W.L. 2013. Metodologia para a definição da duração das estações seca e chuvosa na região dos cerrados do Brasil Central – primeira aproximação. **XIV Encuentro de Geógrafos da América Latina - Reencuentro de Saberes Territoriais Latinoamericanos**.
- Assunção, S.L. & Felfili, J.M. 2004. Fitossociologia de um fragmento de cerrado *sensu stricto* na APA do Paranoá, DF, Brasil. **Acta Botanica Brasilica** **18**(4): 903-909.
- Barbosa, A.A.A. 1997. Biologia reprodutiva de uma comunidade de campo sujo, Uberlândia/MG. **Tese de Doutorado**. Departamento de Ecologia, Universidade Estadual de Campinas. Campinas-SP.
- Barros, M.A.G. 1992. Fenologia da floração, estratégias reprodutivas e polinização de espécies simpátricas do gênero *Byrsonima* RICH (Malpighiaceae). **Revista Brasileira de Biologia** **52**: 343-353.
- Barros, M.A.G. 1996. Biologia reprodutiva e polinização de espécies simpátricas de *Diplusodon* (Lythraceae). **Acta Botánica Mexicana** **37**: 11 - 21.
- Barros, M.A.G. & Caldas, L.S. 1980. Acompanhamento de eventos fenológicos apresentados por cinco gêneros nativos do cerrado (Brasília-DF). **Brasil Florestal** **42**: 7-15.
- Batalha, M.A.P.L. 2001. Florística, espectro biológico e padrões fenológicos do cerrado *sensu stricto* no Parque Nacional das Emas (GO) e o componente herbáceo-subarbustivo da flora do cerrado *sensu lato*. **Tese de Doutorado**. Departamento de Ecologia, Universidade Estadual de Campinas. Campinas - SP.
- Batalha, M.A. & Mantovani, W. 2000. Reproductive phenological patterns of cerrado plant species at the Pé-de-Gigante Reserve (Santa Rita do Passa Quatro, SP, Brazil): a comparison between the herbaceous and woody floras. **Revista Brasileira de Biologia** **60**(1): 129-145.

- 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.
- 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.
- Belo, R.M.; Negreiros, D.; Fernandes, G.W.; Silveira, F.A.O.; Ranieri, B.D. & Morellato, P.C. 2013. Fenologia reprodutiva e vegetativa de arbustos endêmicos de campo rupestre na Serra do Cipó, Sudeste do Brasil. **Rodriguésia** **64**(4): 817-828.
- Bencke, C.S.C & Morellato, L.P.C. 2002. Estudo comparativo da fenologia de nove espécies arbóreas em três tipos de floresta atlântica no sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica** **25**(2): 237-248.
- Bezerra, E.L.S. & Machado, I.C. 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.
- Borchert, R. 1994. Soil and stem water storage determine phenology and distribution of tropical dry forest trees. **Ecology** **75**(5): 1437-1449.
- _____. 1996. Phenology and flowering periodicity of neotropical dry forest species: evidence from herbarium collections. **Journal of Tropical Ecology** **12**: 65-80.
- _____. 1998. Responses of tropical trees to rainfall seasonality and its long-term changes. **Climate Change** **39**:381-393.
- _____. 1999. Climate periodicity, phenology and cambium activity in tropical dry forest trees. **Iawa Journal** **20**:239-247.
- Borchert R., Rivera, G. & Hagnauer, W. 2002. Modification of vegetative phenology in a tropical semideciduous forest by abnormal drought and rain. **Biotropica** **34**(1): 27-39.
- Bucci, F.F.B. 1997. Floração de algumas espécies de Melastomataceae do Distrito Federal: uso de dados de herbário para obter padrões sazonais. **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília. Brasília, DF.
- Bulhão, C.F. & Figueiredo, P.S. 2002. Fenologia de leguminosas arbóreas em uma área de cerrado marginal no nordeste do Maranhão. **Revista Brasileira de Botânica** **25**(3): 361-369.
- Carvalho, M.P.; Santana, D.G. & Ranal, M.A. 2005. Emergência de plântulas de *Anacardium humile* A. St.-Hil. (Anacardiaceae) avaliada por meio de amostras pequenas. **Revista Brasileira de Botânica** **28**(3): 627-633.
- Carvalho, R.D. 2008. Meio Físico: Localização da Unidade. Pp: 95-100. In: F.O. Fonseca (org.). **Águas Emendadas**. SEDUMA-DF.
- Cavalcanti, T.B. 2007. Diversidade e distribuição em *Diplusodon* Pohl (Lythraceae). **Fontqueria** **55**(49): 397-404 [seorsim 1-8].
- Cleland, E.E.; Chuine, I.; Menzel, A.; Mooney, H.A. & Schwartz, M.D. 2007. Shifting plant phenology in response to global change. **Trends in Ecology and Evolution** **22**: 357-365.

- Colwell, R.K. 1974. Predictability, constancy and contingency of periodic phenomena. *Ecology* 55(5): 1148-1153.
- Costa, A.C.G. & Machado, I.C. 2008. Biologia floral e sistema de polinização de *Rhynchospora ciliata* (Vahl) Kükenth (Cyperaceae): anemofilia ou entomofilia? **XVI Congresso de Iniciação Científica da UFPE**.
- Costa, I.R.; Araújo, F.S. & Lima-Verde, L.W. 2004. Flora e aspectos auto-ecológicos de um enclave de Cerrado na Chapada de Araripe, Nordeste do Brasil. **Acta Botanica Brasilica** 18(4): 759-770.
- d'Eça-Neves, F.F. & Morellato, L.P.C. 2004. Métodos de amostragem e avaliação utilizados em estudos fenológicos de florestas tropicais. **Acta Botanica Brasilica** 18(1): 99-108.
- Dias, H.C.T. & Oliveira-Filho, A.T. 1996. Fenologia de quatro espécies arbóreas de uma floresta estacional semidecídua montana em Lavras, MG. **Cerne** 2(1): 66-88.
- Dutra, R.C. 1987. Fenologia de dez espécies arbóreas nativas do cerrado de Brasília-DF. **Brasil Florestal** 62: 23-41.
- Dutra, V.F.; Vieira, M.F.; Garcia, F.C.P. & Lima, H.C. 2009. Fenologia reprodutiva, síndromes de polinização e dispersão em espécies de Leguminosae dos campos rupestres do Parque Estadual do Itacolomi, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguésia** 60: 371-387.
- Fagundes, M.; Araújo, L.S. & Nunes, Y.R.F. 2007. Efeitos do estágio sucessional do habitat na fenologia do pequizeiro (*Caryocar brasiliense*: Caryocaraceae). **Revista Brasileira de Biociências** 5(1): 144-146.
- Faria, R.A.P.G.; Coelho, M.F.B.; Albuquerque, M.C.F. & Azevedo, R.A.B. 2012. Phenology of species in the Cerrado of Mato Grosso State, Brazil - *Brosimum gaudichaudii* Trécul (Moraceae). Pp: 117-124. In: X. Zhang (org.). **Phenology and Climate Change 1**. InTech, Croacia. 320 p.
- Felfili, J.M. & Silva Júnior, M.C. 1992. Floristic composition, phytosociology and comparison of cerrado and gallery forests at Fazenda Água Limpa, Federal District, Brazil. Pp: 393-415. In: P.A. Furley; J.A. Proctor & J.A. Ratter. **Nature and dynamics of forest-savanna boundaries**. Chapman & Hall, London.
- Felfili, J.M.; Silva Júnior, M.C.; Dias, B.J. & Rezende, A.V. 1999. Estudo fenológico de *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville no cerrado *sensu stricto* da Fazenda Água Limpa no Distrito Federal, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica** 22(1): <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-84041999000100011>>.
- Felfili, J.M.; Silva Júnior, M.C.; Mendonça, R.C.; Fagg, C.W.; Filgueiras, T.S. & Mecnas, V.V. 2008. Fitofisionomias e flora. Pp: 152-155. In: F.O. Fonseca (org.). **Águas Emendadas**. SEDUMA-DF.
- Figueiredo, P.S. 2008. Fenologia e estratégia reprodutivas das espécies arbóreas em uma área marginal de cerrado, na transição para o semi-árido no nordeste do Maranhão, Brasil. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas** 2(2): 8-22.
- Filer, D.L. 2010. **Botanical research and herbarium management system – BRAHMS: Training guide with worked examples**. Department of Plant Sciences, University of Oxford. <<http://dps.plants.ox.ac.uk/bol/content/documentation/BRAHMStraining2010.pdf>>.
- Fitter, A.H. & Fitter, R.S.R. 2002. Rapid changes in flowering time in British plants. **Science** 296: 1689-1691.

- Fonseca, M.S. & Silva Júnior, M.C. 2004. Fitosociologia e similaridade florística entre trechos de cerrado sentido restrito em interflúvio e em vale no Jardim Botânico de Brasília, DF. **Acta Botanica Brasílica** **18**(1): 19-29.
- Fornis-Martins, E.R.; Marques, M.C.M. & Lemes, M.R. 1998. Biologia floral e reprodução de *Solanum paniculatum* L. (Solanaceae) no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica** **21**(2): <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-84041998000200002>>.
- Franco, A.C.; Souza, M.P. & Nardoto, G.B. 1996. Estabelecimento e crescimento de *Dalbergia miscolobium* Benth. em áreas de campo sujo e cerrado no DF. Pp: 84-92. In: H.S. Miranda; C.H. Saito & B.F.S. Dias (orgs.). **Impactos de queimadas em áreas de cerrado e restinga**. Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- Franco, A.C.; Bustamante, M.; Caldas, L.S.; Goldstein, G.; Meinzer, F.C.; Kozovits, A.R.; Rundel, P. & Coradin, V.T.R. 2005. Leaf functional traits of Neotropical savanna trees in relation to seasonal water deficit. **Trees** **19**: 326-335. <DOI 10.1007/s00468-004-0394-z>.
- Frankie, G.W.; Baker, H.G. & Opler, P.A. 1974. Comparative phenological studies of trees in tropical wet and dry forests in the lowlands of Costa Rica. **Journal of Ecology** **62**: 881-913.
- Franzon, R.C.; Campos, L.Z.O.; Proença, C.E.B. & Sousa-Silva, J.C. 2009. **Araçás do gênero Psidium: principais espécies, ocorrência, descrição e usos**. Documento 266, EMBRAPA Cerrados, Planaltina/DF.
- Fukuda, W.S. 2011. Propagação *in vitro* de *Jacaranda ulei* Bureau & K. Schum. (Bignoniaceae). **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Botânica, Universidade de Brasília. Brasília-DF.
- Gentry, A.H. 1974. Flowering phenology and diversity in tropical Bignoniaceae. **Biotropica** **6**(1): 64-68.
- Gouveia, G.P. & Felfili, J.M. 1998. Fenologia de comunidades de matas de galeria e de cerrado no Distrito Federal. **Revista Árvore** **22**: 443-450.
- Gribel, R. 1986. Ecologia da polinização e da dispersão de *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae) na região do Distrito Federal. **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília. Brasília-DF.
- Gribel, R. & Hay, J.D. 1993. Pollination ecology of *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae) in Central Brazil Cerrado vegetation. **Journal of Tropical Ecology** **9**(2): 199-211.
- Guilherme, F.A.G.; Salgado, A.A.; Costa, E.A. & Zortéa, M. 2011. Fenologia de *Cybistax antisyphilitica* (Mart.) Mart. (Bignoniaceae) na região urbana de Jataí, Goiás. **Bioscience Journal** **27**(1): 138-147.
- Haston, E.; Richardson, J.E.; Stevens, P.F.; Chase, M.W. & Harris, D.J. 2009. The Linear Angiosperm Phylogeny Group (LAPG) III: a linear sequence of the families in APG III. **Botanical Journal of the Linnean Society** **161**: 128–131.
- Horowitz, C. 1998. **Parque Nacional de Brasília. Relatório Setorial – Plano de Manejo (revisão) – Diagnóstico do uso/ocupação do entorno e descrição dos impactos decorrentes**. Brasília-DF. 30 p.
- INMET. 2013. Instituto Nacional de Meteorologia. <http://www.inmet.gov.br/html/prev_climatica.php>.

- Janzen, D.H. 1967. Synchronization of sexual reproduction of trees within the dry season in Central America. **Evolution** **21**: 620-637.
- _____. 1971. Seed predation by animals. **Annual Review of Ecology** **2**: 465-492.
- _____. 1975. Behaviour of *Hymenaea courbaril* when its predispersal seed predator is absent. **Science** **189**:145-147.
- Keatley, M.R. & Hudson, I.L. 2010. Introduction and overview. Pp: 1-22. In: I.L. Hudson & M.R. Keatley (eds). **Phenological research: methods for environmental and climate change analysis**. Springer.
- Kovach Computing Services. 2013. **Oriana, version 4.02**. <<http://www.kovcomp.co.uk/oriana/index.html>>.
- Kudo, G. & Hirao, A.S. 2006. Habitat-specific responses in the flowering phenology and seed set of alpine plants to climate variation: implications for global-change impacts. **Population Ecology** **48**: 49-58.
- Kutschenko, D.C. 2009. Fenologia e caracterização de frutos e sementes de um cerrado *sensu stricto*, Jardim Botânico de Brasília, Distrito Federal, Brasil, com ênfase nas espécies com síndrome ornitocórica. **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Botânica, Universidade de Brasília. Brasília-DF.
- Lenza, E. & Klink, C.A. 2006. Comportamento fenológico de espécies lenhosas em um cerrado sentido restrito de Brasília, DF. **Revista Brasileira de Botânica** **29**(4): 627-638.
- Lenza, E. & Oliveira, P.E. 2006. Biologia reprodutiva e fenologia de *Virola sebifera* Aubl. (Myristicaceae) em mata mesofítica de Uberlândia, MG, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica** **29**(3): 443-451.
- Lenza E.; Ferreira, J.N; Consolaro, H. & Aquino, F.G. 2008. Biologia reprodutiva de *Rourea induta* Planch. (Connaraceae), uma espécie heterostílica de cerrado do Brasil Central. **Revista Brasileira de Botânica** **31**(3): 389-398.
- Lieberman, D. 1982. Seasonality and phenology in a dry tropical forest in Ghana. **Journal of Ecology** **70**(3): 791-806.
- Lieberman, D. & Lieberman, M. 1984. The causes and consequences of synchronous flushing in a dry tropical forest. **Biotropica** **16**: 193-201.
- Lima, M.R. 2012. Estratégias de propagação para espécies subarborescentes de Acanthaceae Juss. Com potencial ornamental. **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Botânica, Universidade de Brasília. Brasília-DF.
- Lins, B.L.A. & Nascimento, M.T. 2010. Fenologia de *Paratecoma peroba* (Bignoniaceae) em uma floresta estacional semidecidual do norte fluminense, Brasil. **Rodriguésia** **61**(3): 559-568.
- Longman, K.A. & Jenik, J. 1974. **Tropical Forest and its environment**. Tropical Ecology Series. Longman, London. 196 p.
- MacGillivray, F.; Hudson, I.L. & Lowe, A.J. 2010. Herbarium collections and photographic images: alternative data sources for phenological research. Pp: 425-461. In: I.L. Hudson & M.R. Keatley (eds.). **Phenological research: methods for environmental and climate change analysis**. Springer.

- Machado, A.O. 2007. Variações florais e heterostilia em *Palicourea rigida* (Rubiaceae) nos cerrados do Brasil Central. **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Ecologia e Conservação de Recursos Naturais, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia-MG.
- Mantovani, W. & Martins, F.R. 1988. Variações fenológicas das espécies do cerrado da Reserva Biológica de Moji Guaçu, Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Botânica** 11(1/2): 101-102.
- Marinho-Filho, J.S. 1985. Padrões de atividade e utilização de recursos alimentares por seis espécies de morcegos filostomídeos na Serra do Japi, Jundiá, São Paulo. **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Ecologia, Universidade Estadual de Campinas. Campinas-SP.
- Martins, F.Q. 2005. Sistemas de polinização em fragmentos de cerrado na região do Alto Taquari (GO, MS, MT). **Dissertação de mestrado**. Departamento de Ecologia, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos-SP.
- Maruyama, P.K.; Custódio, L.N. & Oliveira, P.E. 2012. When hummingbirds are the thieves: visitation effect on the reproduction of Neotropical snowbell *Styrax ferrugineus* Nees & Mart (Styracaceae). **Acta Botanica Brasilica** 26(1): 58-64.
- Mazza, M.C.M.; Santos, J.E. & Mazza, C.A.S. 2011. Fenologia reprodutiva de *Maytenus ilicifolia* (Celastraceae) na Floresta Nacional de Irati, Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica** 34(4): 565-574.
- Meirelles, M.L.; Guimarães, A.J.M.; Oliveira, R.C.; Araújo, G.M. & Ribeiro, J.F. 2004. Impactos sobre o estrato herbáceo de áreas úmidas do Cerrado. Pp: 41-68. In: L.M.S. Aguiar & A.J.A. Camargo (eds.). **Cerrado: ecologia e caracterização**. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF.
- Mendes, F.N.; Rêgo, M.M.C. & Albuquerque, P.M.C. 2011. Fenologia e biologia reprodutiva de duas espécies de *Byrsonima* Rich. (Malpighiaceae) em área de Cerrado no Nordeste do Brasil. **Biota Neotropica** 11(4): 103-115.
- Menezes, P.R.; Milano, R. & Horowitz, C. 1997. **Mapa de Vegetação: Plano de Manejo do Parque Nacional de Brasília**. IBAMA/Funatura/Topocart.
- Menzel, A.; Sparks, T.H.; Estrella, N.; Koch, E.; Aasa, A.; Ahas, R.; Alm-Kübler, K.; Bissolli, P.; Braslavská, O.; Briede, A.; Chmielewski, F.M.; Crepinsek, Z.; Curnell, Y.; Dahl, Å.; Defelia, C.; Donnelly, A.; Filella, Y.; Jatczak, K.; Måge, F.; Mestre, A.; Nordli, Ø.; Peñuelas, J.; Pirinen, P.; Remišová, V.; Scheifinger, H.; Striz, M.; Susnik, A.; van Vliet, A.J.H.; Wielgolaski, F.E.; Zack, S. & Züst, A. 2006. European phenological response to climate change matches the warming pattern. **Global Change Biology** 12: 1969-1976.
- Miller-Rushing, A.J.; Primack, D.; Primack, R.B.; Imbres, C. & Tredici, P.D. 2004. Herbarium specimens as a novel tool for climate change research. **Arnoldia** 63(2): 26–32.
- Miller-Rushing, A.J.; Primack, R.B.; Primack, D. & Mukunda, S. 2006. Photographs and herbarium specimens as tools to document phenological changes in response to global warming. **American Journal of Botany** 93(11): 1667–1674.
- MINITAB. 2009. **Minitab for Windows Release 16**. State College: Minitab Inc.

- Monasterio, M. & Sarmiento, G. 1976. Phenological strategies of plant species in the tropical savanna and semi-deciduous forest of the Venezuelan Llanos. **Journal of Biogeography** **3**: 325-356.
- Moreira, A.G. 1987. Aspectos demográficos de *Emmotum nitens* (Benth.) Miers (Icacinaceae) em um cerrado distrófico no Distrito Federal. **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Biologia. Universidade Estadual de Campinas. Campinas - SP.
- Morellato, L.P.C. 1987. Estudo comparativo de fenologia e dinâmica de duas formações florestais na Serra do Japi, Jundiá-SP. **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Ecologia, Universidade Estadual de Campinas. Campinas-SP.
- _____. 1991. Estudo da fenologia de árvores, arbustos e lianas de uma floresta semidecídua no sudeste do Brasil. **Tese de Doutorado**. Departamento de Ecologia, Universidade Estadual de Campinas. Campinas-SP.
- _____. 1992. Sazonalidade e dinâmica de ecossistemas florestais na Serra do Japi. Pp: 98-109. In: L.P.C. Morellato (ed.). **História natural da Serra do Japi: ecologia e preservação de uma área florestal no Sudeste do Brasil**. Universidade Estadual de Campinas/Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, Campinas-SP.
- Morellato, L.P.C. & Leitão-Filho, H.F. 1992. Padrões de frutificação e dispersão de sementes na Serra do Japi. Pp: 112-140. In: L.P.C. Morellato (ed.). **História natural da Serra do Japi: ecologia e preservação de uma área florestal no Sudeste do Brasil**. Universidade Estadual de Campinas/Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, Campinas-SP.
- Morellato, L.P.C.; Talora, D.C.; Takahasi, A.; Romera, E.C. & Ziparro, V.B. 2000. Phenology of Atlantic Rain Forest trees: a comparative study. **Biotropica** **32**(4b): 811-823.
- Moura, T.M.; Oliveira, G.C.X. & Chaves, L.J. 2010. Correlação entre floração, frutificação e variáveis ambientais em *Solanum lycocarpum*. A. St. Hil, Solanaceae. **Bioscience Journal** **26**(3): 457-462.
- Munhoz, C.B.R. 2003. Padrões de distribuição sazonal e espacial das espécies do estrato herbáceo-subarbustivo em comunidades de campo limpo úmido e de campo sujo. **Tese de Doutorado**. Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília. Brasília-DF.
- Munhoz, C.B.R. & Felfili, J.M. 2005. Fenologia do estrato herbáceo-subarbustivo de uma comunidade de campo sujo na Fazenda Água Limpa no Distrito Federal, Brasil. **Acta Botanica Brasilica** **19**(4): 979-988.
- _____. 2007. Florística do estrato herbáceo-subarbustivo de um campo limpo úmido em Brasília, Brasil. **Biota Neotropica** **7**(3): 205-215.
- Myneni, R.B.; Keeling, C.D.; Tucker, C.J.; Asrar, G. & Nemani, R.R. 1997. Increasing plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. **Nature** **386**: 698-702.
- Nardoto, G.B.; Souza, M.P. & Franco, A.C. 1998. Estabelecimento e padrões sazonais de produtividade de *Kielmeyera coriacea* (Spr.) Mart. nos cerrados do Planalto Central: efeitos do estresse hídrico e sombreamento. **Revista Brasileira de Botânica** **21**(3): 313-319.

- Newstrom, 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.
- O'Brien, J.J.; Oberbauer, S.F.; Clark, D.B. & Clark, D.A. 2008. Phenology and stem diameter increment seasonality in a Costa Rican wet tropical forest. **Biotropica** **40**(2): 151-159.
- Oliveira, E.L. 2005. Fenologia, demografia foliar e características foliares de espécies lenhosas em um cerrado sentido restrito no Distrito Federal e suas relações com as condições climáticas. **Tese de Doutorado**. Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília. Brasília-DF.
- Oliveira, P.E.A.M. 1991. The pollination and reproductive biology of a cerrado woody community in Brazil. **PhD Thesis**. Faculty of Science, University of St. Andrews. St. Andrews, Scotland.
- _____. 2008. Fenologia e biologia reprodutiva das espécies de Cerrado. Pp: 275-290. In: S.M. Sano; S.P. Almeida & J.F. Ribeiro (eds.). **Cerrado: Ecologia e Flora**. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF.
- Oliveira, P. & Gibbs, P. 1994. Pollination biology and breeding systems of six *Vochysia* species (Vochysiaceae) in Central Brazil. **Journal of Tropical Ecology** **10**: 509-522.
- Oliveira, P.E.A.M. & Paula, F.R. 2001. Fenologia e biologia reprodutiva de plantas de Matas de Galeria. Pp: 303-332. In: J.F. Ribeiro; C.E.L. Fonseca & J.C. Sousa-Silva (eds). **Cerrado: caracterização e recuperação de Matas de Galeria**. Embrapa Cerrados/Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Ministério do Meio Ambiente, Planaltina-DF.
- Oliveira-Filho, A.T. & Oliveira, L.C.A. 1988. Biologia floral de uma população de *Solanum lycocarpum* St. Hil. (Solanaceae) em Lavras, MG. **Revista Brasileira de Botânica** **11**: 23-32.
- Paixão, I.L.S.C. 1982. Estudo de resistência aerodinâmica em folhas de espécies do cerrado. **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília. Brasília-DF.
- Parmesan, C. & Yohe, G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. **Nature** **421**: 37-42.
- Peçanha-Junior, F.B. 2005. Notas sobre a fenologia e visitantes florais de *Miconia ciliata* (Rich.) DC. (Melastomataceae). **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - série Ciências Naturais** **1**(2): 57-60.
- Pedroni, F.; Sanchez, M. & Santos, F.A.M. 2002. Fenologia da copaíba (*Copaifera langsdorffii* Desf. – Leguminosae, Caesalpinioideae) em uma floresta semidecídua no sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica** **25**: 183-194.
- Pereira, M.S.; Passamani, M. & Silva, E.A.A. 2009. Germinação de sementes de *Miconia* (Melastomataceae) ingeridas pelo marsupial *Gracilinanus microtarsus* (Didelphidae). **Boletim do Museu de Biologia Mello Leitão** **25**: 43-51.
- Piedade-Kill, L.H. & Ranga, N.T. 2000. Biologia floral e sistema de reprodução de *Jacquemontia multiflora* (Choisy) Hallier f. (Convolvulaceae). **Revista Brasileira de Botânica** **23**(1): 37-43.
- Pinheiro, M.H.O. 2013. Fenologia reprodutiva de comunidade savânica através de acervo de herbário. **Brazilian Geographical Journal: geosciences and humanities research medium** **4**(1): 233-254.

- Pinto, A.S. 1999. A relação entre fenologia de espécies lenhosas e a disponibilidade hídrica em um cerrado. **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília. Brasília-DF.
- Pirani, F.R.; Sanchez, M. & Pedroni, F. 2009. Fenologia de uma comunidade arbórea em cerrado sentido restrito, Barra do Garças, MT, Brasil. **Acta Botanica Brasílica** **23**(4): 1096-1109.
- Primack, R.B. 1980. Variation in the phenology of natural populations of montane shrubs in New Zealand. **Journal of Ecology** **68**(3): 849-862.
- _____. 1985. Longevity of individual flowers. **Annual Review of Ecology and Systematics** **16**:15-37.
- Primack, D.; Imbres, C.; Primack, R.B.; Miller-Rushing, A.J. & Tredici, P.D. 2004. Herbarium specimens demonstrate earlier flowering times in response to warming in Boston. **American Journal of Botany** **91**(8): 1260-1264.
- Proença, C.E.B.; Filer, D.; Lenza, E.; Silva, J.S. & Harris, S.A. 2012. Phenological Predictability Index in BRAHMS: a tool for herbarium-based phenological studies. **Ecography** **35**: 289–293.
- Proença, C.E.B.; Silva, J.S.; Moreira, A.L.C.; Villarroel, D.; Perígolo, N.A. & Bambi, P. 2013. Seleccionando espécies que respondem a anos climatologicamente atípicos “veranicos” no Distrito Federal utilizando dados de herbário. **64º Congresso Nacional de Botânica**, Belo Horizonte-MG.
- Ramos, D.M. 2010. Comportamento fenológico de gramíneas em um campo sujo de Cerrado: da indução de floração à emergência de plântulas. **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Botânica, Universidade de Brasília. Brasília-DF.
- Rathcke, B. & Lacey, E.P. 1985. Phenological patterns of terrestrial plants. **Annual Review of Ecology and Systematics** **16**:179-214.
- Raunkjær, C.C. 1934. **The life forms of plants and statistical plant geography**. Oxford University Press.
- Reich, P.B. & Borchert, R. 1984. Water stress and tree phenology in a tropical dry forest in the lowlands of Costa Rica. **Journal of Ecology** **72**(1): 61-74.
- Ribeiro, M.F. 2003. Biologia reprodutiva e polinização de *Jacaranda ulei* Bureau & K. Schum. (Bignoniaceae). **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Botânica, Universidade de Brasília. Brasília-DF.
- Rivera, G.; Elliott, S.; Caldas, L.S.; Nicolossi, G.; Coradin, V.T.R. & Borchert, R. 2002. Increasing day-length induces spring flushing of tropical dry forest trees in the absence of rain. **Trees** **16**(7): 445–456.
- Rodrigues, A.S. 2007. As tribos Dalechamptieae Müll. Arg. e Manihoteae Melchior (Euphorbiaceae) no Distrito Federal, Brasil. **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Botânica, Universidade de Brasília. Brasília-DF.
- Root, T.L.; Price, J.T.; Hall, K.R.; Schneider, S.H.; Rosenzweig, C. & Pounds, J.A. 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. **Nature** **421**: 57-60.
- Rossi, C.V.; Silva Júnior, M.C. & Santos, C.E.N. 1998. Fitossociologia do estrato arbóreo do cerrado (*sensu stricto*) no Parque Ecológico Norte, Brasília, DF. **Boletim do Herbário Ezechias Paulo Heringer** **2**: 49-56.

- Santos, F.R.C. 2007. Fenologia de espécies arbóreas do dossel e sub-dossel em um fragmento de mata atlântica semi-decídua em Caratinga, Minas Gerais, Brasil. **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Ecologia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte-MG.
- Santos, F.P. & Ferreira W.M. 2012. Estudo fenológico de *Davilla elliptica* St. Hill. e *Qualea grandiflora* Mart. em uma área de cerrado sentido restrito em Porto Nacional, Tocantins. **Interface** 5: 3-14.
- Sarmiento, G. 1992. Adaptive strategies of perennial grasses in South American savannas. **Journal of Vegetation Science** 3(3): 325-336.
- Sarmiento, G. & Monasterio, M. 1983. Life forms and phenology. Pp: 79-108. In: F. Bourliere (ed). **Ecosystems of the World XIII**. Tropical Savannas, Elsevier, Amsterdam.
- Sarmiento, G.; Goldstein, G. & Meinzer, F. 1985. Adaptive strategies of woody species in neotropical savannas. **Biological Review** 60: 315-355.
- Schwartz, M.D. 1998. Green-wave phenology. **Nature** 394: 839-840.
- Staggemeier, V.G. & Morellato, L.P.C. 2011. Reproductive phenology of coastal plain Atlantic forest vegetation: comparisons from seashore to foothills. **International Journal of Biometeorology** 55: 843-854.
- Stevens, P.F. (2001 onwards). Angiosperm Phylogeny Website, version 12. <<http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>>.
- Silva, A.M. 2013. Sobreposição em assembléias de aves frugívoras e dispersão de sementes no cerrado *sensu stricto*. **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Ecologia e Conservação de Recursos Naturais, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia-MG.
- Silva, A.P. 1995. Biologia reprodutiva e polinização de *Palicourea rigida* H.B.K. (Rubiaceae). **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Botânica, Universidade de Brasília. Brasília-DF.
- Silva, J.S. & Felfili, J.M. 2012. Floristic composition of a conservation area in the Federal District of Brazil. **Brazilian Journal of Botany** 35(4): 385-395.
- Silva, D.B.; Forzza, R.C. & Alves, M. 2009. Cyperaceae e Juncaceae no Parque Estadual de Ibitipoca, Minas Gerais, Brasil. **Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo** 27(2): 219-234.
- Silva, C.I.; Araújo, G. & Oliveira, P.E.A.M. 2012. Distribuição vertical dos sistemas de polinização bióticos em áreas de cerrado sentido restrito no Triângulo Mineiro, MG, Brasil. **Acta Botanica Brasilica** 26(4): 748-760.
- Silva-Júnior, M.C.; Santos, G.C.; Nogueira, P.E.; Munhoz, C.B.R. & Ramos, A.E. 2005. **100 árvores do cerrado**: guia de campo. Rede de sementes do Cerrado, Brasília-DF. 278 p.
- Silveira, L.T. 1991. Revisão taxonômica do gênero *Periandra* Mart. ex Benth. (Leguminosae, Papilionoideae, Phaseoleae). **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Biologia Vegetal, Universidade Estadual de Campinas. Campinas-SP.
- Silvério, D.V. & Lenza, E. 2010. Fenologia de espécies lenhosas em um cerrado típico no Parque Municipal do Bacaba, Nova Xavantina, Mato Grosso, Brasil. **Biota Neotropica** 10(3): 205-216.

- Smythe, N. 1970. Relationships between fruiting seasons and seed dispersal methods in a neotropical forest. **The American Naturalist** **104**(935): 25-35.
- Snow, D.W. 1965. A possible selective factor in the evolution of fruiting seasons in tropical forest. **Oikos** **15**(2): 274-281.
- Sobrado, M.A. 1993. Trade-off between water transport efficiency and leaf life-span in a tropical dry forest. **Oecologia** **96**(1): 19-23.
- Souza, N.A. 2009. Frugivoria por aves e fenologia em *Miconia albicans* e *Miconia ligustroides* (Melastomataceae), em fragmento de Cerrado na região de São Carlos, SP, Brasil. **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos-SP.
- Stevens, P.F. (2001 onwards). Angiosperm Phylogeny Website, v. 12 [atualizado continuamente]. <<http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>>.
- Sun, C.; Kaplin, B.A.; Kristensen, K.A.; Munyaligoga, V.; Mvukiyumwami, J.; Kajondo, K. & Moermond, T.C. 1996. Tree phenology in a tropical montane forest in Rwanda. **Biotropica** **28**:668-681.
- Tannus, J.L.S.; Assis, M.A. & Morellato, L.P.C. 2006. Fenologia reprodutiva em campo sujo e campo úmido numa área de Cerrado no sudeste do Brasil, Itirapina - SP. **Biota Neotropica** **6**(3): <<http://www.biotaneotropica.org.br/v6n3/pt/abstract?article+bn02806032006>>.
- Van der Pijl, L. 1982. **Principles of dispersal in higher plants**. Springer-Verlag, Berlin. 215 p.
- Vasconcelos, T.N.C.; Silva, J.S. & Proença, C.E.B. 2012. Testando a função PPI: análise de previsibilidade fenológica utilizando dados de herbário. **Heringeriana** **6**(1): 66-69.
- Veenendaal, E.M.; Ernst, W.H.O. & Modise, G.S. 1996. Reproductive effort and phenology of seed production of savanna grasses with different growth form and life history. **Vegetatio** **123**: 91-100.
- Vilela, G.F.; Carvalho, D. & Vieira, F.A. 2008. Fenologia de *Caryocar brasiliense* Camb. (Caryocaraceae) no ALto Rio Grande, sul de Minas Gerais. **Cerne** **14**(4): 317-329.
- Webb, L.J. 1959. A physiognomic classification of Australian rain forests. **Journal of Ecology** **47**:551-570.
- Wright, S.J. & van Schaik, C.P. 1994. Light and the phenology of tropical trees. **The American Naturalist** **143**(1): 192-199.
- Zar, J.H. 2010. **Biostatistical analysis**. 5th ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall. 944 p.

A IMPORTÂNCIA DO ÍNDICE DE PREVISIBILIDADE FENOLÓGICA (PPI) PARA O SUCESSO EM EXPEDIÇÕES DE CAMPO¹

RESUMO

A coleta de plantas férteis tende a aumentar o sucesso na identificação em estudos florísticos, fitossociológicos e ecológicos e é condição essencial para a incorporação nos herbários. A informatização vem tornando os materiais herborizados cada vez mais utilizados, fundamentando estudos com os mais variados objetivos, principalmente em formações vegetais sob alta pressão antrópica, como o Cerrado. Recentemente foi incorporado ao programa BRAHMS um algoritmo interno denominado *Phenological Predictability Index* (PPI) que calcula a probabilidade de ocorrência dos eventos fenológicos em campo, com base em exsiccatas. A utilização do PPI como forma de quantificar a chance que o material de interesse tem de ser encontrado em campo tende a garantir o sucesso das expedições de campo, resultando em aceleração e economia para as pesquisas. Visando testar o funcionamento do PPI como ferramenta de planejamento de expedições de campo foram selecionadas 28 espécies nativas do Cerrado e comuns no Distrito Federal que representassem a alta diversidade vegetal existente na região, que apresenta elevada variação altitudinal e abriga um complexo de tipos vegetacionais como campos, savanas e florestas. O nível de sucesso preditivo do PPI foi testado em campo por meio do estudo da fenologia reprodutiva das espécies, pelo período de um ano, e uma expedição simulada de dois dias onde a presença e o local dos indivíduos eram desconhecidos. Verificou-se, através do acompanhamento fenológico, 90% de sucesso na observação das fenofases previstas pelo PPI no mês de maior probabilidade para as três fenofases estudadas (botão, flor e fruto). Considerando a existência da variação geográfica na fenologia sugere-se que os registros herborizados usados para o cálculo do PPI estejam dentro da mesma região climática dos locais onde ocorrerá a coleta. O insucesso no uso do índice poderá ocorrer no caso de espécies com fenologia supra-anual ou com baixo valor de PPI, o que indica alta contingência do evento, isto é, plasticidade fenotípica da espécie frente às mudanças locais ou climáticas entre anos. Para o planejamento de expedições de coleta florística, cujo objetivo é inventariar a flora local, o PPI pode ser utilizado com sucesso na seleção do melhor período para ir a campo.

Palavras-chave: BRAHMS, Cerrado, coleta, fenologia, herbário, previsão.

¹ Artigo a ser submetido para o periódico 'Journal Applied of Vegetation Science'.

1. INTRODUÇÃO

Encontrar plantas férteis no campo é, em geral, condição essencial para sua coleta e incorporação nos herbários, além de aumentar o sucesso da identificação em estudos fitossociológicos e ecológicos. A informatização vem tornando o material nos herbários cada vez mais utilizado (Smith *et al.* 2003), fundamentando estudos florísticos (Harris *et al.* 2012), fenológicos (Boulter *et al.* 2006), ecológicos (Gimaret-Carpentier *et al.* 2002), fitogeográficos (Silva *et al.* 2013), de conservação (van Hengstum *et al.* 2012), sobre variabilidade morfológica (Malhado *et al.* 2009), entre outros.

A coleta de material botânico com botões florais é necessária para observação de células-mãe de grãos de pólen em meiose para contagem do número cromossômico (n) gamético (Costa & Forni-Martins 2007a) e para estudos de ontologia floral (Gomes *et al.* 2008), enquanto a coleta de material com flores é a forma mais eficiente de identificar a espécie e a coleta de frutos e sementes é necessária para o plantio e produção de mudas (Wishnie *et al.* 2007), além de permitir a germinação dos propágulos para fixar as pontas de raiz e para observar a metáfase mitótica no registro do número cromossômico ($2n$) somático (Costa & Forni-Martins 2007a, 2007b).

Estudos de sistemas biológicos em termos de comportamentos, distribuição e influências de variáveis físicas e ambientais, além de estudos de sistemática vegetal, também utilizam informações presentes em exsicatas depositadas em herbários, desde que utilizado grande número de registros (Borchert 1996; Miller-Rushing *et al.* 2006). Dados de herbários são úteis, principalmente, para o conhecimento de formações vegetais sob alta pressão antrópica, como o Cerrado (Batalha *et al.* 1997). Diversos estudos (Barros & Caldas 1980; Antunes & Ribeiro 1999; Tannus *et al.* 2006; Vasconcelos *et al.* 2012) determinaram padrões fenológicos no Cerrado a partir de dados de herbário e da comparação destes com os observados em campo.

Foi incorporado recentemente ao programa BRAHMS (*Botanical Research And Herbarium Management System*) - um sistema gratuito de banco de dados com ampla funcionalidade para herbários - um algoritmo interno denominado *Phenological Predictability Index* (PPI) que calcula a probabilidade de eventos fenológicos em campo, com base em coletas herborizadas. Eventos utilizados como padrão na ferramenta incluem presença de botões, flores, frutos, frutos maduros, senescência de folhas e estado vegetativo, sendo possíveis ainda análises de outros fenômenos periódicos inseridos pelos usuários (BRAHMS documentation 2012). No entanto, a alimentação do banco de dados com os estados fenológicos era, até recentemente, manual. A incorporação de um sistema automático de atribuição de estados fenológicos utilizando palavras-chave de outros campos tornou o sistema muito mais rápido, possibilitando prever a probabilidade de encontrar um grande

número de espécies no estado fenológico desejado.

O PPI é influenciado pelo comprimento da fenofase de cada indivíduo, pela sincronia entre eles e pela variabilidade anual de sincronia e comprimento, produzindo como resultados o período de probabilidade máxima da fenofase, um valor de previsibilidade que varia, teoricamente, de 0.02 a 1 e um gráfico que mostra a intensidade da fenofase para o período e a existência de mais de um pico, quando houver (Figura 2.1). Se o período for mensal, o valor fornecido pelo índice é confiável desde que haja o mínimo de 50 eventos de cada fenofase por espécie e o seu valor será maior quanto mais concentrada e invariável for a atividade fenológica (Proença *et al.* 2012).

A previsibilidade (P), segundo Colwell (1974), é a somatória de dois componentes: constância (C) e contingência (M). Em um extremo podemos ter um evento invariável ao longo do ano, como por exemplo, a “duração do dia de 24 h”, que tem constância = 1 [365 (número de dias em que o evento ocorre) / 365 (número de dias possíveis de o evento ocorrer)] e é, assim, totalmente previsível ($P = C + M = 1 + 0 = 1$). No outro extremo, podemos ter o evento “Natal”, que tem constância = 0.0027 [1 (número de dias em que o evento ocorre) / 365 (número de dias possíveis de o evento ocorrer)], já que só ocorre em um dia do ano (25 de dezembro). Sendo assim, o evento Natal é altamente contingente [$M = 364$ (número de dias em que o evento é ausente) / 365 (número de dias possíveis de o evento ocorrer) = 0.9973] e, dessa forma, teremos: $P = 0.0027$ (C) + 0.9973 (M) = 1.

O mês de previsibilidade máxima refere-se ao período com maior número de registros da fenofase e indica quando há maior chance de certa fase fenológica ser observada em campo. É possível que o mês de previsibilidade máxima indicado pelo PPI não coincida com o pico apresentado no gráfico, principalmente quando mais de um pico é formado (vide Proença *et al.* 2012 para detalhamento do cálculo).

A utilização do índice como forma de quantificar a chance que o material de interesse tem de ser encontrado em campo tende a garantir o sucesso das expedições de campo. Expedições bem sucedidas resultam em aceleração e economia para as pesquisas. Muitos tipos diferentes de estudos têm como premissa básica que as expedições de campo sejam bem sucedidas, resultando em coletas nos estágios fenológicos desejados.

Desse modo, este trabalho visa testar o funcionamento do Índice de Previsibilidade Fenológica (PPI) como ferramenta de planejamento de expedições de campo.

2. METODOLOGIA

2.1. Seleção das espécies

Foi selecionada uma amostra da flora do Cerrado de 28 espécies, tendo como critérios: (1) número suficiente de coletas nos herbários (UB, HEPH, IBGE e CEN) na região do Distrito Federal de forma a garantir um PPI confiável; (2) taxonomia bem resolvida, contemplando seis classes, 12 ordens e 23 famílias botânicas; (3) *habitats* variados; (4) hábitos mais comuns; (5) diferentes síndromes de polinização e dispersão; (6) diferentes classes de Raunkiaer para formas de vida e folhas e (7) diferentes tipos de caducifolia (Tabela 3.1).

2.2. Seleção do local

O Distrito Federal, Brasil, região mais bem coletada do Centro da América do Sul (Simon & Proença 2000), foi selecionado como área ideal para testar o índice por sua alta diversidade biológica e fisionômica e por ser área core do domínio fitogeográfico dos Cerrados que abrange parte do Brasil, Bolívia e Paraguai. Localizado entre os paralelos 15°30' e 16°03' de latitude sul e os meridianos 47°25' e 48°12' de longitude, a oeste do meridiano de Greenwich, o Distrito Federal apresenta altitudes entre 750 a 1.336 m e clima tropical sazonal que varia de Cw e Aw, além de abrigar um complexo de tipos vegetacionais como campos, savanas e florestas.

O Cerrado brasileiro é a savana mais rica do mundo (Klink & Machado 2005) e faz limites com as florestas Atlântica e Amazônica, da bacia do Rio da Prata, Caatinga e Pantanal, o que possibilita um intercâmbio florístico e genético, garantindo sua elevada riqueza e diversidade (UNESCO 2002; Mendonça *et al.* 2008) e *status* de *hotspot* de biodiversidade mundial (Myers *et al.* 2000).

Com o intuito de contemplar diversificadas fitofisionomias, foram selecionadas para os testes de campo quatro áreas protegidas: Estação Ecológica de Águas Emendadas (ESECAE), Parque Nacional de Brasília (PNB), Jardim Botânico de Brasília (JBB) e Campus da Universidade de Brasília (CUNB), que juntas abarcam os três biomas do cerrado *sensu lato* (Coutinho 2006; Batalha 2011): campo tropical (campos limpos), savana (campos sujos, campos cerrados e cerrado *sensu stricto*) e floresta estacional (cerradões) - presentes neste estudo.

Tabela 3.1. Espécies estudadas no Distrito Federal e utilizadas no teste do PPI. C= campo, S= savana, F= floresta. H= erva, Sb= subarbusto, Ab= arbusto, Av= árvore. Caduc.= caducifolia. Pol.= polinização (filia), Disp.= dispersão (coria). SVC= sempre-verde contínua, SVS= sempre-verde sazonal, BD= brevidecídua, D= decídua. f= número de registros utilizados na análise, entre parênteses estão os valores < 50, não analisados (--). M= mês/meses de maior probabilidade de encontrar a fenofase em campo, representados por números (1 = janeiro, 2 = fevereiro, ... , 12 = dezembro); meses separados por vírgula representam os resultados diferentes entre o cálculo do PPI e o gráfico gerado. * Classes de forma de vida e tamanho foliar (Raunkiaer 1934). ¹ Fenologia acompanhada em 2012. ² Fenologia acompanhada em 2001.

| ESPÉCIES | LINHAGEM TAXONÔMICA (Classe, Ordem, Família) | | HÁBITAT | HÁBITO | SÍNDROMES (Pol./Disp.) | SISTEMAS DE RAUNKIAER* | CADUC. | BOTÃO | | | FLOR | | | FRUTO | | | |
|---|---|-------------------|---------------|---------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|-------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | | | | | | f | M | PPI | f | M | PPI | f | M | PPI | |
| <i>Echinolaena inflexa</i> (Poir.) Chase ¹ | Commelinidae, Poales, Poaceae | | C, S, F | H | Anemo / Auto | Hemicriptófito / Microfila | SVC | 68 | 2, 12 | 0.065 | 58 | 2 | 0.120 | 53 | 2 | 0.028 | |
| <i>Davilla elliptica</i> A.St.-Hil. ² | Rosidae, Dilleniales, Dilleniaceae | | S, F | Ab | Zoo / Zoo | Fanerófito / Notofila | BD | 81 | 5 | 0.036 | 73 | 5 | 0.073 | 76 | 6, 5 | 0.060 | |
| <i>Periandra mediterranea</i> (Vell.) Taub. ¹ | Fabales | Fabaceae | S, F | Sb | Zoo / Auto | Caméfito / Microfila | SVS | 108 | 4, 2-5 | 0.030 | 121 | 4, 2-5 | 0.029 | 76 | 5 | 0.03 | |
| <i>Chamaecrista conferta</i> (Benth.) I.&B. ¹ | | | S, F | Sb | Zoo / Auto | Caméfito / Microfila | BD | 60 | 6 | 0.167 | 67 | 6 | 0.164 | 57 | 6 | 0.142 | |
| <i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Coville ² | | | S, F | Av | Zoo / Auto | Fanerófito / Microfila | BD | (41) | -- | -- | 70 | 9 | 0.152 | 84 | 6 | 0.028 | |
| <i>Calliandra dysantha</i> Benth. ¹ | | | C, S | Sb | Zoo / Auto | Caméfito / Nanofila | D | 85 | 6 | 0.109 | 124 | 6 | 0.100 | 50 | 9 | 0.172 | |
| <i>Brosimum gaudichaudii</i> Trécul ¹ | Rosidae I | Rosales, Moraceae | S, F | Ab | Anemo / Zoo | Fanerófito / Microfila | SVS | 59 | 8, 9 | 0.086 | 53 | 9 | 0.140 | 63 | 9, 10 | 0.139 | |
| <i>Dalechampia caperonioides</i> Baill. ¹ | | Euphorbiaceae | C | H | Zoo/ Auto | Hemicriptófito / Microfila | BD | 155 | 9 | 0.026 | 176 | 10 | 0.026 | 62 | 4, 11 | 0.023 | |
| <i>Ouratea hexasperma</i> (A.St.- Hil.) Baill. ² | | Ochnaceae | C, S, F | Ab | Zoo / Zoo | Fanerófito / Mesofila | SVS | 87 | 8, 9 | 0.118 | 95 | 8, 9 | 0.161 | 51 | 10 | 0.215 | |
| <i>Byrsonima verbascifolia</i> (L.) DC. ² | | Malpighiales | Malpighiaceae | C, S, F | Ab | Zoo / Zoo | Fanerófito / Macrofila | BD | 63 | 10 | 0.087 | 78 | 10 | 0.084 | 55 | 1 | 0.032 |
| <i>Banisteriopsis campestris</i> (A.Juss.) Little ¹ | | | | C, S | Ab | Zoo / Anemo | Caméfito / Notofila | D | 100 | 1, 12 | 0.033 | 102 | 1, 12 | 0.035 | 57 | 2 | 0.077 |
| <i>Casearia sylvestris</i> Sw. ² | | Salicaceae | S | Ab | Zoo / Zoo | Fanerófito / Microfila | SVS | 61 | 8 | 0.198 | 60 | 8 | 0.197 | (31) | -- | -- | |
| <i>Caryocar brasiliense</i> Cambess. ¹ | | Caryocaraceae | S, F | Av | Zoo / Zoo | Fanerófito / Mesofila | SVS | 63 | 9 | 0.092 | 63 | 9 | 0.097 | 52 | 11 | 0.133 | |

| ESPÉCIES | LINHAGEM TAXONÔMICA (Classe, Ordem, Família) | | HÁBITAT | HÁBITO | SÍNDROMES (Pol./Disp.) | SISTEMAS DE RAUNKIAER* | CADUC. | BOTÃO | | | FLOR | | | FRUTO | | | |
|---|---|------------|------------------------|------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|---------------------------|------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|
| | | | | | | | | f | M | PPI | f | M | PPI | f | M | PPI | |
| <i>Diplusodon villosus</i> Pohl ¹ | Rosidae II | Myrtales | Lythraceae | S | H | Zoo / Auto | Caméfitas / Microfila | BD | 84 | 3, 2-4 | 0.156 | 97 | 4 | 0.159 | 69 | 4 | 0.129 |
| <i>Vochysia elliptica</i> Mart. ¹ | | | Vochysiaceae | S, F | Av | Zoo/Anemo | Fanerófitas / Notofila | SVC | 102 | 5 | 0.039 | 114 | 5 | 0.039 | 52 | 8 | 0.144 |
| <i>Psidium firmum</i> O.Berg ¹ | | | Myrtaceae | S, F | Ab | Zoo / Zoo | Caméfitas / Notofila | SVS | (43) | -- | -- | (47) | -- | -- | 67 | 9 | 0.143 |
| <i>Miconia albicans</i> (Sw.) Triana ² | | | Melastomataceae | S, F | Ab | Zoo / Zoo | Fanerófitas / Notofila | SVC | 67 | 9 | 0.087 | 55 | 9 | 0.096 | 62 | 10, 12 | 0.078 |
| <i>Protium ovatum</i> Engl. ¹ | | Sapindales | Burseraceae | S, F | Ab | Zoo / Zoo | Fanerófitas / Notofila | SVC | 52 | 5 | 0.121 | 51 | 6 | 0.147 | 103 | 7 | 0.031 |
| <i>Anacardium humile</i> A.St.- Hil. ¹ | | | Anacardiaceae | C, S, F | Ab | Zoo / Zoo | Caméfitas / Mesofila | SVC | 58 | 8, 9 | 0.276 | 70 | 9 | 0.172 | 52 | 9, 10 | 0.252 |
| <i>Styrax ferrugineus</i> Nees & Mart. ² | Asteridae I | Ericales | Styracaceae | S | Av | Zoo / Zoo | Fanerófitas / Notofila | SVS | 91 | 5, 6 | 0.073 | 101 | 5 | 0.077 | 54 | 8, 9 | 0.091 |
| <i>Emmotum nitens</i> (Benth.) Miers ¹ | | | unplaced, Icacinaceae | S, F | Av | Zoo / Zoo | Fanerófitas / Mesofila | SVS | 63 | 2, 3 | 0.069 | 62 | 3 | 0.147 | 101 | 11 | 0.025 |
| <i>Palicourea rigida</i> Kunth ¹ | | | Gentianales, Rubiaceae | S | Ab | Zoo / Zoo | Fanerófitas / Macrofila | SVC | 97 | 11, 10 | 0.039 | 93 | 11 | 0.082 | 56 | 2 | 0.035 |
| <i>Solanum subumbellatum</i> Vell. ¹ | | | Solanales, Solanaceae | C, S, F | Sb | Zoo / Zoo | Caméfitas / Microfila | D | 79 | 10 | 0.041 | 84 | 10 | 0.040 | 59 | 11 | 0.031 |
| <i>Hyptis villosa</i> Pohl ex Benth. ¹ | | Lamiales | Lamiaceae | C, S, F | H | Zoo / Auto | Caméfitas / Microfila | D | 50 | 3, 2 | 0.037 | 58 | 3, 2 | 0.074 | (42) | -- | -- |
| <i>Ruellia incompta</i> (Nees) Lindau ¹ | | | Acanthaceae | C, S | Sb | Zoo / Zoo | Caméfitas / Microfila | SVC | 59 | 6 | 0.201 | 72 | 6 | 0.188 | (31) | -- | -- |
| <i>Jacaranda ulei</i> Bureau & K.Schum. ¹ | | | Bignoniaceae | C, S, F | Ab | Zoo / Anemo | Hemicriptófitas / Microfila | D | 58 | 10 | 0.338 | 67 | 10 | 0.100 | 90 | 10 | 0.028 |
| <i>Piptocarpha rotundifolia</i> (Less.) Baker ¹ | | | Asterales | Asteraceae | S | Av | Zoo / Anemo | Fanerófitas / Mesofila | SVS | 57 | 12 | 0.038 | 54 | 12 | 0.040 | 52 | 5 |
| <i>Chresta sphaerocephala</i> DC. ¹ | C, S | H | | | Zoo / Anemo | Geófitas / Mesofila | SVS | 55 | 6 | 0.207 | 64 | 6 | 0.192 | (19) | -- | -- | |

Na ESECAE e no PNB foi realizado um acompanhamento fenológico de 21 espécies ao longo de trilhas sorteadas aleatoriamente. Para tal, os mapas de vegetação das áreas foram divididos em quadrículas de 10" x 10" por meio do programa ArcGIS 9.3, e cada quadrícula foi numerada e sorteada pelo programa *Randomizer Research*, que gera números aleatórios. Os sorteios foram realizados até que todas as fitofisionomias de interesse fossem contempladas. Quando uma mesma fitofisionomia era sorteada pela segunda vez, um novo número era gerado. Para cada ponto sorteado foram traçados transectos de aproximadamente 500 metros de extensão cada um e os indivíduos reprodutivamente ativos presentes a uma distância de até 10 metros do transecto foram marcados. Foram também utilizados resultados de um estudo fenológico realizado na Reserva Ecológica do IBGE (IBGE) e parcialmente publicado em Oliveira (2005), Lenza & Klink (2006) e Proença *et al.* (2012), já que sete das espécies acompanhadas neste estudo satisfaziam os critérios da amostragem. No JBB e no CUNB foram feitas apenas coletas florísticas.

2.3. Levantamento e análise dos dados

Foi feita a análise de previsibilidade fenológica por meio da ferramenta PPI incorporada ao programa BRAHMS 7.5 e gerados gráficos de dispersão que mostram a relação dos meses de maior probabilidade de cada fenofase estudada e os valores de PPI máximo das 28 espécies. O nível de sucesso preditivo do PPI foi testado em campo utilizando dois métodos diferentes.

O primeiro método foi pela observação de indivíduos marcados ao longo das trilhas da ESECAE e PNB. A fenologia reprodutiva - presença de botão floral, flor aberta e fruto - foi checada quinzenalmente para 21 espécies no período de Janeiro a Dezembro de 2012. Esta busca totalizou 1512 eventos (3 fenofases x 21 espécies x 2 observações por mês x 12 meses) repetidos em média 20 vezes (número médio de indivíduos marcados). O estudo realizado por Oliveira (2005) também foi quinzenal, registrou as três fenofases e ocorreu entre Janeiro e Dezembro de 2001, totalizando 504 eventos de busca.

O segundo método foi a realização de uma expedição de dois dias em busca das 28 espécies da subamostra em dois locais em que se desconheciam a presença e local dos indivíduos em um mês em que nenhuma espécie apresentava probabilidade máxima para Botão e Flor (julho de 2014). Duas saídas de campo foram realizadas no Distrito Federal em dois locais diferentes: (1) Jardim Botânico de Brasília (JBB), em ambientes de cerrado *sensu stricto* e campo sujo; e (2) "matinha do Centro Olímpico", uma área de reserva de cerrado ralo no Campus da Universidade de Brasília (CUNB). As espécies encontradas foram coletadas e depositadas no Herbário da Universidade de Brasília - UB (Silva, J.S. 683 a 709).

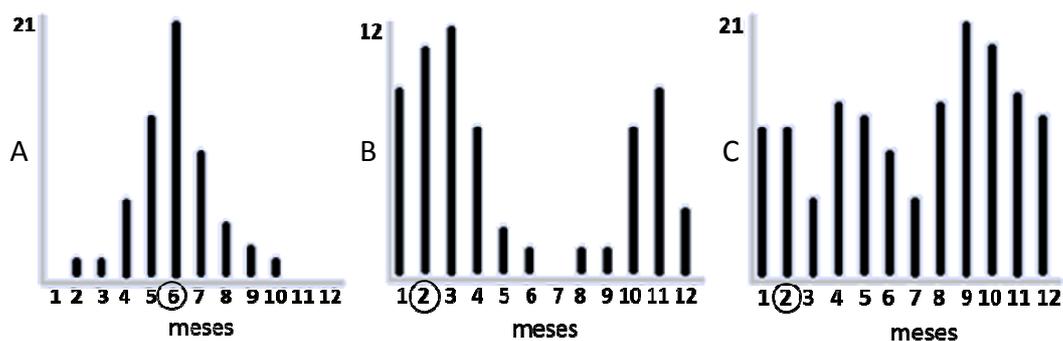


Figura 3.1. Gráficos gerados por meio da ferramenta PPI inserida no *software* BRAHMS mostrando a probabilidade de cada mês para a fenofase Botão de três espécies com comportamentos diferentes. (A) *Ruellia incompta*, fenofase unimodal. (B) *Emmotum nitens*, fenofase bimodal. (C) *Dalechampia caperonioides*, fenofase multimodal. O mês de máxima previsibilidade indicado pelo índice está circulado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios (\bar{X}) de PPI encontrados para as espécies foram similares para as três fenofases, com alto desvio padrão. Para botões florais $\bar{X} = 0.12 \pm \sigma = 0.10$, para flores $\bar{X} = 0.12 \pm \sigma = 0.07$, e para frutos $\bar{X} = 0.10 \pm \sigma = 0.10$, sugerindo que não há diferença significativa de previsibilidade entre as três fenofases. A fenofase fruto maduro não pôde ser analisada devido ao número insuficiente de registros de herbário, necessários para o cálculo do PPI. Apenas quando o coletor registra esta fenofase é possível incluí-la. Raramente tem-se certeza de que o fruto está maduro ao examinar o material herborizado, pois os frutos secos tendem a abrir precocemente nas estufas e os carnosos de tamanho equivalente ao maduro diferem apenas em cor e textura, características geralmente imperceptíveis em material desidratado.

A porcentagem de sucesso na observação das fenofases previstas pelo PPI nas trilhas monitoradas (levando em conta apenas o mês de maior probabilidade da fenofase) foi acima de 90% para todas as fenofases: para botões florais 100% (Figura 3.2), para flores 92.6% (Figura 3.3) e para frutos 95.8% (Figura 3.4) das espécies (N = 26, 27 e 24, respectivamente).

Na análise da fenofase Flor *Davilla elliptica* e *Diplusodon villosus* foram as únicas espécies previstas não encontradas com flores nos meses de maior PPI (maio e abril, respectivamente). Para *Davilla elliptica*, atribuímos a falha ao baixo valor de PPI da espécie no mês pico, que foi a 23ª entre as 27 espécies estudadas (vide Tabela 3.1); há estudos em campo desta espécie em 5 anos diferentes (Oliveira 1991; Oliveira 2005; Kutschenko 2009) que mostraram que a floração é prolongada e variável entre anos, com interrupções e recomeços. Para *Diplusodon villosus* é provável que o motivo da falha seja o seu comportamento supra-anual, ou seja, floresce em intervalos maiores que um ano

(*mast species*): quando as trilhas foram marcadas, em novembro de 2011, vários indivíduos apresentavam frutos, contudo, durante o ano de observação (janeiro a dezembro de 2012) apenas dois dos 11 indivíduos acompanhados floresceram. Esta hipótese é reforçada pelo estudo de campo de Barros (1996), que acompanhou a espécie por dois anos no Distrito Federal e observou que a floração ocorreu apenas no segundo ano de estudo. Em Botão todas as espécies foram registradas no mês de maior previsibilidade.

Na análise da fenofase Fruto, apenas *Diplusodon villosus* não foi registrada com frutos no mês de maior probabilidade previsto pelo PPI (abril), fato que se deve também à provável característica supra-anual da espécie, cuja atividade reprodutiva foi baixa durante o acompanhamento de campo.

Para a expedição de campo simulada para o Distrito Federal, em que não havia plantas marcadas nem conhecimento prévio da localização dos indivíduos de interesse (trilha ecológica do Jardim Botânico de Brasília e Campus da Universidade de Brasília), foram encontradas 20 (71.4%) das 28 espécies. Os dados foram interpretados separadamente para as fenofases Botão, Flor e Fruto. Doze espécies foram registradas com botões florais (Figura 3.2), sendo que para duas delas, *Caryocar brasiliense* e *Davilla elliptica*, apenas um indivíduo dos vários observados apresentavam a fenofase. Nove espécies foram encontradas com flores (Figura 3.3) e nove com frutos (Figura 3.4), das quais duas, *Stryphnodendron adstringens* e *Jacaranda ulei*, apresentaram somente um indivíduo frutificando dentre vários estéreis. Apenas *Banisteriopsis campestris* não foi encontrado fértil.

Dois casos merecem ser discutidos: (1) O encontro de *Palicourea rigida* com flores em um mês que o PPI aponta baixa previsibilidade (PPI máx. para flor = 0.082: novembro) - *P. rigida* é uma espécie bimodal cuja floração mais intensa ocorre no período das chuvas e outra floração de menor intensidade acontece em meados de julho (Silva 1995). Esta pequena floração foi a que registramos em campo. Para espécies bimodais, o PPI apontará como mais provável a ocorrência do evento em campo no mês de maior intensidade da fenofase, isso porque o PPI se baseia nos registros de herbários, e a maioria destes é oriunda de coletas feitas no momento em que as espécies se encontram em floração intensa, quando se tornam mais visíveis e interessantes aos coletores (Miller-Rushing *et al.* 2004). (2) O registro de *Echinolaena inflexa* florida (PPI máx. para flor = 0.120: fevereiro) - de acordo com o acompanhamento fenológico realizado e de resultados de outros estudos publicados (Almeida 1995; Ramos 2010), *E. inflexa* apresenta atividade reprodutiva no período chuvoso e a previsão de ocorrer indivíduos floridos em campo feita pelo PPI para o mês de julho é zero. No entanto, no mês anterior à expedição simulada - período geralmente seco no Distrito Federal - choveu por alguns dias na região (INMET 2014), o que provavelmente ocasionou a floração fora de época da espécie, pelo menos em alguns indivíduos.

Conclui-se que a seleção do mês de maior probabilidade indicado pelo PPI para ir a campo

resulta na chance de mais de 90% de encontrar uma espécie predeterminada na fenofase desejada. Importante notar que neste estudo os registros herborizados usados para o cálculo do PPI estavam a menos de 1° latitude x 1° longitude dos pontos dos testes em campo, pois sabe-se que há variação geográfica na fenologia (Menzel *et al.* 2006; Giuliani *et al.* 2013). O insucesso poderá ocorrer no caso de espécies com fenologia supra-anual ou com baixo valor de PPI, mesmo no mês de maior probabilidade, o que indica alta contingência do evento, isto é, plasticidade fenotípica da espécie frente às mudanças locais ou climáticas entre anos.

Para o planejamento de expedições de coleta florística, cujo objetivo é inventariar a flora local, o PPI pode ser utilizado na seleção do melhor período para ir a campo, que deverá ser quando a nuvem de PPI's se apresentar mais densa e a média dos valores mais elevada. O pesquisador deverá avaliar não apenas os valores de cada mês, mas a dispersão dos PPI's em conjuntos de três ou cinco meses. Um exemplo extremo de uso bem sucedido do índice seria se um botânico inexperiente em fenologia de floresta temperada do hemisfério norte planejasse uma expedição de coleta para esta vegetação. Se tal expedição fosse feita no auge do inverno, resultaria em insucesso, contudo, se o PPI fosse usado, lhe revelaria uma concentração de espécies com alto PPI nos meses de primavera-verão, quando a expedição seria bem sucedida. Obviamente este nível de planejamento é compensador apenas quando a vegetação apresenta diferenças significativas de concentração da atividade reprodutiva em diferentes períodos do ano.

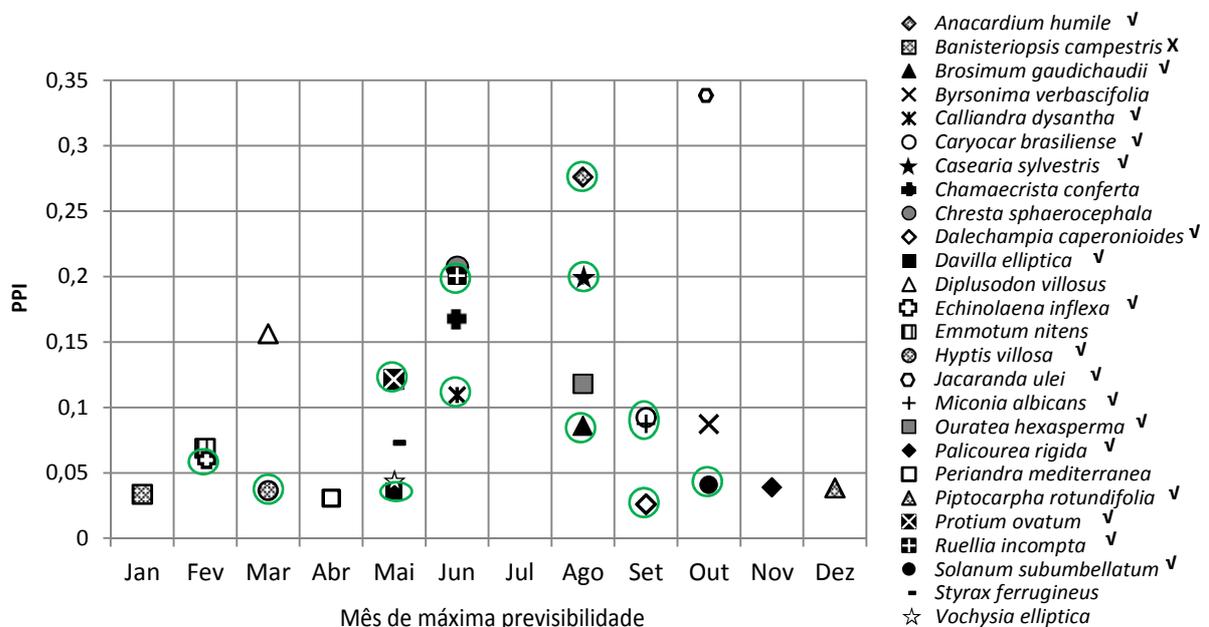


Figura 3.2. Valores de PPI e meses de máxima previsibilidade para a fenofase Botão de 26 espécies estudadas no DF. Cálculo do PPI feito para espécies com mais de 50 eventos válidos. Sinais de visto (✓) indicam espécies encontradas férteis na coleta de julho/2014. Sinais de marcação (X) indicam espécies com todos os indivíduos encontrados estéreis na coleta de julho/2014. Círculos verdes marcam as espécies que apresentavam a fenofase na data da coleta.

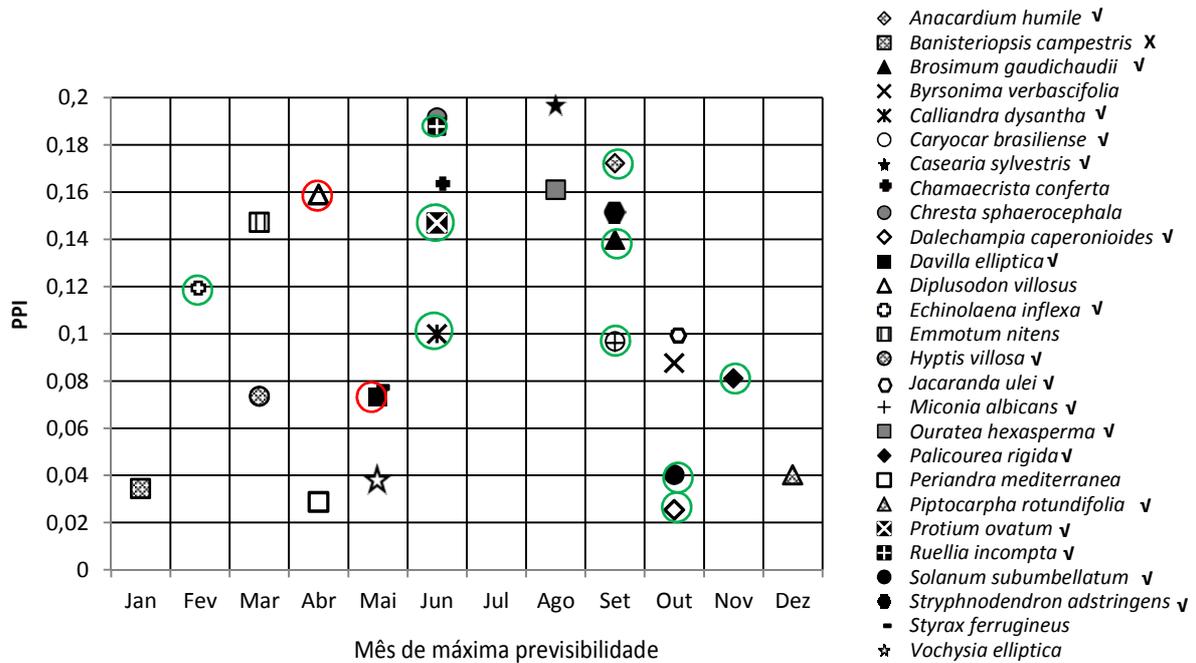


Figura 3.3. Valores de PPI e meses de máxima previsibilidade para a fenofase Flor de 27 espécies estudadas no DF. Cálculo do PPI feito para espécies com mais de 50 eventos válidos. Sinais de visto (✓) indicam espécies encontradas férteis na coleta de julho/2014. Sinais de marcação (X) indicam espécies com todos os indivíduos encontrados estéreis na coleta de julho/2014. Círculos verdes marcam as espécies que apresentavam a fenofase na data da coleta. Círculos vermelhos marcam as espécies que NÃO foram registradas com a fenofase no mês de máxima previsibilidade, nos estudos fenológicos realizados em 2001 ou 2012.

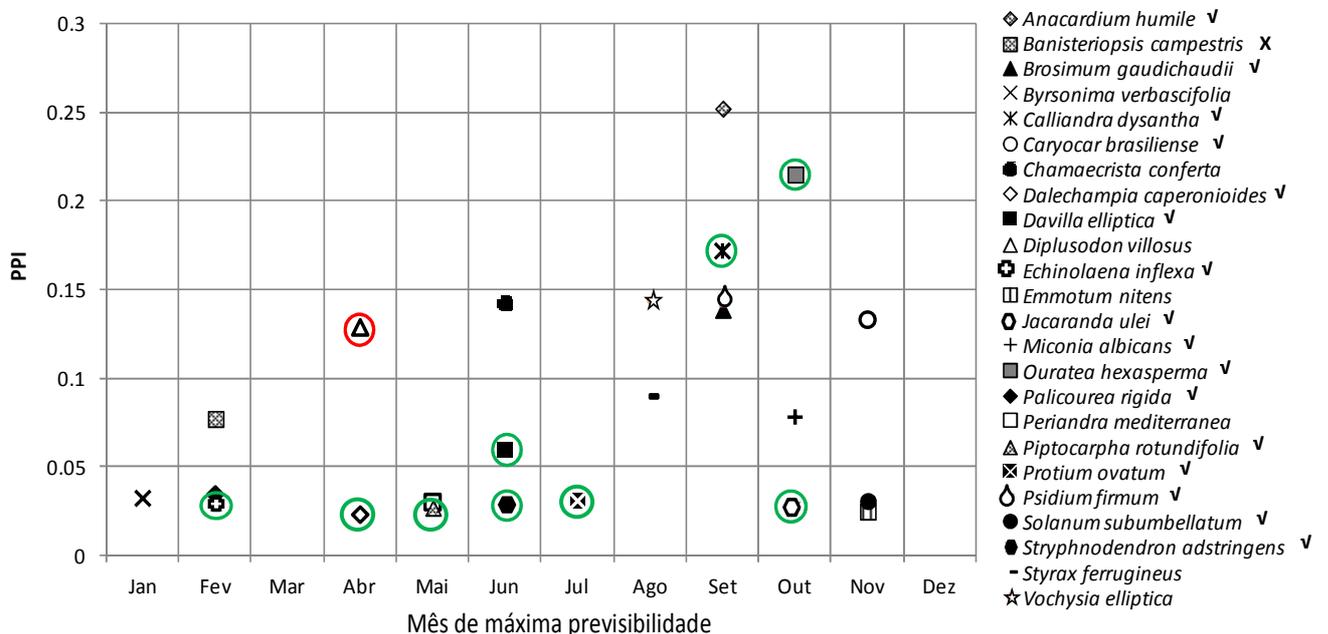


Figura 3.4. Valores de PPI e meses de máxima previsibilidade para a fenofase Fruto de 24 espécies estudadas no DF. Cálculo do PPI feito para espécies com mais de 50 eventos válidos. Sinais de visto (✓) indicam espécies encontradas férteis na coleta de julho/2014. Sinais de marcação (X) indicam espécies com todos os indivíduos encontrados estéreis na coleta de julho/2014. Círculos verdes marcam as espécies que apresentavam a fenofase na data da coleta. Círculos vermelhos marcam as espécies que NÃO foram registradas com a fenofase no mês de máxima previsibilidade, nos estudos fenológicos realizados em 2001 ou 2012.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, S.P. 1995. Grupos fenológicos da comunidade de gramíneas perenes de um campo cerrado no Distrito Federal, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 30(8): 1067-1073.
- Antunes, N.B. & Ribeiro, J.F. 1999. Aspectos fenológicos de seis espécies vegetais em matas de galeria do Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 34(9): 1517-1527.
- Barros, M.A.G. 1996. Biologia reprodutiva e polinização de espécies simpátricas de *Diplusodon* (Lythraceae). **Acta Botânica Mexicana** 37: 11-21.
- Barros, M.A.G. & Caldas, L.S. 1980. Acompanhamento de eventos fenológicos apresentados por cinco gêneros nativos do cerrado (Brasília-DF). **Brasil Florestal** 42: 7-15.
- Batalha, M.A. 2011. O cerrado não é um bioma. **Biota Neotropica** 11(1): 21-24.
- 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.
- Borchert, R. 1996. Phenology and flowering periodicity of neotropical dry forest species: evidence from herbarium collections. **Journal of Tropical Ecology** 12: 65-80.
- Boulter, S.L.; Kitching, R.L. & Howlett, B.G. 2006. Family, visitors and the weather: patterns of flowering in tropical rain forests of northern Australia. **Journal of Ecology** 94: 369–382.
- BRAHMS documentation. 2012. Phenological Predictability Index in Brahms - a tool for herbarium-based phenological studies. <<http://herbaria.plants.ox.ac.uk/bol/content/documentation/BRAHMS-PPI.pdf>>
- Colwell, R.K. 1974. Predictability, constancy and contingency of periodic phenomena. **Ecology** 55(5): 1148-1153.
- Costa, I.R. & Forni-Martins, E. 2007a. Karyotype analysis in South American species of Myrtaceae. **Botanical Journal of the Linnean Society** 155: 571–580.
- _____. 2007b. Chromosome studies in *Gomidesia*, *Marlierea*, *Myrceugenia* and *Myrcia* (Myrtaceae, subtribe Myrciinae). **Kew Bulletin** 62: 113–118.
- Coutinho, L.M. 2006. O conceito de bioma. **Acta Botanica Brasilica** 20(1): 1-11.
- Gimaret-Carpentier, C.; Dray, S. & Pascal, J.P. 2003. Broad-scale biodiversity pattern analyses of the endemic tree flora of the Western Ghats (India) using canonical correlation analysis of herbarium records. **Ecography** 26: 429-444.
- Giuliani, A.L.; Kelly, E.F. & Knapp, A.K. Geographic variation in growth and phenology of two dominant Central US grasses: consequences for climate change. **Journal of Plant Ecology**: 1–11.
- Gomes, S.M.; Kinoshita, L.S. & Castro, M.M. 2008. Hemisincarpia e nectário apendicular enfocados através de ontogênese floral em *Mandevilla velame* (A.St.-Hil.) Pichon, Apocynoideae. **Revista Brasileira de Botânica** 31(1): 81-93.

- Harris, K.M.; Foard, M.B. & Marsico, T.D. 2012. Understanding floristic diversity through a database of Greene County specimens. **Journal of the Arkansas Academy of Science** 66: 94-105.
- INMET. 2014. Instituto Nacional de Meteorologia. <http://www.inmet.gov.br/html/prev_climatica.php>.
- Klink, C.A. & Machado, R.B. 2005. A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade* 1(1): 147-155.
- Kutschenko, D.C. 2009. Fenologia e caracterização de frutos e sementes de um cerrado *sensu stricto*, Jardim Botânico de Brasília, Distrito Federal, Brasil, com ênfase nas espécies com síndrome ornitocórica. **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Botânica, Universidade de Brasília. Brasília-DF.
- Lenza, E. & Klink, C.A. 2006. Comportamento fenológico de espécies lenhosas em um cerrado sentido restrito de Brasília, DF. **Revista Brasileira de Botânica** 29(4): 627-638.
- Malhado, A.C.M.; Malhi, Y.; Whittaker, R. J.; Ladle, R.J.; ter Steege, H.; Phillips, O.L.; Butt, N.; Aragão, L.E.O.C.; Quesada, C.A.; Araujo-Murakami, A.; Arroyo, L.; Peacock, J.; Lopez-Gonzalez, G.; Baker, T.R.; Anderson, L.O.; Almeida, S.; Higuchi, N.; Killeen, T.J.; Monteagudo, A.; Neill, D.; Pitman, N.; Prieto, A.; Salomão, R.P.; Vásquez-Martínez, R. & Laurance, W.F. 2009. Spatial trends in leaf size of Amazonian rainforest trees. **Biogeosciences** 6: 1563–1576.
- Mendonça, R.C., Felfili, J.M., Walter, B.M.T., Silva-Jr., M.C., Rezende, A.V., Filgueiras, T.S., Nogueira, P.E. & Fagg, C.W. 2008. Flora vascular do Cerrado: *Checklist* com 12.356 espécies. Pp.417-1279. In: S.M. Sano, S.P. Almeida & J.F. Ribeiro (eds). **Cerrado: ecologia e flora**. EMBRAPA-CPAC, Planaltina-DF.
- Menzel, A.; Sparks, T.H.; Estrella, N. & Roy, D.B. 2006. Altered geographic and temporal variability in phenology in response to climate change. **Global Ecology and Biogeography** 15: 498–504.
- Miller-Rushing, A.J.; Primack, D.; Primack, R.B.; Imbres, C. & Tredici, P.D. 2004. Herbarium specimens as a novel tool for climate change research. **Arnoldia** 63(2): 26–32.
- Miller-Rushing, A.J.; Primack, R.B.; Primack, D. & Mukunda, S. 2006. Photographs and herbarium specimens as tools to document phenological changes in response to global warming. **American Journal of Botany** 93(11): 1667–1674.
- Myers, N.; Mittermeier, R.A.; Mittermeier, C.G.; Fonseca, G.A.B. & Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature** 403: 853-858.
- Oliveira, E.L. 2005. Fenologia, demografia foliar e características foliares de espécies lenhosas em um cerrado sentido restrito no Distrito Federal e suas relações com as condições climáticas. **Tese de Doutorado**. Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília. Brasília-DF.
- Oliveira, P.E.A.M. 1991. The pollination and reproductive biology of a cerrado woody community in Brazil. **PhD Thesis**. Faculty of Science, University of St. Andrews. St. Andrews, Scotland.
- Proença, C.E.B.; Filer, D.; Lenza, E.; Silva, J.S. & Harris, S.A. 2012. Phenological Predictability Index in BRAHMS: a tool for herbarium-based phenological studies. **Ecography** 35: 289–293.

- Ramos, D.M. 2010. Comportamento fenológico de gramíneas em um campo sujo de Cerrado: da indução de floração à emergência de plântulas. **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Botânica, Universidade de Brasília. Brasília-DF.
- Simon M.F. & Proença, C.E.B. 2000. Phylogeographic patterns of *Mimosa* (Mimosoideae, Leguminosae) in the Cerrado biome of Brazil: an indicator genus of high altitude center of endemism? **Biological Conservation** **96**:279-296.
- Silva, A.P. 1995. Biologia reprodutiva e polinização de *Palicourea rigida* H.B.K. (Rubiaceae). **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Botânica, Universidade de Brasília. Brasília-DF.
- Silva, W.L.S.; Gurgel, E.S.C.; Santos, J.U.M. & Silva, M.F. 2013. Inventário e distribuição geográfica de Leguminosae no arquipélago de Marajó, PA, Brasil. **Hoehnea** **40**(4): 627-647.
- Smith, G.F.; Steenkamp, Y.; Klopper, R.R.; Siebert, S.J. & Arnold, T.H. 2003. The price of collecting life: overcoming the challenges involved in computerizing herbarium specimens. **Nature** **422**: 375-376.
- Tannus, J.L.S.; Assis, M.A. & Morellato, L.P.C. 2006. Fenologia reprodutiva em campo sujo e campo úmido numa área de Cerrado no sudeste do Brasil, Itirapina - SP. **Biota Neotropica** **6**(3) - bn02806032006.
- van Hengstum, T.; Lachmuth, S.; Oostermeijer, J.G.B.; Nijs, H.(J.)C.M.; Meirmans, P.G. & van Tienderen, P.H. 2012. Human-induced hybridization among congeneric endemic plants on Tenerife, Canary Islands. **Plant Systematics and Evolution** **298**: 1119–1131.
- UNESCO. 2002. **Vegetação do Distrito Federal - tempo e espaço**. Unesco Brasil, Brasília-DF. 80p.
- Vasconcelos, T.N.C.; Silva, J.S. & Proença, C.E.B. 2012. Testando a função PPI: análise de previsibilidade fenológica utilizando dados de herbário. **Heringeriana** **6**(1): 66-69.
- Wishnie, M.H.; Dent, D.H.; Mariscal, E.; Deago, J.; Cedeño, N.; Ibarra, D.; Condit, R. & Ashton, P.M.S. 2007. Initial performance and reforestation potential of 24 tropical tree species planted across a precipitation gradient in the Republic of Panama. **Forest Ecology and Management** **243**: 39–49.

O USO DA MORFOMETRIA GEOMÉTRICA NO ESTUDO DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS

RESUMO

A Terra sempre passou por ciclos naturais de aquecimento e resfriamento e as reconstruções de temperatura durante o último milênio indicam que as mudanças da temperatura global não são exclusivamente devido a causas naturais. Mudanças não previstas nos padrões climáticos vêm ocorrendo e a maior concentração de CO₂ na atmosfera, com o consequente aumento da temperatura, têm interferido na distribuição geográfica, fisiologia, fenologia e adaptação *in situ* das espécies. O aquecimento do clima observado ao longo das últimas décadas está constantemente associado às alterações do ciclo hidrológico, como mudanças nos padrões de precipitação. Diferentes técnicas têm sido utilizadas para estudar as variabilidades climáticas e seus efeitos, definir e prever padrões e anomalias. Contudo, a discriminação entre variações interanuais e tendências de longo prazo é de elevada importância para que os objetivos do estudo sejam alcançados, assim como a escolha da escala temporal e/ou espacial. Este trabalho vem propôr o uso da morfometria geométrica no estudo de variáveis climáticas numa escala local, para que dados climáticos de diversas décadas possam ser comparados entre si e os anos climaticamente semelhantes sejam identificados. Para tal, gráficos circulares das variáveis temperatura máxima, temperatura mínima e precipitação do período de 1963-2013, obtidos da estação climática principal de Brasília-Distrito Federal, foram confeccionados e submetidos às análises *Thin-Plate Spline* (TPS) e de UPGMA. Os agrupamentos apresentaram-se fracos para as três variáveis, contudo, por meio da técnica de morfometria geométrica foi possível verificar que a maior variabilidade interanual da temperatura máxima ocorre em outubro, da temperatura mínima em agosto e da precipitação em novembro, enquanto as menores variações ocorrem em abril, março e julho, respectivamente. A morfometria geométrica foi útil também no reconhecimento de anos com *El Niño* e *La Niña* para a precipitação, variável climática que apresentou a maior variabilidade entre anos. Concluímos que a técnica de *Thin-Plate Spline* tem potencial para o estudo de variáveis climáticas, principalmente na identificação de variabilidades entre períodos, no entanto, melhores resultados podem ser obtidos se a análise for restrita ao período chuvoso, quando maiores variações climáticas ocorrem na nossa região.

Palavras-chave: Distrito Federal, *El Niño*, *La Niña*, TPS, variabilidade climática.

1. INTRODUÇÃO

Com o intuito de estudar variabilidades, tendências, padrões e anomalias de variáveis climáticas, assim como a distribuição espacial de regiões climáticas, diferentes técnicas multivariadas, como análises de agrupamento (Romero *et al.* 1999; Ramos 2001; Mitterstein & Severo 2007), principais componentes (Maheras & Kutiel 1999; Romero *et al.* 1999; Salinger & Mullan 1999) e análise de espectro singular (Moron 1997), e testes não paramétricos como o de Mann-Kendall (Blain 2010, 2011; Seiler *et al.* 2013) têm sido largamente utilizadas. No entanto, é consenso de que o entendimento do sistema climático, em termos de interações dinâmicas e processos interescares, é de grande complexidade (Nunes & Lombardo 1995). Definir a escala correta e discriminar variações climáticas interanuais de tendências de longo prazo é de elevada importância para que os objetivos do estudo sejam alcançados.

A escala é um fator essencial ainda pouco discutido dentro de todo o processo que envolve os discursos sobre aquecimento global e é mais que uma dimensão espacial ou temporal, é um processo dinâmico dotado de atributos altamente sensíveis aos ritmos, variações e alterações de todas as forças terrestres, atmosféricas e cósmicas que, de alguma forma, exercem ou provocam qualquer tipo de interferência no sistema climático (Zangalli Junior & Sant'Anna Neto 2012).

A Terra sempre passou por ciclos naturais de aquecimento e resfriamento, no entanto, as reconstruções de temperatura durante os últimos 1.000 anos indicam que as mudanças da temperatura global não são exclusivamente devido a causas naturais (Marengo 2006). Sobre a escala regional existem efeitos como o da continentalidade e diferenças de relevo, fatores geográficos que atuam com grande influência na conformação dos climas regionais. A intensificação e modificação das estruturas geográficas (espaço) pelo homem atuam também na conformação do clima regional, e é nessa escala que se repercute e observa a ação antrópica, principalmente no clima. Porém, quando se debate as mudanças climáticas essas são representadas, quase sempre, na escala global (Zangalli Junior & Sant'Anna Neto 2012).

De acordo com relatórios técnicos voltados ao tema (IPCC 2007), o termo mudança climática refere-se a alterações nos padrões do clima, que podem ser identificadas por meio de alterações persistentes por longos períodos (decadais), englobando todas as formas de inconstância do clima – como tendências ou variações – independentemente de suas causas. Tendências climáticas caracterizam-se pela suave elevação/diminuição nos valores médios de uma série meteorológica, enquanto variações climáticas consistem em flutuações em escala de tempo suficientemente longa, capaz de resultar em inconstância nos parâmetros estatísticos relativos a períodos sucessivos de,

pelo menos, 30 anos da variável meteorológica em questão. Segundo Blain (2010), estudos de séries temporais meteorológicas são capazes de demonstrar claramente a inconstância do clima.

As atuais mudanças nos padrões climáticos não eram esperadas pelas projeções do IPCC até 2020. De 1970 a 2000, a concentração de CO₂ na atmosfera aumentou 1.5 ppm/ano e, desde então, tem crescido a 2.1 ppm a cada ano, alcançando 392.4 ppm em abril de 2010 (The Millennium Project 2010). Hughes (2000) desenvolveu um modelo que mostra que a maior concentração de CO₂ na atmosfera e o conseqüente aumento da temperatura geram efeitos sobre a distribuição geográfica, a fisiologia, a fenologia e a adaptação *in situ* das espécies. No entanto, Zangalli Junior & Sant'Anna Neto (2012) alertam para o cuidado na utilização de modelos globais para expressão do clima regional, que tende a falhar ao desconsiderar a complexidade dos processos locais envolvidos.

Segundo o IPCC (2007), a complexidade do sistema climático acaba por tornar incógnitas, elementos que muitas vezes só são representados em escalas muito pequenas, como é o caso das nuvens, dos aerossóis, das oscilações oceânicas e da vegetação. Por outro lado, a compreensão das mudanças globais que vêm afetando o ambiente como um todo se faz a partir de avaliações não apenas na escala local, mas no ambiente global (Woodmansee 1988 *apud* Nunes & Lombardo 1995). Variadas pesquisas assumem que variações locais e regionais do tempo e clima não poderiam ser compreendidas sem a consideração do globo todo (Nunes & Lombardo 1995).

Independente disso, nas últimas décadas, o aquecimento do clima tem sido constantemente associado às alterações do ciclo hidrológico, como mudanças nos padrões de precipitação (intensidade e extremos), derretimento de geleiras, aumento do vapor de água atmosférico e mudanças na umidade do solo. A variabilidade natural existente – em escalas de tempo interanuais e decadais – é significativa em todos os componentes do ciclo hidrológico e muitas vezes mascaram tendências de longo prazo (Bates *et al.* 2008). Na América do Sul, além da variabilidade climática, tendências de longo prazo têm sido detectadas (Seiler *et al.* 2013).

O acréscimo de 1.4 a 5.8 °C na temperatura mundial, além de ter um impacto significativo sobre a intensidade e a variabilidade do ciclo hidrológico (IPCC 2001, 2007), pode causar grandes impactos negativos sobre a vegetação nas escalas local, regional e global (Chuine *et al.* 2000) e alterar o ritmo de importantes eventos do desenvolvimento e/ou do comportamento da biota (Fitter & Fitter 2002). Em uma menor escala, mudanças sazonais tendem a causar mudanças na taxa de polinização e afetar o sucesso reprodutivo das espécies (Kudo & Hirao 2006) se as respostas fenológicas às mudanças ambientais diferirem entre plantas e polinizadores (Kudo *et al.* 2004). Segundo Fitter & Fitter (2002), um fator determinante para o sucesso reprodutivo das plantas é o ritmo da floração e a baixa atividade de agentes polinizadores pode levar à diminuição na produção e ao desequilíbrio do ecossistema, uma vez que uma mudança nesse ritmo pode influenciar

diretamente os animais para os quais o pólen, o néctar e, posteriormente, os frutos e sementes são importantes recursos. No bioma Cerrado o aumento da temperatura pode ser responsável pela perda de espécies da fauna e da flora, diminuição no número de espécies arbóreas e sua substituição por espécies herbáceas (Mudanças Climáticas 2011), além de mudanças nos padrões fenológicos de plantas nativas (Batalha & Mantovani 2000).

Sabe-se que na escala interanual, a variabilidade no Oceano Pacífico é a principal fonte de influência para o clima de algumas regiões e esta variabilidade temporal é resultante não só da variação interanual do ciclo de *El Niño*-Oscilação Sul (ENOS), mas também de uma variação interdecadal – a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) (Zhang *et al.* 1997). Segundo Molion (2005), a ODP é uma configuração com variações semelhantes ao *El Niño*, causada pelas mudanças na temperatura da superfície do Oceano Pacífico, que persiste por 20-30 anos e apresenta fases frias e quentes.

Diversos estudos associam as variabilidades de temperaturas e precipitação com os fenômenos ENOS e ODP, principalmente nas regiões Sul (Cera *et al.* 2009; Streck *et al.* 2009) e Nordeste do país (Silva *et al.* 2011). Contudo, a incerteza com relação ao sinal das mudanças, principalmente de precipitação, tem tornado impossível estabelecer categoricamente os efeitos das mudanças climáticas globais sobre os ecossistemas, principalmente, quando se considera que, estando a maior parte do país situada em regiões tropicais e subtropicais, fora do alcance de geadas e temperaturas muito baixas, o fator climático determinante é o regime de chuvas (Nobre 2001). De acordo com documentos técnicos do IPCC (Bates *et al.* 2008), a precipitação de regiões tropicais e subtropicais determinam as médias globais. Para Sousa & Nery (2002) as ocorrências de episódios ENOS, determinados pelas anomalias da pressão atmosférica e da temperatura da superfície do mar, estão entre os principais fatores de grande escala que contribuem para as mudanças na circulação atmosférica, responsáveis pela variabilidade interanual da precipitação pluviométrica e, no Brasil, o ritmo de chuvas sofre grande interferência da intensidade desses eventos.

É importante que se considere não somente os totais sazonais de chuvas, mas também a variabilidade temporal destas em uma escala de tempo ainda menor: a intrasazonal, pois mesmo que em um ano os totais pluviométricos sobre uma região estejam em torno da média climatológica, ele pode representar um ano com severas restrições hídricas, se durante o período chuvoso ocorrer um ou mais períodos prolongados de estiagem. Desta forma, não somente os totais pluviométricos, mas principalmente a variabilidade intrasazonal da pluviometria é de extrema relevância (Nobre & Melo 2001).

Neste contexto, este trabalho vem propor o uso da morfometria geométrica no estudo de variáveis climáticas numa escala local e decenal, para que dados climáticos de diversas décadas

possam ser comparados entre si e que anos climaticamente semelhantes sejam identificados. Assim, padrões fenológicos podem ser interpretados à luz das características climáticas do período analisado, seja ele no presente ou no passado.

2. OBJETIVOS

- Testar a capacidade da morfometria geométrica, mais especificamente a técnica de *Thin-Plate Spline*, de: (1) identificar anos climatologicamente semelhantes no Distrito Federal, no que diz respeito às variáveis de temperatura – máxima e mínima – e precipitação, durante um período de 50 anos; e (2) distinguir anos com presença de fenômenos climáticos, como *El Niño* e *La Niña*, de anos considerados normais, ou seja, com ausência de eventos desse tipo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Confecção dos climatogramas

Os dados climatológicos para o período de Janeiro/1963 a Junho/2013 foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), sendo fornecidos dados diários – referentes aos parâmetros temperatura máxima, temperatura mínima e precipitação – da estação climática principal de Brasília (Estação 83377), localizada sob as coordenadas 15°78'S - 47°93'W e altitude 1159.54 m. A partir destes dados, foram confeccionados climatogramas anuais circulares para o período.

Os polígonos anuais foram criados para cada ano/parâmetro com início em 1 de julho e término em 30 de junho do ano seguinte. Para isso, foram calculadas médias dos valores diários de cada decêndio do mês, assim, cada mês ficou representado por três valores (três decêndios). As médias foram, então, transformadas em ângulos e distribuídas no histograma circular, que apresentou 36 intervalos de 10°, sendo o primeiro decêndio de julho (dias 01 a 10) considerado 5° e cada decêndio posterior (dias 11 a 20, 21 a 31, etc.) correspondendo a mais 10°.

Para os gráficos de temperatura máxima foi utilizada escala máxima de 40°C, enquanto para os gráficos de precipitação e temperatura mínima o valor máximo de cada escala foi 35 mm e 35°C, respectivamente.

As análises estatísticas circulares, assim como os climatogramas anuais circulares, foram realizadas com o uso do *software* Oriana 4.2 (Kovach Computing Services 2012).

3.2. Morfometria Geométrica e Thin-Plate Spline

A Morfometria Geométrica é um conjunto de técnicas para o estudo do tamanho e forma de estruturas biológicas, em que são utilizados marcos anatômicos (*landmarks*) ou contornos (*outlines*). No entanto, há algumas décadas, os métodos para descrever e comparar estatisticamente os diversos tipos de curvas em formas biológicas eram mais tradicionais e utilizavam variáveis de quantificação de forma como, por exemplo, as razões entre distâncias ou entre ângulos de estruturas. Os resultados eram expressos, principalmente, por números ou gráficos e a forma da configuração original não era usada na análise, tornando o resultado pouco confiável (Rohlf & Marcus 1993; Rohlf 1999). Strauss & Bookstein (1982) propuseram então uma metodologia diferente: as redes de treliça (*truss networks*), uma técnica de morfometria multivariada cujo sistema de medições se baseia na seleção, *a priori*, de pontos ou marcos anatômicos, e nas distâncias a eles associadas, ao contrário da morfometria tradicional que não leva em conta informações sobre as relações espaciais entre as variáveis medidas (Rohlf 1999).

Contudo, a necessidade de descrever e localizar mais claramente as regiões de mudanças na forma fez surgir a morfometria geométrica, que trabalha com as posições relativas (coordenadas cartesianas) dos marcos anatômicos (Francoy & Fonseca 2010) e é capaz, sobretudo, de reconstruir e reconstituir graficamente as diferenças de forma, oferecendo maior informação morfológica e sendo mais eficaz na interpretação visual (Bookstein 1991; Rohlf 1999).

Para Strauss & Bookstein (1982) as medições em sistemas convencionais amostram preferencialmente certos eixos de variação, resultando uma cobertura desigual da forma em estudo, além de muitas medições originarem-se em um único ponto, geralmente localizado na extremidade da forma. Reis (1988) lembra que tais pontos são geralmente definidos em termos de distâncias máximas e mínimas, e a sua colocação pode não ser homóloga de uma forma (*shape*) para outra. Assim, é pressuposto deste novo modelo que os *landmarks* sejam homólogos de um *shape* para outro, e que sua configuração pode ser reconstruída a partir das medidas das suas distâncias (Reis 1988).

De acordo com Zelditch *et al.* (2004), *landmarks* são pontos nos quais as estruturas de interesse são amostradas e que podem ser reconhecidos no mesmo local em todos os exemplares ou espécimes estudados – anos, neste estudo – permitindo a identificação das variações de forma entre tais exemplares ou espécimes. As coordenadas originais dos *landmarks* de uma configuração caracterizam o “espaço da figura” (*figure space*), de dimensão pk , em que p marcos estão dispostos em k coordenadas (Rohlf 1996).

Na morfometria geométrica, o tamanho é definido em termos do centroide da configuração (*centroid size*), isto é, do ponto médio dos marcos anatômicos, e seu cálculo é feito utilizando-se, primeiramente, as coordenadas dos pontos (*landmarks*) para a definição do centro da figura; então os quadrados das distâncias de cada ponto para o centro são somados, definindo-se o tamanho da área; e a raiz quadrada deste valor é calculada, resultando no *centroid size* (Monteiro & Reis 1999). Este centroide é o ponto no qual as configurações são sobrepostas, centradas em um lugar comum no espaço em um processo chamado translação, proporcionalizadas de modo que haja padronização no tamanho a partir do tamanho do centroide e rotacionadas para que os efeitos da orientação das coordenadas sejam removidos. As coordenadas resultantes deste processo localizam um ponto no espaço de forma (*shape space*) chamado Espaço de Forma de Kendall e formam uma configuração de referência (*consensus*) que pode ser sujeita a análises estatísticas variadas, como análises de componentes principais e regressão (Monteiro & Reis 1999).

O Espaço de Forma de Kendall é um espaço curvo, cuja métrica é formada pela distância de Procrustes que determina que o espaço de forma seja não-Euclidiano (Rohlf 1996; Monteiro & Reis 1999), isto é, um espaço não-linear. Para que os métodos de Análise Estatística Multivariada sejam empregados deve ser feita uma aproximação ao Espaço de Forma através de uma projeção dos *shapes* num Espaço 'Tangente' de Forma, que permite a descrição da variabilidade usando análise estatística robusta, bem como a utilização da função *Thin-Plate Spline* (TPS) que ilustra e descreve os resultados em termos de deformações (Rohlf 1999). A construção do Espaço Tangente de Forma, assim como a transformação de um espaço não-linear em outro linear, é explicada com detalhes em Rohlf (1999) e Monteiro & Reis (1999).

A função TPS é uma matriz de torção/deformação (*bending energy matrix*) que analisa quantitativamente a mudança da forma, expressando as diferenças entre as configurações como uma deformação contínua (Bookstein 1989). Bookstein (1989) explica que esta função se comporta como uma placa fina de metal, de proporções lineares infinitas, que é deformada para ajustar a configuração de *landmarks* que esteja sobre ela em uma configuração abaixo dela, sendo esta a configuração que se quer estudar. Ou seja, é como se houvesse uma placa de metal com os *landmarks* da configuração em estudo e outra, sob ela, com os pontos da configuração de referência (configuração média ou consenso). A placa superior irá se deformar até que todos os pontos (*landmarks* homólogos) estejam sobrepostos aos da configuração média. A força feita para deformar a placa é uma quantificação das diferenças entre as formas, assim, a energia necessária para a deformação depende da distância entre os pontos. Quanto mais próximos, mais energia é necessária para a deformação da placa.

A matriz de torsão é decomposta em autovalores (*eigenvalues*) e autovetores (*eigenvectors*), cujos valores estão associados entre si. Os autovetores da matriz são as Deformações Principais (*Principal Warps*) que descrevem uma possível mudança de forma aplicável à configuração de referência, expressando os modos de variação possível nos espécimes. Cada uma dessas deformações principais tem um autovalor associado, cujo valor é diretamente proporcional à energia necessária para deformar a configuração de pontos ao longo da deformação principal, ou seja, os maiores autovalores estão associados às deformações principais que descrevem mudanças de forma em pequena escala (muito localizadas), enquanto os menores autovalores associam-se às deformações principais que descrevem transformações em maior escala (Bookstein 1989; Monteiro & Reis 1999).

Dessa forma, as configurações sobrepostas, projetadas nas *Principal Warps*, descrevem as diferenças na forma como desvios da configuração média. Essas projeções resultam em escores que descrevem, por sua vez, o quanto de cada deformação principal foi necessário para transformar a configuração de referência na configuração de cada espécime (Monteiro & Reis 1999). Esses escores são chamados pesos (*weights*) porque ponderam as mudanças de forma em cada deformação principal (Rohlf 1996). Por outro lado, os vetores dos escores são chamados Deformações Parciais (*Partial Warps*) e descrevem uma porção da variação total, que representa as características de cada indivíduo (Bookstein 1991).

Bookstein (1989) sugeriu ainda a realização de uma análise de componentes principais a partir dos escores das Deformações Parciais. Essa análise é realizada calculando-se uma matriz de variância-covariância desses escores, os autovalores e os autovetores, que são os componentes principais e denominam-se Deformações Relativas (*Relative Warps*). Essas deformações relativas descrevem, então, os eixos ortogonais de maior variação da forma a partir das deformações parciais e, assim, é possível capturar e representar a maior parte da variação ao longo de alguns poucos eixos, reduzindo o número de dimensões sem perder a maior parte da informação. Além disso, os autovalores relativos representam uma razão entre a variância dos escores e a energia de deformação (Bookstein 1991).

3.3. Análise dos dados

Cada climatograma, gerado como imagem no Oriana 4.2, foi analisado através de técnicas de morfometria geométrica, mais especificamente o pacote computacional TPS - *Thin-Plate Spline* (SB Morphometrics 2011).

Para a inserção dos *landmarks* e posterior análise dos histogramas, cada imagem, de extensão jpeg, foi transformada em um único arquivo *.tps, utilizando para isto o programa tpsUtil, versão 1.58 (Rohlf 2013a). Em seguida, por meio do programa tpsDig2, versão 2.17 (Rohlf 2013b), os pontos anatômicos foram marcados na extremidade de cada barra do gráfico, e na região mais central, somando 37 marcos anatômicos, como exemplificado na figura 1. O 37º ponto foi marcado para que o *software* considerasse o centro da figura no cálculo do tamanho do centroide. Sendo assim, visto que os *landmarks* foram inseridos manualmente, a variação existente nesse ponto refere-se ao erro humano. No entanto, com o intuito de prevenir qualquer erro causado por tal variação, a inclusão dos marcos em cada gráfico foi feita três vezes e verificou-se que a pequena variação no local dos pontos não gera diferença no resultado.

O consenso médio dos espécimes, suas coordenadas e deformações parciais e relativas foram determinados pelo programa tpsRelw, versão 1.46 (Rohlf 2008), do qual foram gerados *scores* usados na análise de agrupamento, mais precisamente no método UPGMA (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean*), que criou dendogramas baseados na distância Euclidiana e calculou o coeficiente de correlação cofenética (ccc), que demonstra se a representatividade das reais distâncias entre os anos através do dendrograma é ou não robusta. Para isto, seguiu-se o valor postulado por Rohlf & Fisher (1968) de 0.7 – valores menores que este indicam baixa dissimilaridade e agrupamento pouco robusto. A análise de agrupamento foi realizada no programa estatístico PAST – versão 2.17c (Hammer *et al.* 2001).

A informação sobre presença de *El Niño* ou *La Niña* foi obtida no sítio do INPE/CPTEC (<http://enos.cptec.inpe.br/>) até o ano de 2009 (período 2009-10), a partir daí as informações foram retiradas de publicações presentes no sítio da Organização Meteorológica Mundial (https://www.wmo.int/pages/index_en.html).

Por meio do programa tpsRelw foi possível também a disposição de cada ano estudado – de acordo com suas deformações relativas (RW) – em gráficos cartesianos, assim como a visualização da forma associada aos escores positivos e negativos de cada eixo (“x”, “y”).

Os dados de temperaturas máxima, mínima e precipitação foram analisados do período de Julho/1963 a Junho/2013, com exceção de alguns anos devido à falta de informações. Apresentaram falhas nos dados (≥ 3 dias no mesmo decêndio sem informação) os anos 1979, 1981, 1983, 1989 e 1993, impedindo que os períodos 79-80, 80-81, 83-84, 88-89 e 93-94 fossem analisados.

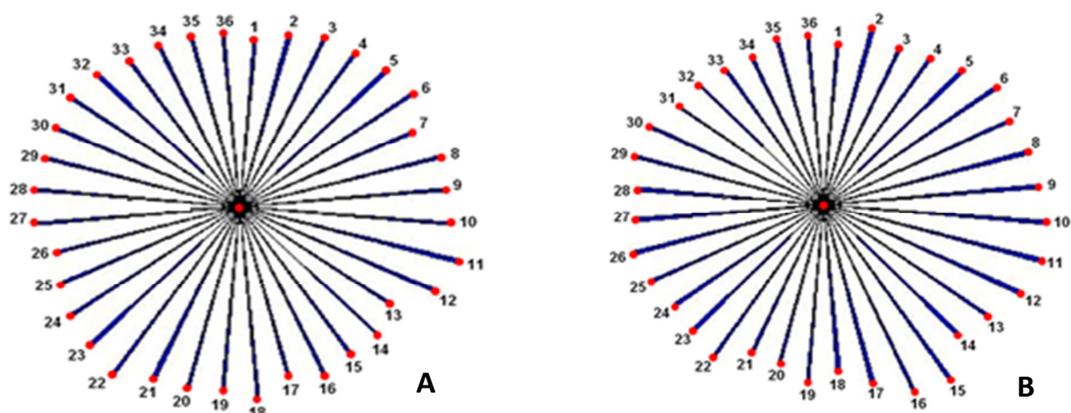


Figura 4.1. Landmarks inseridos nos climatogramas pelo software tpsDig. No centro está posicionado o 37° landmark. As imagens referem-se ao parâmetro Temperatura Máxima dos anos 2000-2001 (A) e 1963-1964 (B).

4. RESULTADOS

4.1. Análise morfométrica dos histogramas circulares e agrupamento dos anos

Temperatura Máxima

O procedimento de superimposição ortogonal dos quadrados mínimos mostrou que, apesar de o valor da variância (s^2) em cada decêndio ser menor que 1 (Tabela 4.1), o gráfico de consenso mostrou variações nas formas dos gráficos que podem ser observadas na dispersão dos pontos referentes a cada ano (círculos vazados) quando comparados aos pontos referentes à forma média (círculos cheios) (Figura 4.2). A maior variação de forma ocorreu no segundo decêndio de Outubro (LM#11), seguido pelo primeiro decêndio de Novembro (LM#13), enquanto as menores variações ocorreram no segundo decêndio de Junho (LM#35) e primeiros dez dias de Abril (LM#28), desconsiderando aqui o LM#37.

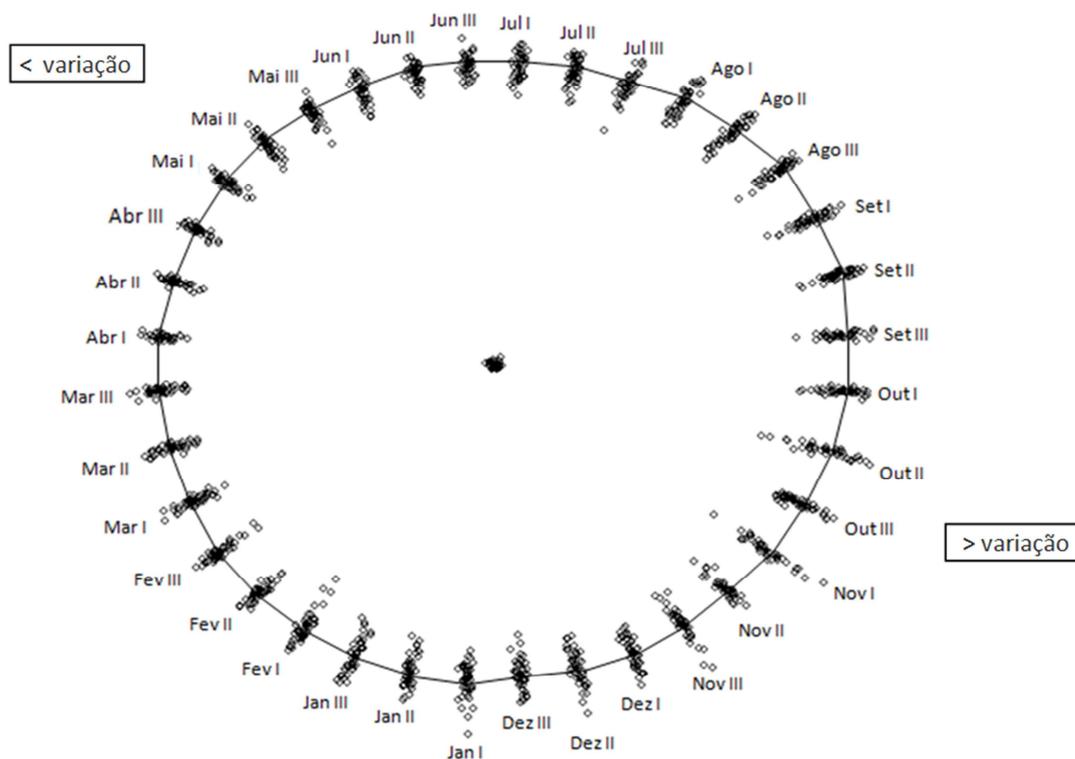


Figura 4.2. Gráfico de consenso dos histogramas circulares de temperatura máxima (n=45) sobrepostos pelo procedimento de quadrados mínimos. As linhas ligam os marcos (círculos cheios) da configuração média (CM) e a variação na forma pode ser observada pelos círculos vazados presentes em torno da CM.

Os 37 marcos anatômicos geraram 44 deformações relativas dos quais pouco mais de 70% foi explicado pelos 10 primeiros eixos. A alta similaridade observada entre os decêndios de cada ano é confirmada pela análise de agrupamento que resultou em um dendrograma com baixa distância euclidiana (menor que 0.1) (Figura 4.3), valor de correlação cofenética abaixo de 0.7 (0.6981) e *bootstraps* menores que 50 para todos os nós, o que torna os grupos formados pouco confiáveis.

A ordenação (PCA) gerada a partir das deformações relativas (*relative warps*) está representada na figura 4, juntamente com as grades de deformação, onde é possível perceber que as diferenças na forma ocorrem principalmente na parte direita inferior do histograma, correspondente ao período que vai de outubro a dezembro – estação primaveril.

Ao considerar os anos com presença de *El Niño* ou *La Niña* não foi possível verificar nenhuma interferência desses fenômenos no agrupamento ou na ordenação, apesar de, dentre os anos com *La Niña*, dois (1984-85 e 2007-08) terem se localizado mais separadamente, no quadrante negativo dos eixos 1 e 2 do gráfico de ordenação (Figura 4.4).

Tabela 4.1. Variações de cada marco anatômico (LM#) dos histogramas circulares de temperatura máxima. *Para melhor visualização, os valores de variância (s^2) foram multiplicados por dez mil. **Valores máximo e mínimo da temperatura máxima para cada decêndio ($^{\circ}\text{C}$). Em negrito e itálico estão o maior e menor valores de variância.

| LM# | Mês/Decêndio | Variância (x 10000)* | | | Temperatura Máxima** | |
|-----|--------------------------|----------------------|---------|---------------|----------------------|-------|
| | | s^2_x | s^2_y | s^2 | mín. | máx. |
| 1 | Julho/1 ^o | 0.0436 | 0.3513 | 0.3950 | 22.72 | 27.36 |
| 2 | Julho/2 ^o | 0.0453 | 0.4421 | 0.4875 | 22.10 | 27.57 |
| 3 | Julho/3 ^o | 0.1572 | 0.4372 | 0.5945 | 21.61 | 28.5 |
| 4 | Agosto/1 ^o | 0.2556 | 0.4148 | 0.6704 | 23.88 | 29.24 |
| 5 | Agosto/2 ^o | 0.4392 | 0.3514 | 0.7905 | 23.52 | 30.14 |
| 6 | Agosto/3 ^o | 0.4861 | 0.2388 | 0.7248 | 23.07 | 30.2 |
| 7 | Setembro/1 ^o | 0.7063 | 0.1545 | 0.8608 | 24.01 | 30.8 |
| 8 | Setembro/2 ^o | 0.5485 | 0.0690 | 0.6175 | 24.3 | 31.75 |
| 9 | Setembro/3 ^o | 0.7012 | 0.0205 | 0.7217 | 24.82 | 31.62 |
| 10 | Outubro/1 ^o | 0.7962 | 0.0159 | 0.8121 | 24.58 | 32.3 |
| 11 | Outubro/2 ^o | 1.4909 | 0.1212 | 1.6122 | 21.8 | 32.6 |
| 12 | Outubro/3 ^o | 0.6989 | 0.1559 | 0.8549 | 24.79 | 32.08 |
| 13 | Novembro/1 ^o | 0.9199 | 0.4385 | 1.3584 | 22.11 | 32.27 |
| 14 | Novembro/2 ^o | 0.2944 | 0.2631 | 0.5575 | 23.4 | 29.18 |
| 15 | Novembro/3 ^o | 0.3237 | 0.7065 | 1.0301 | 23 | 31.6 |
| 16 | Dezembro/1 ^o | 0.0992 | 0.5779 | 0.6771 | 24.2 | 30.8 |
| 17 | Dezembro/2 ^o | 0.0877 | 0.8142 | 0.9019 | 22.48 | 30.22 |
| 18 | Dezembro/3 ^o | 0.0424 | 0.6995 | 0.7419 | 22.87 | 29.25 |
| 19 | Janeiro/1 ^o | 0.0367 | 0.7747 | 0.8114 | 23.74 | 31.54 |
| 20 | Janeiro/2 ^o | 0.0778 | 0.8053 | 0.8831 | 23.24 | 29.65 |
| 21 | Janeiro/3 ^o | 0.1511 | 0.7672 | 0.9183 | 23.63 | 29.48 |
| 22 | Fevereiro/1 ^o | 0.2980 | 0.5964 | 0.8944 | 21.85 | 29.99 |
| 23 | Fevereiro/2 ^o | 0.2672 | 0.2430 | 0.5102 | 22.23 | 30.19 |
| 24 | Fevereiro/3 ^o | 0.4109 | 0.2008 | 0.6117 | 22.83 | 29.14 |
| 25 | Março/1 ^o | 0.5029 | 0.1318 | 0.6347 | 23.77 | 29.9 |
| 26 | Março/2 ^o | 0.5240 | 0.0589 | 0.5829 | 24.97 | 30.40 |
| 27 | Março/3 ^o | 0.4274 | 0.0239 | 0.4513 | 24.2 | 29.3 |
| 28 | Abril/1 ^o | 0.2335 | 0.0184 | 0.2519 | 24.45 | 29.6 |
| 29 | Abril/2 ^o | 0.2822 | 0.0399 | 0.3221 | 23.84 | 29.16 |
| 30 | Abril/3 ^o | 0.2033 | 0.0624 | 0.2657 | 23.8 | 28.64 |
| 31 | Mai/1 ^o | 0.2016 | 0.1170 | 0.3186 | 23.52 | 28.01 |
| 32 | Mai/2 ^o | 0.2246 | 0.2438 | 0.4684 | 22.79 | 28.21 |
| 33 | Mai/3 ^o | 0.0965 | 0.2332 | 0.3298 | 22.55 | 27.51 |
| 34 | Junho/1 ^o | 0.0727 | 0.4069 | 0.4796 | 22.62 | 27.72 |
| 35 | Junho/2 ^o | 0.0403 | 0.2111 | 0.2514 | 22.82 | 27.16 |
| 36 | Junho/3 ^o | 0.0363 | 0.2862 | 0.3225 | 22.88 | 27.15 |
| 37 | Centro | 0.0387 | 0.0231 | 0.0618 | -- | -- |

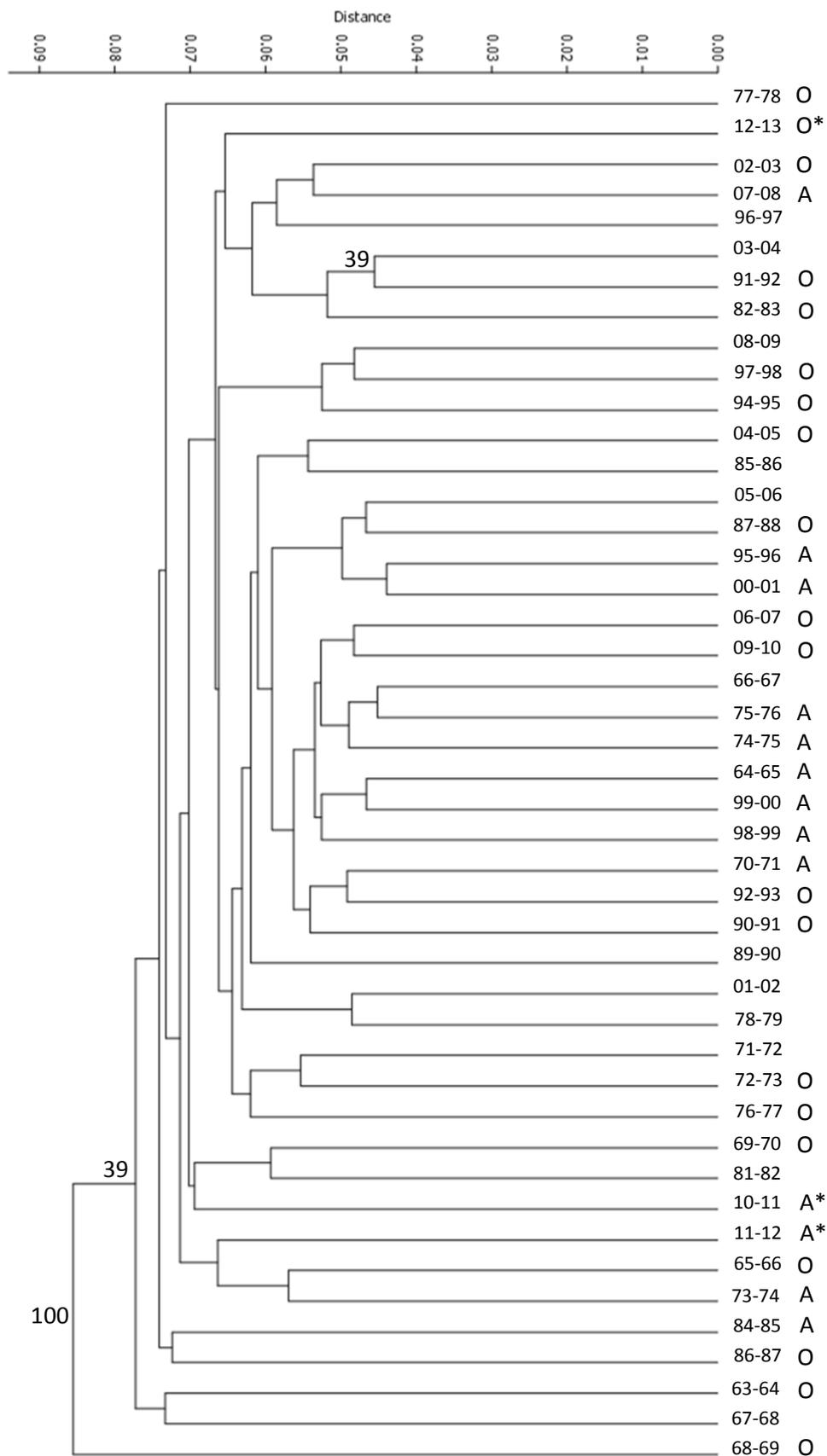


Figura 4.3. Dendrograma para os histogramas circulares de temperatura máxima baseado nas Distâncias Euclidianas computadas dos escores das deformações relativas ($\alpha = 0$). Os números apresentados referem-se aos maiores valores de *bootstrap* obtidos. O = anos com *El Niño*. A = anos com *La Niña*. Dados publicados pelo CPTEC/INPE, exceto * = informação obtida no sítio da Organização Meteorológica Mundial.

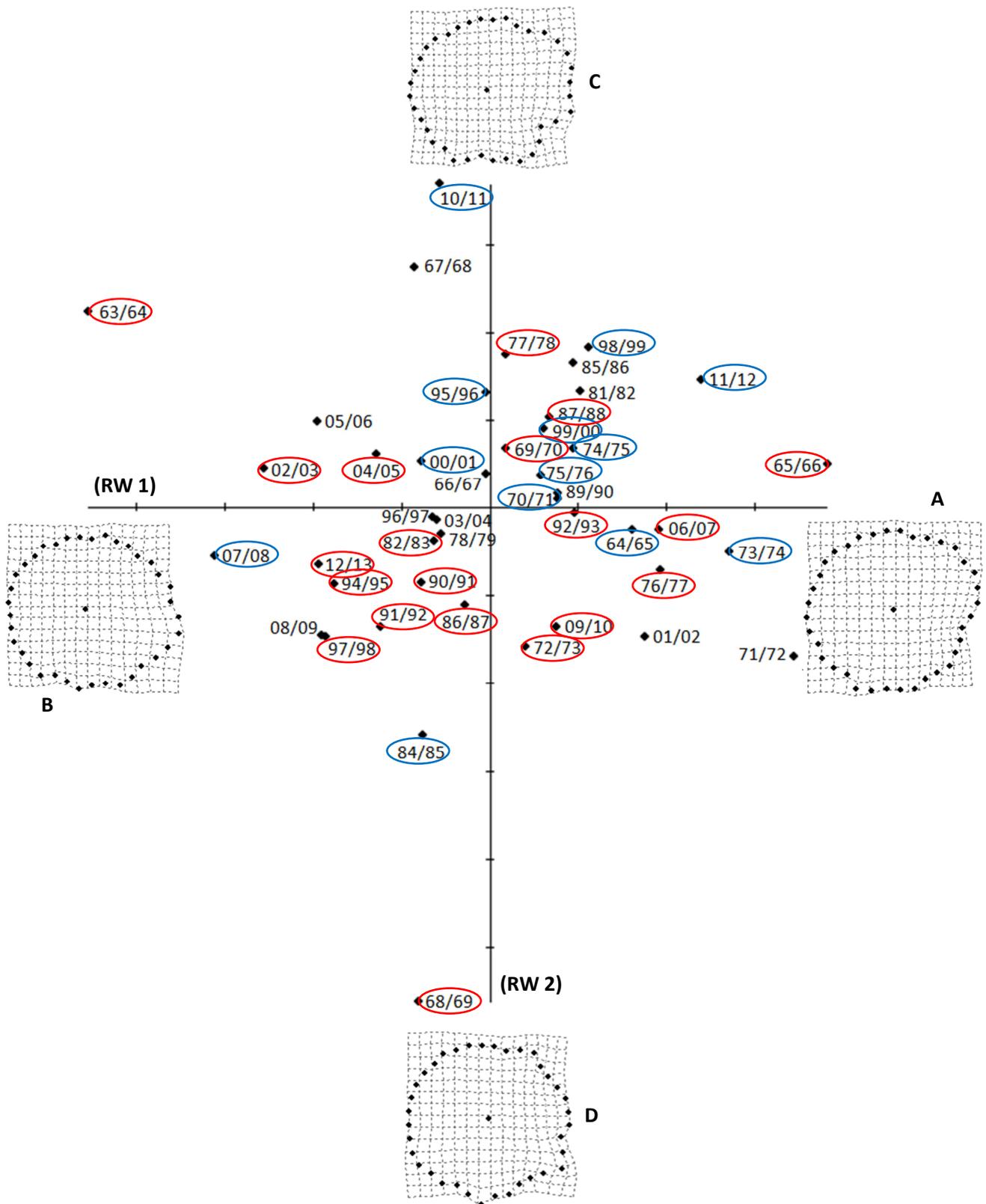


Figura 4.4. Análise das componentes principais e deformações relativas (RW) para valores de $\alpha = 0$ dos histogramas circulares de temperatura máxima. A = visualização da forma associada aos escores positivos do eixo 1 das RW. B = visualização da forma associada aos escores negativos do eixo 1 das RW. C = visualização da forma associada aos escores positivos do eixo 2 das RW. D = visualização da forma associada aos escores negativos do eixo 2 das RW. Para cada eixo as deformações correspondem às coordenadas 0.05 e -0.05. Estão circulos os anos com presença do fenômeno climático *La Niña* (azul) e *El Niño* (vermelho).

Temperatura Mínima

Assim como nos dados de temperatura máxima, o procedimento de superimposição ortogonal dos quadrados mínimos para os gráficos de temperatura mínima mostrou variações nas formas, porém, a maior variação observada - desconsiderando o 37º marco anatômico (LM#37) - ocorreu no segundo decêndio de Agosto (LM#5), seguido pelo primeiro de Março (LM#34), enquanto o primeiro decêndio de Março (LM#24) apresentou a menor variação (Figura 4.5). Os baixos valores de variância (s^2) de cada marco e as coordenadas da configuração média (CM) estão presentes na tabela 4.2 e indicam alta similaridade entre os decêndios homólogos.

Na análise dos componentes principais foram geradas 44 deformações relativas, sendo necessários os 10 primeiros eixos para explicar pouco mais de 72% das deformações. Os anos analisados apresentaram alta similaridade e formaram grupos fracos na análise de UPGMA (*bootstraps* < 50; *ccc* = 0.6291) (Figura 4.6). De acordo com os *grids* de deformação, as maiores variações de forma ocorrem na parte superior do histograma, correspondente ao final do outono e inverno (maio a agosto) (Figura 4.7).

Nenhuma das análises reconheceu a presença dos fenômenos *El Niño/La Niña*.

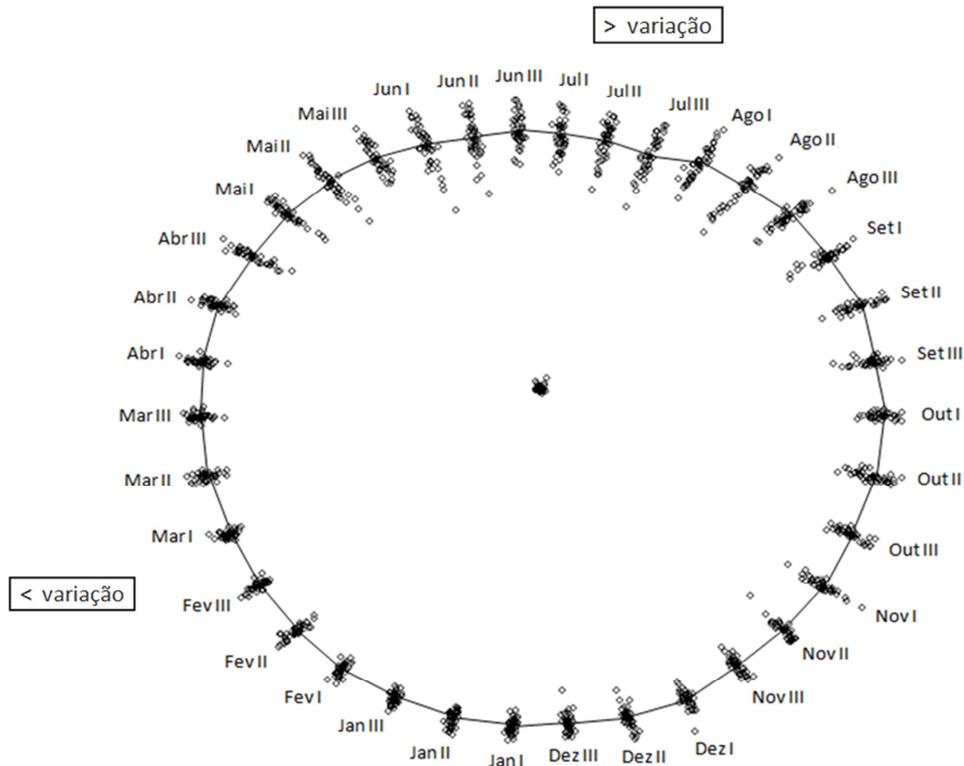


Figura 4.5. Gráfico de consenso dos histogramas circulares de temperatura mínima (n=45) sobrepostos pelo procedimento de quadrados mínimos. As linhas ligam os marcos (círculos cheios) da configuração média (CM) e a variação na forma pode ser observada pelos círculos vazados presentes em torno da CM.

Tabela 4.2. Variações de cada marco anatômico (LM#) dos histogramas circulares de temperatura mínima. *Para melhor visualização, os valores de variância (s^2) foram multiplicados por dez mil. **Valores máximo e mínimo da temperatura mínima para cada decêndio (°C). Em negrito e itálico estão o maior e o menor valores de variância.

| LM# | Mês/Decêndio | Variância (x 10000)* | | | Temperatura Mínima** | |
|-----|--------------|----------------------|---------|---------------|----------------------|-------|
| | | s^2_x | s^2_y | s^2 | mín. | máx. |
| 1 | Julho/1º | 0.0292 | 0.7139 | 0.7431 | 10.6 | 14.94 |
| 2 | Julho/2º | 0.075 | 0.9472 | 1.0222 | 10.68 | 15.5 |
| 3 | Julho/3º | 0.2309 | 0.9268 | 1.1577 | 7.98 | 15.67 |
| 4 | Agosto/1º | 0.3271 | 0.5794 | 0.9065 | 9.86 | 16.85 |
| 5 | Agosto/2º | 0.8004 | 0.8267 | 1.6271 | 11.26 | 17.04 |
| 6 | Agosto/3º | 0.6213 | 0.295 | 0.9163 | 11.37 | 17.92 |
| 7 | Setembro/1º | 0.5414 | 0.1677 | 0.7092 | 14.19 | 18.56 |
| 8 | Setembro/2º | 0.7286 | 0.0812 | 0.8097 | 13.53 | 19.58 |
| 9 | Setembro/3º | 0.5110 | 0.0263 | 0.5373 | 13.77 | 18.95 |
| 10 | Outubro/1º | 0.2827 | 0.0213 | 0.304 | 14.27 | 19.9 |
| 11 | Outubro/2º | 0.587 | 0.0624 | 0.6494 | 14.54 | 19.62 |
| 12 | Outubro/3º | 0.3299 | 0.0974 | 0.4273 | 13.55 | 19.8 |
| 13 | Novembro/1º | 0.4404 | 0.1865 | 0.627 | 14.86 | 20.14 |
| 14 | Novembro/2º | 0.2125 | 0.2027 | 0.4152 | 14.36 | 19.34 |
| 15 | Novembro/3º | 0.0998 | 0.1616 | 0.2614 | 15.03 | 18.89 |
| 16 | Dezembro/1º | 0.0594 | 0.1648 | 0.2241 | 15.38 | 20.59 |
| 17 | Dezembro/2º | 0.0473 | 0.2616 | 0.3089 | 14.58 | 19.64 |
| 18 | Dezembro/3º | 0.0247 | 0.2307 | 0.2554 | 14.81 | 18.9 |
| 19 | Janeiro/1º | 0.0294 | 0.1382 | 0.1675 | 16 | 18.96 |
| 20 | Janeiro/2º | 0.0406 | 0.1891 | 0.2297 | 16.64 | 19.26 |
| 21 | Janeiro/3º | 0.0401 | 0.1148 | 0.1549 | 15.95 | 19.1 |
| 22 | Fevereiro/1º | 0.0764 | 0.0993 | 0.1757 | 14.5 | 19.95 |
| 23 | Fevereiro/2º | 0.2212 | 0.1340 | 0.3552 | 14.8 | 19.2 |
| 24 | Fevereiro/3º | 0.1332 | 0.0752 | 0.2085 | 14.7 | 19.12 |
| 25 | Março/1º | 0.0997 | 0.0282 | 0.128 | 16.61 | 19.07 |
| 26 | Março/2º | 0.2273 | 0.0260 | 0.2533 | 16.12 | 19.15 |
| 27 | Março/3º | 0.1789 | 0.0240 | 0.2029 | 16.48 | 19.06 |
| 28 | Abril/1º | 0.2515 | 0.0249 | 0.2764 | 16.16 | 18.99 |
| 29 | Abril/2º | 0.2501 | 0.0418 | 0.2919 | 15.77 | 19.37 |
| 30 | Abril/3º | 0.6094 | 0.1460 | 0.7554 | 13.62 | 19.29 |
| 31 | Mai/1º | 0.4911 | 0.3032 | 0.7943 | 12.31 | 17.68 |
| 32 | Mai/2º | 0.4832 | 0.5481 | 1.0313 | 12.18 | 17.57 |
| 33 | Mai/3º | 0.2135 | 0.4981 | 0.7116 | 11.7 | 16.49 |
| 34 | Junho/1º | 0.2744 | 1.2410 | 1.5154 | 9.95 | 16.24 |
| 35 | Junho/2º | 0.0696 | 0.9914 | 1.061 | 10.5 | 16.54 |
| 36 | Junho/3º | 0.0262 | 0.6772 | 0.7034 | 11.1 | 15.55 |
| 37 | Centro | 0.0297 | 0.0351 | 0.648 | -- | -- |

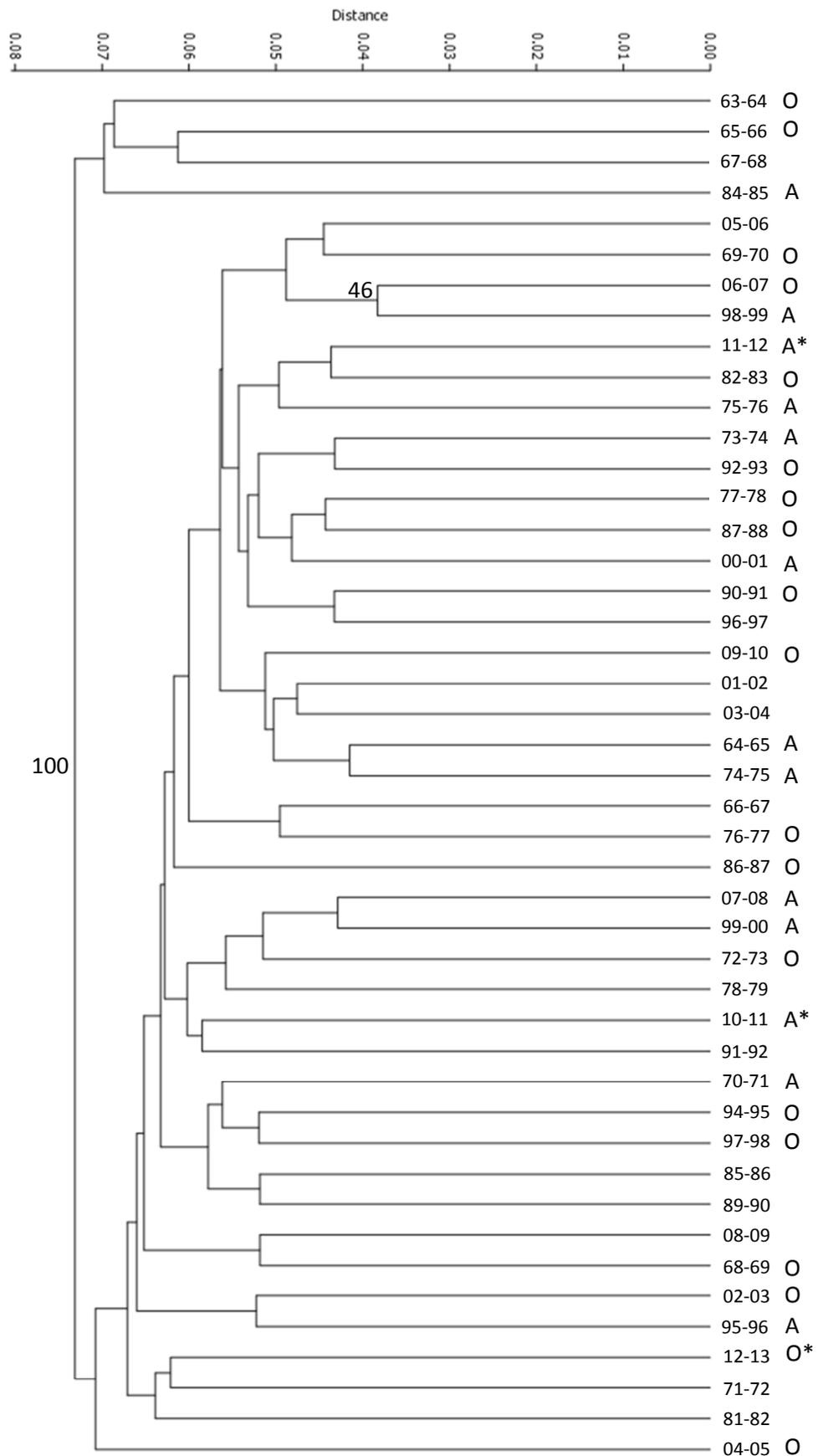


Figura 4.6. Dendrograma para os histogramas circulares de temperatura mínima baseado nas Distâncias Euclidianas computadas dos escores das deformações relativas ($\alpha = 0$). Os números apresentados referem-se aos maiores valores de *bootstrap* obtidos. O = anos com *El Niño*. A = anos com *La Niña*. Dados publicados pelo CPTEC/INPE, exceto * = informação obtida no sítio da Organização Meteorológica Mundial.

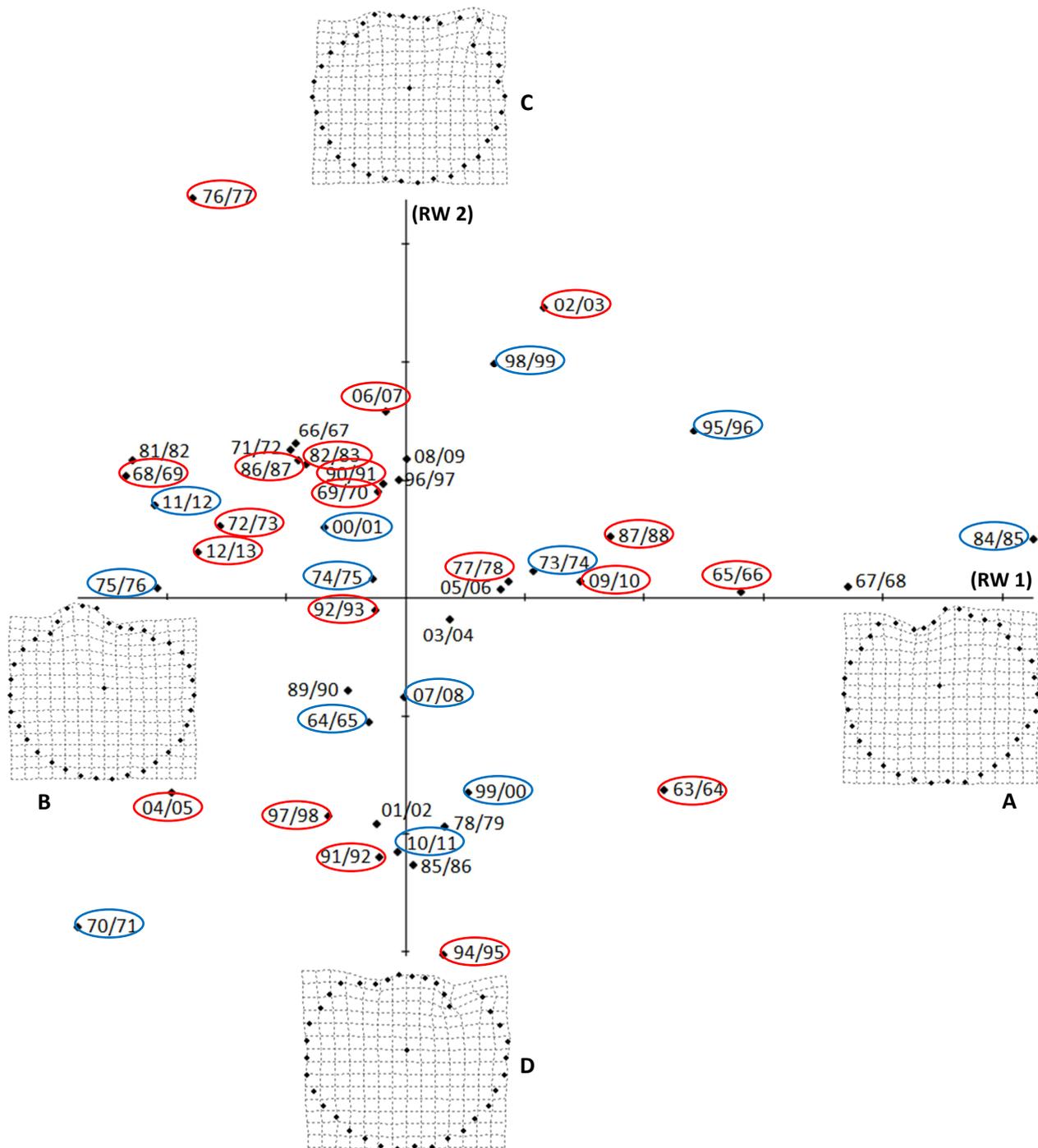


Figura 4.7. Análise das componentes principais e deformações relativas (RW) para valores de $\alpha = 0$ dos histogramas circulares de temperatura mínima. A = visualização da forma associada aos escores positivos do eixo 1 das RW. B = visualização da forma associada aos escores negativos do eixo 1 das RW. C = visualização da forma associada aos escores positivos do eixo 2 das RW. D = visualização da forma associada aos escores negativos do eixo 2 das RW. Para cada eixo as deformações correspondem às coordenadas 0.05 e -0.05. Estão circulos os anos com presença do fenômeno climático *La Niña* (azul) e *El Niño* (vermelho).

Precipitação

Para a variável precipitação o método TPS mostrou variação nas formas bem maior que a apresentada pelas temperaturas máxima e mínima (Figura 4.8). A maior variação entre os anos analisados está nos valores de precipitação dos meses de Novembro e Janeiro (LM#14 e LM#20), enquanto os decêndios mais estáveis foram nos meses de Julho (LM#1) e Agosto (LM#4) (Tabela 4.3).

Mais de 80% das 44 deformações relativas geradas pela PCA foram explicadas pelos 12 primeiros eixos. Na análise de agrupamento o baixo coeficiente de correlação cofenética (0.6597) e a distância euclidiana menor que 0.5 sugerem baixa similaridade entre os anos e agrupamento pouco robusto, além de valores de *bootstraps* menores que 50 para todos os grupos formados (Figura 4.9).

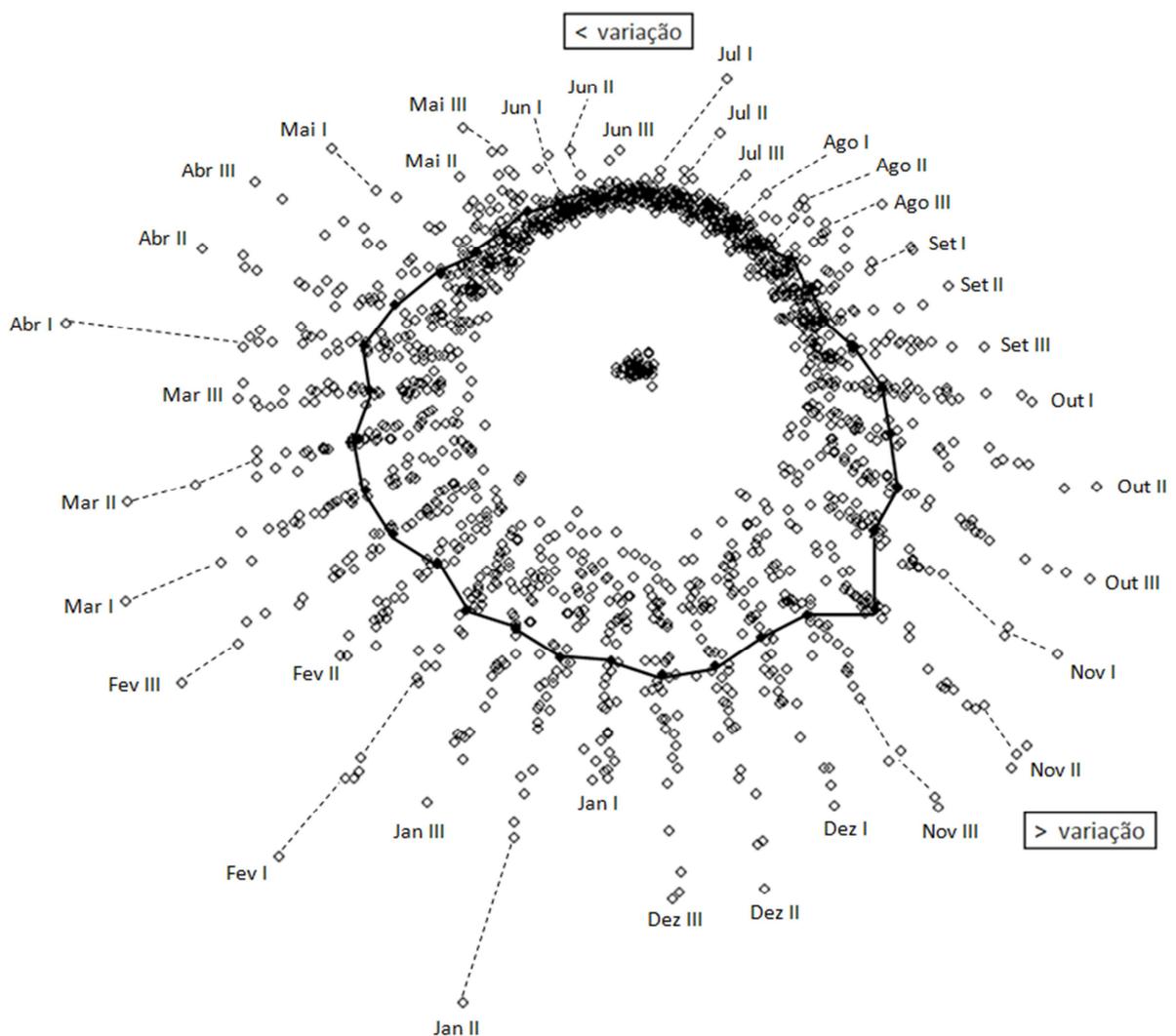


Figura 4.8. Gráfico de consenso dos histogramas circulares de precipitação (n=45) sobrepostos pelo procedimento de quadrados mínimos. As linhas ligam os marcadores (círculos cheios) da configuração média (CM) e a variação na forma pode ser observada pelos círculos vazados presentes em torno da CM.

Tabela 4.3. Variações de cada marco anatômico (LM#) dos histogramas circulares de precipitação. *Para melhor visualização, os valores de variância (s^2) foram multiplicados por dez mil. **Valores máximo e mínimo da precipitação para cada decêndio (mm). Em negrito e itálico estão o maior e o menor valores de variância.

| LM# | Mês/Decêndio | Variância (x 10000)* | | | Precipitação** | |
|-----|--------------|----------------------|---------|----------------|----------------|-------|
| | | s^2_x | s^2_y | s^2 | mín. | máx. |
| 1 | Julho/1º | 0.518 | 0.2941 | 0.8121 | 0.00 | 1.45 |
| 2 | Julho/2º | 0.7549 | 1.818 | 2.5729 | 0.00 | 8.90 |
| 3 | Julho/3º | 0.602 | 0.9283 | 1.5303 | 0.00 | 5.62 |
| 4 | Agosto/1º | 0.7168 | 0.2387 | 0.9554 | 0.00 | 2.67 |
| 5 | Agosto/2º | 1.4004 | 0.7358 | 2.1362 | 0.00 | 3.91 |
| 6 | Agosto/3º | 3.3868 | 1.4233 | 4.8102 | 0.00 | 7.45 |
| 7 | Setembro/1º | 4.4433 | 0.7763 | 5.2196 | 0.00 | 7.74 |
| 8 | Setembro/2º | 5.1046 | 0.3103 | 5.4148 | 0.00 | 9.74 |
| 9 | Setembro/3º | 8.8939 | 0.2392 | 9.1331 | 0.00 | 12.40 |
| 10 | Outubro/1º | 14.6445 | 0.3538 | 14.9982 | 0.00 | 15.39 |
| 11 | Outubro/2º | 24.2244 | 1.8874 | 26.1118 | 0.00 | 22.39 |
| 12 | Outubro/3º | 23.9326 | 7.0336 | 30.9662 | 0.02 | 21.79 |
| 13 | Novembro/1º | 14.9641 | 7.9791 | 22.9432 | 0.00 | 22.47 |
| 14 | Novembro/2º | 20.9617 | 21.2692 | 42.2309 | 0.03 | 26.69 |
| 15 | Novembro/3º | 10.0399 | 22.5102 | 32.5502 | 0.00 | 23.56 |
| 16 | Dezembro/1º | 4.3001 | 21.6672 | 25.9674 | 0.73 | 18.02 |
| 17 | Dezembro/2º | 2.0067 | 29.1232 | 31.1299 | 0.72 | 23.13 |
| 18 | Dezembro/3º | 0.4957 | 34.1311 | 34.6268 | 0.94 | 20.64 |
| 19 | Janeiro/1º | 0.4651 | 22.1463 | 22.6114 | 0.24 | 20.27 |
| 20 | Janeiro/2º | 3.3016 | 38.8119 | 42.1135 | 0.01 | 31.98 |
| 21 | Janeiro/3º | 5.0487 | 22.1147 | 27.1634 | 0.02 | 21.73 |
| 22 | Fevereiro/1º | 13.6702 | 26.6166 | 40.2867 | 0.94 | 30.64 |
| 23 | Fevereiro/2º | 11.4635 | 10.8492 | 22.3127 | 0.00 | 26.51 |
| 24 | Fevereiro/3º | 22.4492 | 10.5128 | 32.962 | 0.00 | 22.08 |
| 25 | Março/1º | 27.5444 | 6.0681 | 33.6125 | 0.00 | 23.14 |
| 26 | Março/2º | 23.8903 | 1.8922 | 25.7826 | 0.00 | 19.98 |
| 27 | Março/3º | 18.1469 | 0.3109 | 18.4577 | 0.00 | 15.62 |
| 28 | Abril/1º | 24.9495 | 0.3709 | 25.3204 | 0.00 | 23.88 |
| 29 | Abril/2º | 23.1826 | 1.8055 | 24.9881 | 0.00 | 17.18 |
| 30 | Abril/3º | 13.9724 | 3.0413 | 17.0136 | 0.00 | 17.11 |
| 31 | Mai/1º | 6.02 | 2.6726 | 8.6926 | 0.00 | 12.05 |
| 32 | Mai/2º | 1.3345 | 1.1006 | 2.4352 | 0.00 | 5.80 |
| 33 | Mai/3º | 1.841 | 2.715 | 4.556 | 0.00 | 7.98 |
| 34 | Junho/1º | 0.6213 | 0.6546 | 1.2759 | 0.00 | 5.54 |
| 35 | Junho/2º | 0.5371 | 0.5149 | 1.0521 | 0.00 | 3.38 |
| 36 | Junho/3º | 0.4845 | 0.4795 | 0.964 | 0.00 | 3.18 |
| 37 | Centro | 0.4246 | 0.1893 | 0.6139 | -- | -- |

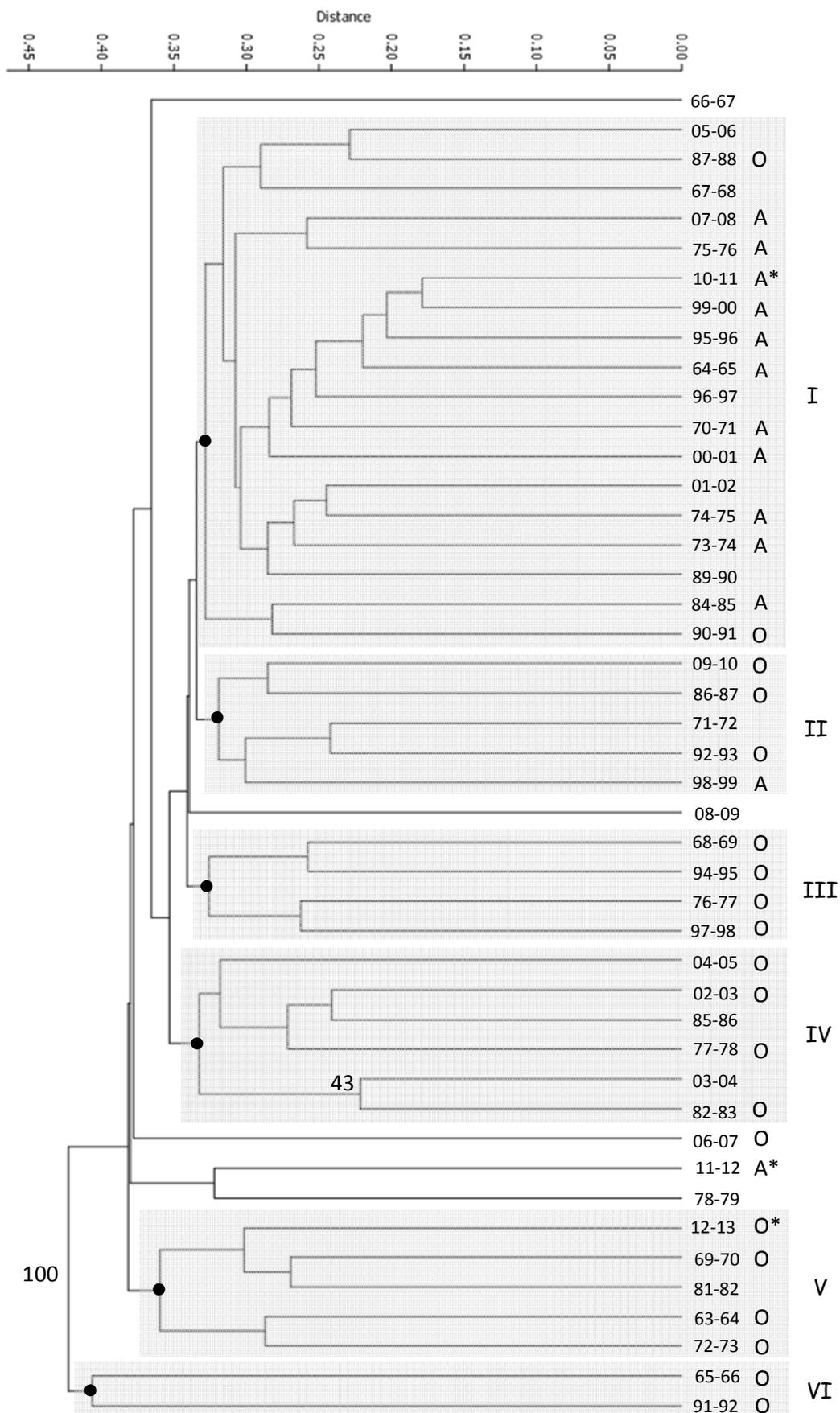


Figura 4.9. Dendrograma para os histogramas circulares de precipitação baseado nas Distâncias Euclidianas computadas dos escores das deformações relativas ($\alpha = 0$). Os números apresentados referem-se aos maiores valores de *bootstrap* obtidos. O = anos com *El Niño*. A = anos com *La Niña*. Dados publicados pelo CPTEC/INPE, exceto * = informação obtida no sítio da Organização Meteorológica Mundial.

Contudo, apesar de o agrupamento resultante da análise de UPGMA ter gerado grupos fracos, é possível perceber que quase todos os anos com presença de *La Niña* formaram um único grupo (grupo I) do dendrograma, enquanto a maioria dos anos com ocorrência de *El Niño* se posicionaram nos demais grupos (II, III, IV, V e VI) – o que não ocorreu na análise das outras variáveis. Isso nos permite inferir que, em relação à precipitação, esta metodologia é capaz de reconhecer anos com ocorrência destes fenômenos climáticos. Além disso, assim como ocorreu na análise da temperatura máxima, dentre os anos com presença de *La Niña*, 1984-1985 e 2007-2008 ordenaram-se separadamente dos demais, no quadrante negativo do eixo 1 e positivo do eixo 2 (Figura 4.10), reforçando a possibilidade de esses dois pares de anos terem características climáticas significativamente diferenciadas.

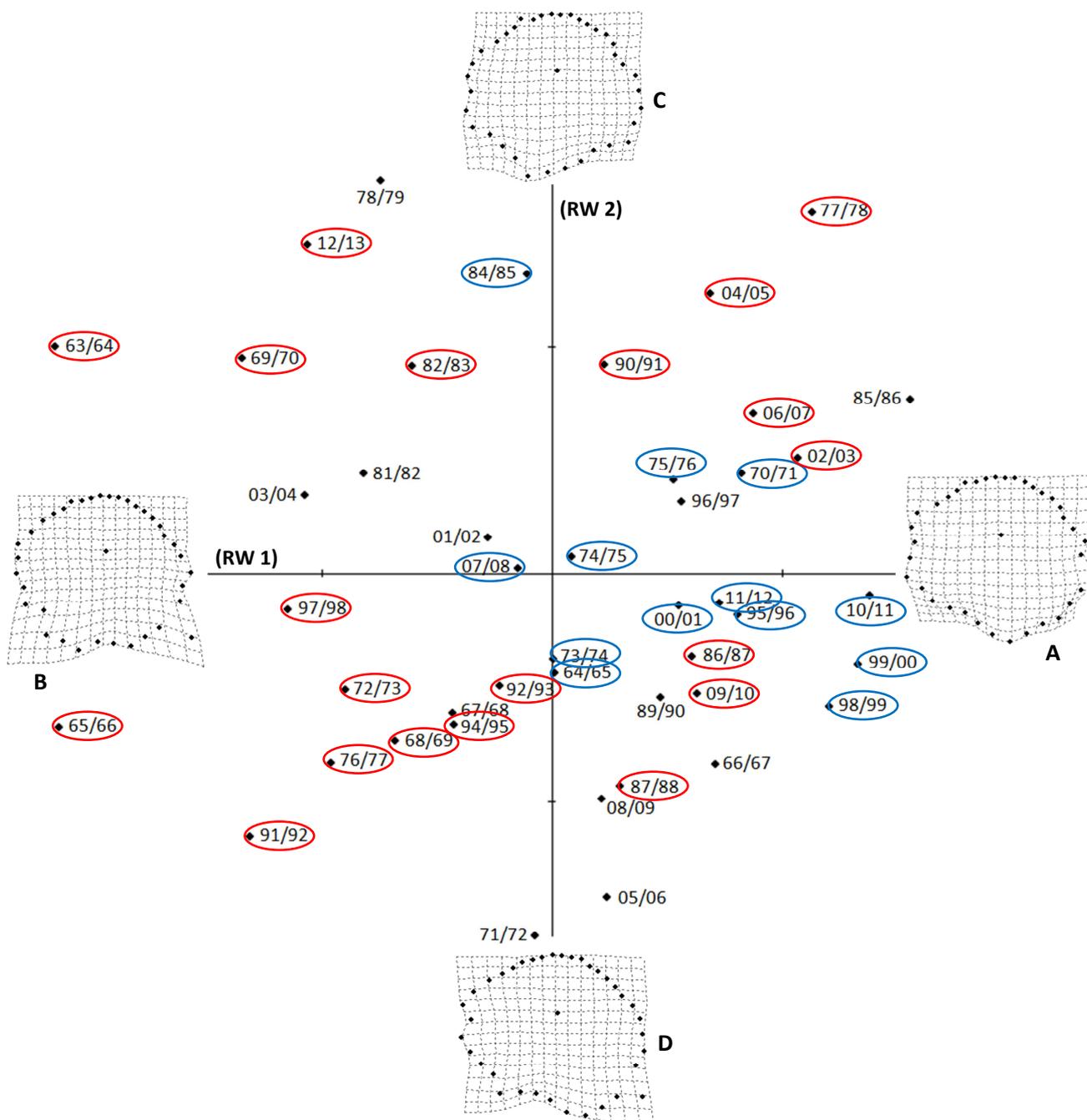


Figura 4.10. Análise das componentes principais e deformações relativas (RW) para valores de $\alpha = 0$ dos histogramas circulares de precipitação. A = visualização da forma associada aos escores positivos do eixo 1 das RW. B = visualização da forma associada aos escores negativos do eixo 1 das RW. C = visualização da forma associada aos escores positivos do eixo 2 das RW. D = visualização da forma associada aos escores negativos do eixo 2 das RW. Para cada eixo as deformações correspondem às coordenadas 0.05 e -0.05. Estão circulado os anos com presença do fenômeno climático *La Niña* (azul) e *El Niño* (vermelho).

5. DISCUSSÃO

O uso da Morfometria Geométrica em estudos voltados à variabilidade climática é inédito. No entanto, diversas aplicações já foram feitas no campo da biomedicina e odontologia (Franchi *et al.* 2001; Franchi *et al.* 2007; Antunes *et al.* 2013), da biologia evolutiva, variação morfológica e dimorfismo sexual (Querino *et al.* 2002; Di Mare & Corseuil 2004; Bezerra 2008; Mega 2008; Viscosi *et al.* 2009; Francoy & Fonseca 2010), em estudos de sistemática e taxonomia (Lima Filho 2004; Shipunov & Bateman 2005; Magrini & Scoppola 2010), e até fisiologia (Nespolo *et al.* 2011).

A morfometria geométrica se mostrou bastante útil para representar e analisar a variabilidade anual existente entre os decêndios do ano através de longas séries temporais, mesmo essa variação sendo muito pequena. Foi possível identificar que duas das três variáveis analisadas (temperatura máxima e precipitação) apresentaram maior variação interanual no período chuvoso (primavera/verão), período em que os fenômenos *El Niño* e *La Niña* ocorrem no planeta, ocasionando um aquecimento ou resfriamento anormal das águas superficiais no oceano Pacífico Tropical, que pode afetar o clima regional e global, mudando os padrões de vento e os regimes de chuva em regiões tropicais (fonte: CPTEC/INPE 2014). Por outro lado, na estação seca (outono/inverno) as variações de temperatura máxima e de precipitação ocasionadas por esses fenômenos são pequenas, como mostrado pelos gráficos de consenso gerados pela morfometria geométrica (vide Figuras 4.2 e 4.8). Para a variável temperatura mínima, ao contrário, a maior variação ocorreu no período seco, o que também foi observado por Cargnelutti Filho *et al.* (2006) no Rio Grande do Sul.

A comparação interanual do clima utilizando decêndios – calculados a partir de dados diários – pode não ser a melhor forma de encontrar semelhanças fortes o suficiente para serem identificadas em análises de agrupamento, contudo, a análise decendial (verificação de variações entre decêndios do ano) é importante do ponto de vista microespacial, pois mudanças em períodos de tempo relativamente curtos podem ter impactos negativos em escala local, como por exemplo, na vegetação. Segundo Blain (2011), a análise de totais mensais de precipitação, por exemplo, permanece distante dos interesses agrometeorológicos, tendo em vista que períodos de 10 ou 20 dias, em que não há observações de ocorrência de chuvas, podem ter impactos significativos na produção agrícola, dependendo da época ou estado fenológico de ocorrência. O conhecimento das variações interanuais em uma escala de tempo tão pequena (intervalos de 10 dias), como ocorrido neste estudo, torna-se importante ferramenta para tomadas de decisões e medidas preservacionistas, visto que é possível observar o comportamento da biota nesses intervalos e relacioná-los com o comportamento climático do período. Blain (2011), na tentativa de descrever

tendências, periodicidades e persistência temporal presentes nas séries decendiais de precipitação em Campinas - São Paulo, não encontrou indicação de marcantes tendências climáticas, contudo, observou concentração de casos de tendências de queda a partir do final da época seca regional (agosto) até meados da estação chuvosa (início do mês de novembro).

Uma análise mais restrita, englobando períodos de uma ou duas estações (três a seis meses), pode identificar semelhanças mais significativas entre os anos, principalmente se estes períodos antecederem a ocorrência das fenofases. Diversos estudos em diferentes partes do mundo perceberam aumento na intensidade da floração em resposta ao aumento da precipitação (Prieto *et al.* 2008; Mendes *et al.* 2011; Parente *et al.* 2012) ou a maior duração da estação de crescimento e do período reprodutivo causados pelo aumento da temperatura (Menzel *et al.* 2006; Lambert *et al.* 2010) quando tais ocorrências climáticas acontecem nos meses que antecedem o evento fenológico.

Quanto ao período analisado, o conjunto de 50 anos utilizado neste estudo pode ter sido insuficiente para a observação de ciclos climáticos. Sabe-se que a Terra sempre passou por ciclos naturais de aquecimento e resfriamento e que as flutuações do clima responsáveis pelas mudanças climáticas podem se estender de algumas dezenas de anos, mais de 30-35 anos, até dezenas de milhares de anos (Ramos *et al.* 2008). Segundo Molion (2005), alguns procedimentos podem mascarar as mudanças ou variabilidades climáticas naturais de prazo longo, como o uso das normais climatológicas propostas pela Organização Meteorológica Mundial (30 anos), pois se dentro do período analisado as fases quente e fria da ODP, por exemplo, ocorrerem em quantidades de vezes parecidas os seus efeitos se anularão e informações sobre a variabilidade e as tendências de longo prazo do clima serão perdidas.

O uso de análises de agrupamento em estudos climatológicos está mais voltado para a classificação de regiões climáticas, e não de anos. Mitterstein & Severo (2007), em um estudo sobre a variabilidade intrasazonal e interanual da precipitação no Sul do Brasil, utilizaram o Método de Ward para classificar os postos pluviométricos da região quanto ao comportamento espacial semelhante. Romero *et al.* (1999), na Espanha Mediterrânea, usaram o mesmo método na classificação de regiões quanto ao tipo de padrões de precipitação a partir de dados de 410 estações climatológicas em um período de 30 anos. Ambos os estudos não apresentaram seus respectivos dendrogramas ou valores de *bootstrap* obtidos no agrupamento.

Ramos (2001), no intuito de encontrar padrões de distribuição de precipitação em uma região do Mediterrâneo, utilizou análises de agrupamento divisivas e aglomerativas, que se mostraram úteis na formação de cinco grupos de anos. A comparação foi feita em um conjunto de 111 anos e restrita aos valores de precipitação das duas estações mais chuvosas. No entanto, como o estudo foi anterior ao uso de valores de *bootstrap* em análises aglomerativas, proposta por Pillar (1999), não se sabe até

que ponto os grupos encontrados por Ramos (2001) são robustos. Ainda há incertezas significativas nas tendências das variáveis hidrológicas devido às grandes diferenças regionais e às limitações na cobertura espacial e temporal das redes de monitoramento, assim, documentar as variações e tendências interanuais na precipitação sobre os oceanos continua a ser um desafio (Bates *et al.* 2008).

A possível divisão dos anos com presença de *El Niño* e de *La Niña* utilizando dados de precipitação é um resultado positivo, principalmente por estes dados serem provenientes da região central do Brasil (Distrito Federal), que é a região do país menos afetada pelas mudanças climáticas, inclusive os fenômenos citados (Oliveira 2001; Marengo 2006). Estudando a influência do *El Niño* e *La Niña* sobre a precipitação no Estado de Goiás (incluindo o Distrito Federal) em um período de 40 anos, Marcuzzo & Romero (2013) concluíram que tanto o *El Niño* quanto o *La Niña* afetam a dinâmica climática ocasionando mudanças significativas no regime das chuvas máximas diárias no estado e verificaram que no mês com as maiores máximas diárias (fevereiro) houve tendência de aumento da precipitação pluviométrica devido ao aumento das intensidades de ambos os fenômenos, do mesmo modo, junho – mês considerado seco no centro-oeste brasileiro – apresentou precipitação acima do normal em anos com presença desses fenômenos. Grimm (2004) afirma que na América do Sul as anomalias relacionadas ao *La Niña*, que frequentemente é associado à diminuição nos níveis de chuvas, incluem fortes precipitações e, especialmente na região central do Brasil, as chuvas tendem a ocorrer acima da média.

A maior variabilidade anual para precipitação observada no gráfico de consenso e nos valores de variância reflete a influência de alterações climáticas de curta duração – como *El Niño* e *La Niña* – sobre os níveis de precipitação e mostra a potencialidade da morfometria geométrica para estudos de variáveis climáticas, pois segundo a Organização Meteorológica Mundial (World Meteorological Organization 2014), o estudo de variáveis episódicas como a precipitação requer cálculos estatísticos mais complexos. Bates *et al.* (2008), analisando precipitação em um período de 55 anos, não encontraram estimativas de tendência significativas, o que mostra a dificuldade de monitorar esta variável, que tem uma grande variabilidade no espaço e no tempo. A Organização alerta que pequenas mudanças nos padrões climáticos, de ano para ano, podem alterar significativamente a quantidade e/ou a distribuição de chuvas sazonais, desse modo, técnicas mais complexas geralmente são necessárias para interpretar variações na precipitação.

6. CONCLUSÕES

Sabendo que a definição dos ciclos climáticos é altamente influenciada pela quantidade de *El Niños* e *La Niñas* que há no período, e que estes fenômenos ocorrem no período chuvoso (primavera/verão) da região central do Brasil – no outono/inverno (seca) as variações são pequenas – espera-se que a morfometria geométrica apresente resultados mais robustos e esclarecedores quando restrita a esse período do ano. Acredita-se ainda que haverá melhor agrupamento entre os anos se a análise restringir-se às estações que antecedem a ocorrência do evento fenológico.

Outra forma de analisar os dados seria utilizar combinações das variáveis, principalmente precipitação e temperatura máxima, que se mostraram mais vulneráveis à variabilidade temporal.

Contudo, nossa tentativa em identificar comportamentos e definir padrões no espaço do Distrito Federal é inovadora e conseguiu mostrar a variabilidade existente em períodos bastante curtos do ano (decêndios), calculados a partir de dados diários, o que é muito importante em estudos de vegetação.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antunes, C.F.; Bigliuzzi, R.; Bertoz, F.A.; Ortolani, C.L.F.; Franchi, L. & Faltin Jr, K. 2013. Morphometric analysis of treatment effects of the Balters bionator in growing Class II patients. **Angle Orthodontist** **83**(3): 455-459.
- Batalha, M.A. & Mantovani, W. 2000. Reproductive phenological patterns of cerrado plant species at the Pé-de-Gigante Reserve (Santa Rita do Passa Quatro. SP. Brazil): A comparison between the herbaceous and woody floras. **Revista Brasileira de Botânica** **60**: 129-145.
- Bates, B.C.; Kundzewicz, Z.W.; Wu, S. & Palutikof, J.P. 2008. **Climate change and water: technical paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. IPCC Secretariat, Geneva. 210p.
- Bezerra, A.M.R. 2008. Revisão taxonômica do gênero *Galea* Meyen, 1832 (Rodentia, Caviidae, Caviinae). **Tese de Doutorado**. Departamento de Biologia Animal. Universidade de Brasília, Brasília-DF. 125p.
- Blain, G.C. 2010. Séries anuais de temperatura máxima média do ar no Estado de São Paulo: variações e tendências climáticas. **Revista Brasileira de Meteorologia** **25**(1): 114-124.
- _____. 2011. Totais decendiais de precipitação pluvial em Campinas, SP: persistência temporal, periodicidades e tendências climáticas. **Ciência Rural** **41**(5): 789-795.
- Bookstein, F.L. 1989. Principal Warps: Thin-Plate Splines and the decomposition of deformations. **IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence** **11**(6): 567-585.
- Bookstein, F.L. 1991. **Morphometrics tools for landmarks data: geometry and biology**. Cambridge University Press. New York. 435p.
- Cargnelutti Filho, A.; Matzenauer, R. & Maluf, J.R.T. 2006. Variabilidade temporal e espacial do tamanho de amostra da temperatura mínima do ar no Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Rural** **36**(4): 1156-1163.

- Cera, J.C.; Ferraz, S.E.T.; Bender, F.D. 2009. Influência da oscilação decadal do Pacífico e as mudanças no regime de chuva do Rio Grande do Sul. **Ciência e Natura (especial)**: 317-320.
- Chuine, I.; Cambron, G. & Comtois, P. 2000. Scaling phenology from the local to the regional level: advances from species-specific phenological models. **Global Change Biology** 6: 943-952.
- CPTEC/INPE. 2014. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. <<http://www.cptec.inpe.br/>>.
- Di Mare, R.A. & Corseuil, E. 2004. Morfometria de Papilioninae (Lepidoptera, Papilionidae) ocorrentes em quatro localidades do Rio Grande do Sul, Brasil. III. Análise da forma das asas através de marcos anatômicos. **Revista Brasileira de Zoologia** 21(4): 847-855.
- Fitter, A.H. & Fitter, R.S.R. 2002. Rapid changes in flowering time in British plants. **Science** 296: 1689-1691.
- Franchi, L.; Baccetti, T. & McNamara Jr., J.A. 2001. Thin-plate spline analysis of mandibular growth. **Angle Orthodontist** 71(2): 83-89.
- Franchi, L.; Baccetti, T.; Stahl, F. & McNamara Jr., J.A. 2007. Thin-plate spline analysis of craniofacial growth in Class I and Class II subjects. **Angle Orthodontist** 77(4): 595-601.
- Francoy, T.M. & Fonseca, V.L.I. 2010. A morfometria geométrica de asas e a identificação automática de espécies de abelhas. **Oecologia Australis** 14(1): 317-321.
- Grimm, A.M. 2004. How do La Niña events disturb the summer monsoon system in Brazil? **Climate Dynamics** 22(2-3): 123-138.
- Hammer, Ø.; Harper, D.A.T. & Ryan, P.D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. **Paleontologia Electronica** 4(1): 9. <<http://folk.uio.no/ohammer/past>>. Última atualização: fev-2013.
- Hughes, L. 2000. Biological consequences of global warming: is the signal already. **TREE** 15(2): 56-61.
- IPCC. 2001. **Climatic change 2001: impacts, adaptation and vulnerability_Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. M.L. Parry; O.F. Canziani; J.P. Palutikof, P.J.; van der Linden & C.E. Hanson (eds.). Cambridge University Press, Cambridge-UK. 976p.
- _____. 2007. **Climatic change 2007: impacts, adaptations and vulnerability_Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. J.J. McCarthy; O.F. Canziani; N.A. Leary; D.J. Dokken & K.S. White (eds.). Cambridge University Press, Cambridge-UK. 1032p.
- Kovach Computing Services. 2012. Oriana, version 4.01. <<http://www.kovcomp.co.uk/oriana/index.html>>.
- Kudo, G. & Hirao, A.S. 2006. Habitat-specific responses in the flowering phenology and seed set of alpine plants to climate variation: implications for global-change impacts. **Population Ecology** 48: 49-58.
- Kudo, G.; Nishikawa, Y.; Kasagi, T. & Kosuge, S. 2004. Does seed production of spring ephemerals decrease when spring comes early? **Ecology Research** 19: 255-259.

- Lambert, A.M.; Miller-Rushing, A.J. & Inouye, D.W. 2010. Changes in snowmelt date and summer precipitation affect the flowering phenology of *Erythronium grandiflorum* (Glacier Lily; Liliaceae). **American Journal of Botany** **97**(9): 1431-1437.
- Lima Filho, J.M. 2004. Discriminação de espécies do gênero *Selene* (Carangidae) da costa nordeste do Brasil, utilizando técnicas de morfometria geométrica. **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Física e Matemática. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE. 59p.
- Magrini, S. & Scoppola, A. 2010. Geometric morphometrics as a tool to resolve taxonomic problems: the case of *Ophioglossum* species (ferns). **Tools for Identifying Biodiversity_progress and problems**: 251-256.
- Maheras, P. & Kutiel, H. 1999. Spatial and temporal variations in the temperature regime in the Mediterranean and their relationship with circulation during the last century. **International Journal of Climatology** **19**: 745-764.
- Marcuzzo, F.F.N. & Romero, V. 2013. Influência do El Niño e La Niña na precipitação máxima diária do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Meteorologia** **28**(4): 429-440.
- Marengo, J.A. 2006. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade**: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Biodiversidade 26. MMA. Brasília, DF. 212p.
- Mega, N.O. 2008. Variação sazonal de tamanho, morfometria e comportamento de acasalamento em *Dryas iulia alcionea* (Lepidoptera, Nymphalidae, Heliconiinae) e suas implicações na evolução do dimorfismo sexual. **Tese de Doutorado**. Departamento de Genética. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS. 165p.
- Mendes, F.N.; Rêgo, M.M.C. & Albuquerque, P.M.C. 2011. Fenologia e biologia reprodutiva de duas espécies de *Byrsonima* Rich. (Malpighiaceae) em área de Cerrado no Nordeste do Brasil. **Biota Neotropica** **11**(4): 103-115.
- Menzel, A.; Sparks, T.H.; Estrella, N.; Koch, E.; Aasa, A.; Ahas, R.; Alm-Kübler, K.; Bissolli, P.; Braslavská, O.; Briede, A.; Chmielewski, F.M.; Crepinsek, Z.; Curnell, Y.; Dahl, Å.; Defelia, C.; Donnelly, A.; Filella, Y.; Jatczak, K.; Måge, F.; Mestre, A.; Nordli, Ø.; Peñuelas, J.; Pirinen, P.; Remišová, V.; Scheifinger, H.; Striz, M.; Susnik, A.; van Vliet, A.J.H.; Wielgolaski, F.E.; Zack, S. & Züst, A. 2006. European phenological response to climate change matches the warming pattern. **Global Change Biology** **12**: 1969-1976.
- Mitterstein, M.R. & Severo, D.L. 2007. Análise de variabilidade intrasazonal e interanual da precipitação no vale do Itajaí com a transformada de ondaletas. **Dynamis** **13**(1): 1-10.
- Molion, L.C.B. 2005. Aquecimento global, El Niños, manchas solares, vulcões e oscilação decadal do Pacífico. **Climanalise** **3**(1): 1-5.
- Monteiro. L.R. & Reis. S.F. 1999. **Princípios de morfometria geométrica**. Ed. Holos. Ribeirão Preto, SP. 198p.

- Moron, V. 1997. Trend, decadal and interannual variability in annual rainfall of Subequatorial and Tropical North Africa (1900-1994). **International Journal of Climatology** **17**: 785-805.
- Nespolo, R.F.; Sepúlveda, R.D.; Castañeda, L.E. & Roff, D.A. 2011. Effects of shape variations on the energy metabolism of the sand cricket *Gryllus firmus*: a geometric morphometric analysis. **Biological Research** **44**: 69-74.
- Nobre, C.A. 2001. Mudanças climáticas globais: possíveis impactos nos ecossistemas do país. **Parcerias Estratégicas** **12**: 239-258.
- Nobre, P. & Melo, A.B.C. 2001. Variabilidade climática intrasazonal sobre o Nordeste do Brasil em 1998-2000. **Climanálise** **16**(12): 42-54.
- Nunes, L.H. & Lombardo, M.A. 1995. Questão da variabilidade climática: uma reflexão crítica. **Revista do Instituto Geológico** **16**(1/2): 21-31.
- Oliveira, G.S. 2001. **O El Niño e você: o fenômeno climático**. Ed. Transtec. São José dos Campos, SP. 116p.
- Parente, H.N.; Andrade, A.P.; Silva, D.S.; Santos, E.M.; Araújo, K.D. & Parente, M.O.M. 2012. Influência do pastejo e da precipitação sobre a fenologia de quatro espécies em área de Caatinga. **Revista Árvore** **36**(3): 411-421.
- Pillar, V.D. 1999. The bootstrapped ordination re-examined. **Journal of Vegetation Science** **10**: 895-902.
- Prieto, P.; Peñuelas, J.; Ogaya, R. & Estiarte, M. 2008. Precipitation-dependent flowering of *Globularia alypum* and *Erica multiflora* in Mediterranean shrubland under experimental drought and warming, and its inter-annual variability. **Annals of Botany** **102**: 275-285.
- Querino, R.B.; Moraes, R.C.B. & Zucchi, R.A. 2002. Relative warp analysis to study morphological variations in the genital capsule of *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Neotropical Entomology** **31**(2): 217-224.
- Ramos, M.C. 2001. Divisive and hierarchical clustering techniques to analyse variability of rainfall distribution patterns in a Mediterranean region. **Atmospheric Research** **57**: 123-138.
- Ramos, M.A.B.; Viana, S. & Espírito-Santo, E.B. 2008. Mudanças Climáticas. Pp. 163-174. In: C.R. Silva (ed.). **Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro**. CPRM. Rio de Janeiro, RJ.
- Reis, S.F. 1988. Morfometria e estatística multivariada em biologia evolutiva. **Revista Brasileira de Zoologia** **5**(4): 571-580.
- Rohlf, F.J. 1996. Morphometric spaces. shape components and the effects of linear transformations. In: Marcus, L.F.; Corti, M.; Loy, A.; Naylor, G.J.P. & Slice, D.E. (Eds.) **Advances in Morphometrics**. Plenum Press. New York. 117-129p.
- Rohlf, F.J. 1999. Shape statistics: procrustes superimpositions and tangent spaces. **Journal of Classification** **16**: 197-223.
- Rohlf, F.J. 2008. **Relative Warps**. version 1.46. Ecology and evolution. SUNY at Stony Brook.
- Rohlf, F.J. 2013a. **Tps Utility Program**. version 1.52. Ecology and evolution. SUNY at Stony Brook.

- Rohlf, F.J. 2013b. **Tps Dig.** version 2.16. Ecology and evolution. SUNY at Stony Brook.
- Rohlf, F.J. & Fisher. D.L. 1968. Test for hierarchical structure in random data sets. **Systematic Zoology** **17**: 407-412.
- Rohlf, F.J. & Marcus. L.F. 1993. A revolution in morphometrics. **Trends in Ecology and Evolution** **8**(4): 129-132.
- Romero, R.; Sumner, G.; Ramis, C. & Genovés, A. 1999. A classification of the atmospheric circulation patterns producing significant daily rainfall in the Spanish Mediterranean area. **International Journal of Climatology** **19**: 765-785.
- Salinger, M.J. & Mullan, A.B. 1999. New Zealand climate: temperature and precipitation variations and their links with atmospheric circulation 1930–1994. **International Journal of Climatology** **19**: 1049-1071.
- SB Morphometrics. 2011. <<http://life.bio.sunysb.edu/morph/>>. Última atualização: jul-2002.
- Seiler, C.; Hutjes, R.W.A. & Kabat, P. 2013. Climate variability and trends in Bolivia. **Journal of Applied Meteorology and Climatology** **52**: 130-146.
- Shipunov, A.B. & Bateman, R.M. 2005. Geometric morphometrics as a tool for understanding *Dactylorhiza* (Orchidaceae) diversity in European Russia. **Biological Journal of the Linnean Society** **85**(1): 1-12.
- Silva, D.F.; Galvêncio, J.D. & Nóbrega, R.S. 2011. Influência da variabilidade climática e da associação de fenômenos climáticos sobre sub-bacias do rio São Francisco. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais** **19**: 46-56.
- Sousa, P. & Nery, J.T. 2002. Análise da variabilidade anual e interanual da precipitação pluviométrica da região de Manuel Ribas, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum** **24**(6): 1707-1713.
- Strauss, R.E. & Bookstein, F.L. 1982. The truss: body form reconstructions in morphometrics. **Systematic Zoology** **31**(2): 113-135.
- Streck, N.A.; Buriol, G.A.; Heldwein, A.B.; Gabriel, L.F. & Paula, G.M. 2009. Associação da variabilidade da precipitação pluvial em Santa Maria com a Oscilação Decadal do Pacífico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** **44**(12): 1553-1561.
- The Millennium Project. 2010. **O Estado do Futuro 2010 – Sumário executivo**. Núcleo de estudos do futuro. PUC-SP. São Paulo-SP.
- Viscosi, V.; Lepais, O.; Gerber, S. & Fortini, P. 2009. Leaf morphological analyses in four European oak species (*Quercus*) and their hybrids: a comparison of traditional and geometric morphometric methods. **Plant Biosystems** **143**(3): 564-574.
- World Meteorological Organization. 2014. Climate variability and extremes: how to measure variability. <https://www.wmo.int/pages/themes/climate/climate_variability_extremes.php#a>.
- Zangalli Junior, P.C. & Sant’Anna Neto, J.L. 2012. Mudanças climáticas globais: uma questão de escala. **Revista Geonorte** **1**(5): 619-627. Edição especial 2.

- Zelditch, M.L.; Swiderski, D.L.; Sheets, H.D. & Fink, W.L. 2004. **Geometric morphometrics for biologists: a primer**. Elsevier/Academic Press. Amsterdam. 443p.
- Zhang, Y.; Wallace, J.M. & Battisti, D.S. 1997. ENSO-like interdecadal variability: 1900–93. **American Meteorological Society** **10**: 1004-1020.

**PROBABILIDADE, VARIABILIDADE CLIMÁTICA E FENOLOGIA DE ANGIOSPERMAS NO DISTRITO
FEDERAL, BRASIL**

RESUMO

A indução da floração é um fenômeno complexo e ainda pouco conhecido. Para algumas espécies tropicais ela ocorre após algum estímulo ambiental, seja ele altamente previsível, como o fotoperíodo, ou com previsibilidade mais baixa, como a precipitação. O grau de previsibilidade dos fenômenos biológicos cíclicos é de grande interesse ecológico e por meio da decomposição do valor de previsibilidade é possível classificar o grau de oportunismo de qualquer evento periódico, como por exemplo, a fenologia vegetal. Cada vez mais estudos fenológicos têm combinado o monitoramento em campo com o uso de registros de herbário, mostrando resultados altamente satisfatórios. Atualmente a existência de uma ferramenta que estima a previsibilidade de cada fenofase baseado em dados de herbário tem aberto possibilidades de explorar o grau de oportunismo da reprodução da flora usando técnicas de teoria da probabilidade. Utilizando registros de campo e herbário – de angiospermas – coletados no Distrito Federal, calculamos o grau de oportunismo e previsibilidade da floração de 36 espécies nativas e de alta representatividade do Cerrado. Verificamos também a correlação existente entre a hipotética intensidade da floração dessas espécies e o ponto mais seco e mais chuvoso do ano, utilizando para isso a média dos valores diários de precipitação de um período de 50 anos (1963-2013). Apenas quatro espécies mostraram reprodução fiel, indicando que a maioria das espécies depende de algum disparador ambiental para florescer. A análise de correlação mostrou que as espécies que florescem mais próximo da estação seca têm a floração mais previsível que espécies que florescem mais perto ou durante o período chuvoso. Quatro grupos de previsibilidade foram identificados. Não foi observada estrutura filogenética óbvia em nenhum dos grupos, bem como nenhuma aparente relação com forma de vida ou tamanho foliar. No entanto, o comprimento do dia ou o acúmulo de temperaturas elevadas ou de precipitação nos meses que antecedem a floração parece ter influenciado a formação dos grupos.

Palavras-chave: Floração, oportunismo, previsibilidade.

1. INTRODUÇÃO

Na região tropical os padrões fenológicos da vegetação sofrem influência de fatores bióticos – como a atividade de polinizadores e a dispersão e germinação de sementes – e abióticos como irradiação, temperatura, precipitação, estresse hídrico e fotoperíodo (Janzen 1967; Monasterio & Sarmiento 1976; Sarmiento & Monasterio 1983; Rathcke & Lacey 1985). Em climas sazonais a disponibilidade de polinizadores, dispersores, predadores e competidores é flutuante (Lieberman 1982) e as atividades destes agentes podem funcionar como forças seletivas para a sazonalidade dos eventos reprodutivos das plantas (Janzen 1967), ao mesmo tempo os fatores abióticos muitas vezes atuam como limitantes para a fenologia (Reich & Borchert 1984; Wright & van Schaik 1994).

No clima sazonal do nordeste da Espanha, Prieto *et al.* (2008) observaram que tanto a intensidade da floração máxima quanto a data da antese de dois arbustos dominantes na região responderam à precipitação. Em florestas sazonalmente secas a precipitação é o principal fator desencadeador dos eventos fenológicos, embora a literatura tenha registrado que plantas desses ambientes exibem diversas estratégias que favorecem a ocorrência de brotamento de folhas e floração durante a estação seca (Lima & Rodal 2010). A quebra de dormência nos botões que determina a antese floral ocorre em função da redução do estresse de água, baixa temperatura, aumento de fotoperíodo e seca (Opler *et al.* 1976) e essa resposta oportunista à disponibilidade de água tem sido considerada a explicação mais simples para os padrões encontrados em regiões onde a água é sazonalmente limitante e é considerada uma "estratégia de segurança" para o controle da floração (Friedel *et al.* 1993).

Em savanas neotropicais, a presença de flores pode ser observada durante todo o ano, porém, espécies arbóreas e arbustivas tendem a apresentar floração mais frequente durante a transição da estação seca para a chuvosa, enquanto a floração de espécies herbáceas tem maior frequência na transição da chuva para a seca (Monasterio & Sarmiento 1976; Batalha & Mantovani 2000; Lenza & Klink 2006; Oliveira 2008). Além disso, neste ambiente as camadas superficiais do solo durante a estação seca e veranicos sofrem redução na disponibilidade de água, facilitando a ocorrência de queimadas (Kanegae *et al.* 2000) e, por consequência, a indução da floração para algumas espécies (Hoffmann 1998; Hoffmann & Solbrig 2003).

A indução da floração é um fenômeno complexo, sendo que as espécies mais bem estudadas são as plantas “modelo” de clima temperado como *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh e algumas espécies de grande importância econômica. Há indicação da existência de um componente genético fortemente conservado, que é moderado por outros genes e modificado pelo ambiente (Lazakis *et al.* 2011; Srikanth & Schmid 2011; Ebine *et al.* 2012). Nesses estudos as plantas são classificadas em

“plantas de dia longo” (florescem quando a noite se torna mais curta), “plantas de dia curto” (florescem quando a noite se torna mais longa) e “plantas indiferentes ao fotoperíodo”. Além da duração relativa do dia e da noite (fotoperíodo), a transição entre luz-escuro e a quantidade e qualidade da luz, principalmente na faixa do infra-vermelho, também geram efeito na floração (Cerdán & Chory 2003).

Nos trópicos há controvérsias se as pequenas variações de fotoperíodo das latitudes mais baixas são perceptíveis para as plantas (vide Rivera & Borchert 2001), sendo postulado que, principalmente em ambientes sazonais, fatores como temperatura, precipitação, padrões de crescimento, caducifolia, herbivoria e disponibilidade sazonal de nutrientes podem ser mais ou igualmente importantes (Wright 1996).

A época de floração é muito conservada filogeneticamente e comparando época de floração entre duas floras temperadas, uma do velho mundo (Japão) e outra do novo mundo (Estados Unidos), Kochmer & Handel (1986) verificaram que a época de floração das famílias botânicas se mostrou estatisticamente indistinguível entre as duas floras, sendo que a forma de vida também influenciou.

Dentre os fatores abióticos que afetam a floração, alguns podem ser altamente previsíveis como o fotoperíodo que é uma variável astronômica, enquanto outros fatores são pouco previsíveis, como, por exemplo, a precipitação, que é afetada pelo ciclo hidrológico (Torres & Machado 2011). O grau de previsibilidade dos fenômenos biológicos cíclicos é de grande interesse ecológico, podendo ser aplicados sobre eles os princípios da teoria da probabilidade (Colwell 1974).

De acordo com Colwell (1974), a previsibilidade é composta da soma de duas variáveis, constância (C) e contingência (M), sendo que a primeira variável reflete a duração do evento e a segunda a sua flexibilidade no tempo. Exemplificando, o evento “duração do dia (24 horas)” por ser altamente constante, já que ocorre nos 365 dias do ano, tem constância = 1, resultando num evento com máxima previsibilidade ($P = 1$). Em contraste, o evento “Natal” é muito pouco constante (só está presente em um dia do ano), mas é altamente contingente, visto que ocorre em apenas um dia do ano (25 de dezembro), nesse caso o evento também tem $P = 1$, mas por sua alta contingência.

Wingfield *et al.* (1992) propuseram que a razão contingência/constância, ao qual deram o nome de I_e (*Environmental Effect Factor*) pode ser utilizada para classificar o grau de oportunismo do evento reprodutivo. Para organismos com valores muito baixos de I_e , próximos de zero, os autores propõem que o organismo não utiliza nenhum estímulo ambiental casuístico para que o evento reprodutivo ocorra, obedecendo a ritmos endógenos ou respostas a estímulos extremamente previsíveis, como mudanças no fotoperíodo, por exemplo. Quanto mais o valor de I_e aumenta, mais aumentam os estímulos ambientais não previsíveis dos quais a espécie se utiliza para sincronizar o

evento, caracterizando assim reprodução oportunista. Com o teste bem sucedido para reprodução de aves, Wingfield *et al.* (1992) afirmam que o fator I_e pode ser aplicado a qualquer evento periódico. Aves de climas sazonais mostraram estratégias de reprodução oportunistas, com crescimento de gônadas induzidas por chuvas, menos previsíveis, em vez de induzidas por mudanças no fotoperíodo como usualmente ocorre (Hau 2001).

Há na literatura um grande volume de dados registrando a fenologia de plantas nas savanas do Distrito Federal - Brasil, tanto de comunidades (Oliveira 1991; Antunes & Ribeiro 1999; Munhoz & Felfili 2005; Lenza & Klink 2006; Oliveira 2008) como estudos individuais detalhados (Silva 1995; Ribeiro 2003; Lenza & Oliveira 2006; Lenza *et al.* 2008; Alves & Silva 2013). O uso de registros de herbário e fotos datadas também tem se mostrado uma ferramenta eficiente, visto que é um grande banco de dados fenológicos e, muitas vezes, a única fonte de registros da fenologia vegetal no passado (Borchert 1996; Miller-Rushing *et al.* 2006).

A incorporação de uma ferramenta que estima a previsibilidade de cada fenofase baseada em dados de herbário no *software* BRAHMS (*Botanical Research and Herbarium Management System*) abre possibilidades de explorar o grau de oportunismo da reprodução da flora usando técnicas de teoria da probabilidade. A probabilidade da fenofase (*Phenological Predictability Index* - PPI) é calculada para cada fenofase/táxon/mês (Proença *et al.* 2012; BRAHMS documentation 2012) e a soma destes valores mensais define a previsibilidade da fenofase. O PPI mensal calculado varia de 0.02 a 1 e é influenciado pela duração da fenofase de cada indivíduo, sincronia entre indivíduos, variabilidade anual de sincronia e duração, e pelo deslocamento temporal. O programa gera um gráfico que permite visualizar a probabilidade mensal e a existência de um ou mais picos, quando há, e, aliado aos estudos de campo, a partir dos quais se podem deduzir os valores médios de constância para os eventos fenológicos, permite o cálculo da contingência e, conseqüentemente, do I_e .

O objetivo do presente estudo é explorar a previsibilidade e o grau de oportunismo do evento fenológico floração no Distrito Federal, no bioma Cerrado do Brasil, e investigar suas possíveis relações com as características climáticas de temperatura, precipitação e fotoperíodo.

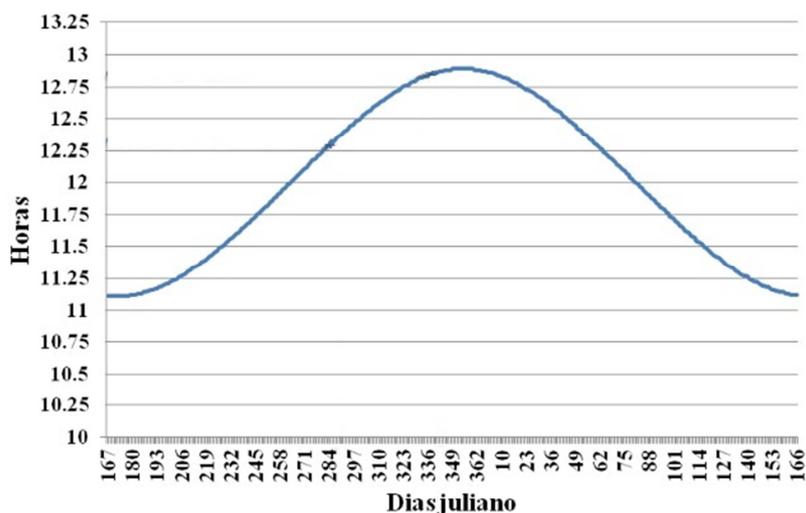


Figura 5.1. Fotoperíodo para Planaltina, Distrito Federal. Modificado de Lima (2014).

2. METODOLOGIA

2.1. Seleção da área de estudo

O Distrito Federal, Brasil, é a região mais bem coletada do Centro da América do Sul (Simon & Proença 2000). É área core do domínio fitogeográfico do Cerrado e possui alta diversidade biológica e fisionômica, abrigando um complexo de tipos vegetacionais como campos, savanas e florestas. Localiza-se entre os paralelos 15°30' e 16°03' de latitude sul e os meridianos 47°25' e 48°12' de longitude oeste, e apresenta altitudes entre 750 a 1.336 m.

O clima é tropical sazonal e varia de Cw a Aw. O fotoperíodo varia de ca. 11.1h no solstício de inverno a 12.9h no solstício de verão (Figura 5.1). A temperatura média registrada ao longo do ano é de 20.5°C, com máxima em torno de 35°C. A umidade relativa do ar é baixa, variando entre 25% no inverno e 68% no verão. A precipitação pluviométrica média anual é de 1.394 mm.

2.2. Seleção das espécies

Foi selecionada uma amostra da flora do Cerrado de 36 espécies, tendo como critérios: (1) número suficiente de coletas nos herbários (UB, HEPH, IBGE e CEN) na região do Distrito Federal, de forma a garantir PPI confiável; (2) circunscrição específica bem resolvida; (3) diversidade taxonômica, sendo contemplados 14 ordens (uma não resolvida), 25 famílias botânicas e 35 gêneros; (4) *habitats* variados; (5) hábitos mais comuns; (6) diferentes síndromes de polinização e dispersão; e (7) diferentes tipos de caducifolia, forma de vida, tamanho foliar e estratégias de floração (Tabela 5.1).

Das 36 espécies estudadas, 32 tiveram a fenologia acompanhada em campo, quinzenalmente, no Distrito Federal: 22 foram estudadas no período de novembro/2011 a junho/2013 no Parque Nacional de Brasília (PNB) e na Estação Ecológica de Águas Emendadas (ESECAE) (vide capítulo 2), dez espécies foram monitoradas no período de agosto/2000 a outubro/2003, na Reserva Ecológica do IBGE (Oliveira 2005), e uma espécie foi acompanhada em duas localidades (Parque Ecológico Olhos d'Água e Campus da Universidade de Brasília) no ano de 2011 (Vasconcelos *et al.* 2012). As quatro espécies, cuja fenologia não foi estudada em campo, foram incluídas posteriormente no intuito de aumentar a representatividade das espécies do Cerrado no estudo.

A informação de que o florescimento das espécies pode ser ocasionado pelo fogo foi inferido de exsicatas de herbário, usando as palavras de busca: “fogo”, “queimado” e “queimada” nos registros incluídos no CRIA (2014) e a partir de informações obtidas em Freitas (1998).

Tabela 5.1. Espécies vegetais selecionadas para o estudo com suas respectivas características ecológicas e valores de previsibilidade. * = espécies cuja fenologia não foi acompanhada em campo. Anemo = polinização/dispersão pelo vento; Auto = polinização/dispersão por mecanismos próprios; Zoo = polinização/dispersão por animais. ** = Sistema de classificação de Raunkiaer (1934), com modificações de Webb (1959) para tamanho foliar. ? = Informação não encontrada. -- = Impossível calcular. As espécies foram ordenadas na tabela seguindo a ordem filogenética definida pelo APG III (Stevens 2001; Haston *et al.* 2009).

| ESPÉCIE [Referências ⁽¹⁾] | LINHAGEM TAXONÔMICA (Classe, Ordem, Família) | HÁBITO | POLINIZAÇÃO E DISPERSÃO (filia/coria) | ESTRATÉGIA DE FLORAÇÃO [PPI mensal máx.] | CADUCIFOLIA | FORMA DE VIDA / TAM. FOLIAR ** | PPI TOT. (Σ PPI mensal) | Valor de I _e Classificação ⁽²⁾ |
|--|--|------------------------------|---------------------------------------|--|------------------------|--------------------------------|-------------------------|--|
| <i>Echinolaena inflexa</i> (Poir.) Chase [5, 11, 12, 19] | Commelinidae, Poales, Poaceae | Herbáceo | Anemo/Auto | Anual Unimodal [0.1207] | Sempre-verde contínua | Hemicriptófila / Microfila | 0.7349 | 4.00 Oportunista |
| <i>Davilla elliptica</i> A.St.-Hil. [2, 11] | Rosidae, Dilleniales, Dilleniaceae | Arbustivo | Zoo/Zoo | Anual Bimodal [0.0333] | Brevidécdua | Fanerófita / Notofila | 0.2447 | 5.36 Oportunista |
| <i>Periandra mediterranea</i> (Vell.) Taub. [7, 13] | Rosidae I, Fabales, Fabaceae | Subarbustivo | Zoo/Auto | Anual Bimodal [0.0288] | Sempre-verde sazonal | Caméfito / Microfila | 0.2448 | 2.40 Oportunista |
| <i>Senna rugosa</i> (G.Don) H.S.Irwin & Barneby * [1, 25] | | Arbusto | Zoo/Auto | Anual Unimodal [0.0893] | Brevidécdua | Fanerófita / Notofila | 0.4890 | -- |
| <i>Chamaecrista conferta</i> (Benth.) I.&B. [1, 11, 13] | | Subarbustivo | Zoo/Auto | Anual Bimodal [0.1186] | Brevidécdua | Caméfito / Microfila | 0.7342 | 9.10 Oportunista |
| <i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Coville [1, 19, 21] | | Arbóreo | Zoo/Auto | Subanual Multimodal [0.0942] | Brevidécdua | Fenófito / Microfila | 0.4894 | 7.10 Oportunista |
| <i>Calliandra dysantha</i> Benth. [11, 19] | | Subarbustivo | Zoo/Auto | Anual Bimodal [0.0991] | Decídua | Caméfito / Nanofila | 0.7341 | 3.45 Oportunista |
| <i>Brosimum gaudichaudii</i> Trécul [2, 5, 11, 19] | | Rosidae I, Rosales, Moraceae | Arbustivo | Anemo/Zoo | Anual Bimodal [0.0431] | Sempre-verde sazonal | Fanerófita / Microfila | 0.2448 |
| <i>Rourea induta</i> Planch. * [1, 18, 24] | Rosidae I, Oxalidales, Connaraceae | Arbóreo | Zoo/Zoo | Anual Bimodal [0.0966] | Sempre-verde sazonal | Fanerófita / Microfila | 0.4895 | 8.63 Oportunista |
| <i>Erythroxylum suberosum</i> A.St.-Hil. * [1, 18, 23] | Rosidae I, Malpighiales, Erythroxylaceae | Arbóreo | Zoo/Zoo | Subanual Multimodal [0.1597] | Brevidécdua | Fanerófita / Notofila | 0.9795 | 10.99 Oportunista |
| <i>Ouratea hexasperma</i> (A.St.-Hil.) Baill. [1, 14, 21] | Rosidae I, Malpighiales, Ochnaceae | Arbustivo | Zoo/Zoo | Anual Unimodal [0.1570] | Brevidécdua | Fanerófita / Mesofila | 0.9792 | 7.49 Oportunista |

| ESPÉCIE [Referências ⁽¹⁾] | LINHAGEM TAXONÔMICA (Classe, Ordem, Família) | HÁBITO | POLINIZAÇÃO E DISPERSÃO (filia/coria) | ESTRATÉGIA DE FLORAÇÃO [PPI mensal máx.] | CADUCIFOLIA | FORMA DE VIDA / TAM. FOLIAR ** | PPI TOT. (Σ PPI mensal) | Valor de I _e Classificação ⁽²⁾ |
|---|--|--------------|---------------------------------------|--|-----------------------|--------------------------------|-------------------------|--|
| <i>Kielmeyera coriacea</i> Mart. & Zucc. * [1, 18] | Rosidae I, Malpighiales, Calophyllaceae | Arbóreo | Zoo/Anemo | Anual Unimodal [0.1767] | Decídua | Fanerófita / Mesofila | 0.9795 | 10.75 Oportunista |
| <i>Caryocar brasiliense</i> Cambess. [1, 2, 19, 21] | Rosidae I, Malpighiales, Caryocaraceae | Arbóreo | Zoo/Zoo | Anual Unimodal [0.0978] | Sempre-verde sazonal | Fanerófita / Mesofila | 0.4895 | 7.10 Oportunista |
| <i>Byrsonima basiloba</i> A.Juss. * [1, 25] | Rosidae I, Malpighiales, Malpighiaceae | Arbustivo | Zoo/Zoo | Anual [0.0701] | Decídua | Fanerófita / Mesofila | 0.4901 | -- |
| <i>Byrsonima verbascifolia</i> (L.) DC. [1, 19, 21, 22] | | Arbustivo | Zoo/Zoo | Anual Bimodal [0.0388] | Brevidecídua | Fanerófita / Macrofila | 0.2448 | 1.05 Oportunista |
| <i>Banisteriopsis campestris</i> (A.Juss.) Little [1, 5, 11] | | Arbustivo | Zoo/Anemo | Supra-anual [0.0350] | Decídua | Caméfitas / Notofila | 0.2449 | 3.24 Oportunista |
| <i>Casearia sylvestris</i> Sw. [1, 2, 11] | Rosidae I, Malpighiales, Salicaceae | Arbustivo | Zoo/Zoo | Anual Bimodal [0.1824] | Sempre-verde sazonal | Fanerófita / Microfila | 0.9789 | 4.84 Oportunista |
| <i>Dalechampia caperonioides</i> Baill. [6, 11] | Rosidae I, Malpighiales, Euphorbiaceae | Herbáceo | Zoo/Auto | Subanual Multimodal [0.0247] | Sempre-verde sazonal | Hemicriptófita / Microfila | 0.2448 | 2.33 Oportunista |
| <i>Diplusodon villosus</i> Pohl [1, 11] | Rosidae II, Myrtales, Lythraceae | Herbáceo | Zoo/Auto | Supra-anual [0.1593] | Brevidecídua | Caméfitas / Microfila | 0.9792 | 24.43 Oportunista |
| <i>Vochysia elliptica</i> Mart. [1, 21] | Rosidae II, Myrtales, Vochysiaceae | Arbóreo | Zoo/Anemo | Anual Unimodal [0.0390] | Sempre-verde contínua | Fanerófita / Notofila | 0.2446 | 0.73 Fiel |
| <i>Miconia albicans</i> (Sw.) Triana [1, 2, 15] | Rosidae II, Myrtales, Melastomataceae | Arbustivo | Zoo/Zoo | Anual Unimodal [0.0971] | Sempre-verde contínua | Fanerófita / Notofila | 0.4896 | 10.68 Oportunista |
| <i>Rhynchanthera grandiflora</i> (Aubl.) DC. * [1, 26] | | Subarbustivo | Zoo/Anemo | Anual Unimodal [0.1205] | ? | Caméfitas / Microfila | 0.7336 | 4.61 Oportunista |
| <i>Protium ovatum</i> Engl. [5, 21] | Rosidae II, Sapindales, Burseraceae | Arbustivo | Zoo/Zoo | Anual Unimodal [0.1491] | Sempre-verde contínua | Fanerófita / Notofila | 0.9788 | 8.43 Oportunista |
| <i>Anacardium humile</i> A.St.-Hil. [2, 5, 19, 21] | Rosidae II, Sapindales, Anacardiaceae | Arbustivo | Zoo/Zoo | Anual Unimodal [0.1672] | Sempre-verde contínua | Caméfitas / Mesofila | 0.9793 | 6.18 Oportunista |
| <i>Styrax ferrugineus</i> Nees & Mart. [1, 2, 19, 21] | Asteridae I, Ericales, Styracaceae | Arbóreo | Zoo/Zoo | Anual Unimodal [0.0350] | Sempre-verde sazonal | Fanerófita / Notofila | 0.2446 | -0.14 Fiel |

| ESPÉCIE [Referências ⁽¹⁾] | LINHAGEM TAXONÔMICA (Classe, Ordem, Família) | HÁBITO | POLINIZAÇÃO E DISPERSÃO (filia/coria) | ESTRATÉGIA DE FLORAÇÃO [PPI mensal máx.] | CADUCIFOLIA | FORMA DE VIDA / TAM. FOLIAR ** | PPI TOT. (Σ PPI mensal) | Valor de I _e Classificação ⁽²⁾ |
|--|---|--------------|---------------------------------------|--|-----------------------|--------------------------------|-------------------------|--|
| <i>Emmotum nitens</i> (Benth.) Miers [2, 19, 21] | Asteridae I, Ordem não resolvida, Icacinaceae | Arbóreo | Zoo/Zoo | Supra-anual [0.1455] | Sempre-verde sazonal | Fanerófita / Mesofila | 0.9790 | 2.18 Oportunista |
| <i>Palicourea rigida</i> Kunth [1, 2, 5, 11, 20] | Asteridae I, Gentianales, Rubiaceae | Arbustivo | Zoo/Zoo | Anual Bimodal [0.0813] | Sempre-verde contínua | Fanerófita / Macrofila | 0.4898 | 8.10 Oportunista |
| <i>Solanum subumbellatum</i> Vell. [1, 10, 11, 16] | Asteridae I, Solanales, Solanaceae | Subarbustivo | Zoo/Zoo | Anual Bimodal [0.0400] | Decídua | Caméfito / Microfila | 0.2448 | 4.30 Oportunista |
| <i>Hyptis villosa</i> Pohl ex Benth. [1, 11] | Asteridae I, Lamiales, Lamiaceae | Herbáceo | Zoo/Auto | Anual Unimodal [0.0724] | Decídua | Caméfito / Microfila | 0.4896 | 2.18 Oportunista |
| <i>Ruellia incompta</i> (Nees) Lindau [3, 11] | Asteridae I, Lamiales, Acanthaceae | Subarbustivo | Zoo/Zoo | Anual Bimodal [0.1861] | Sempre-verde contínua | Caméfito / Microfila | 0.9789 | 24.43 Oportunista |
| <i>Jacaranda ulei</i> Bureau & K.Schum. [4, 11] | Asteridae I, Lamiales, Bignoniaceae | Arbustivo | Zoo/Anemo | Anual Unimodal [0.1004] | Decídua | Hemicriptófita / Microfila | 0.4897 | 7.90 Oportunista |
| <i>Fridericia platyphylla</i> (Cham.) L.G.Lohmann * [1] | | Arbustivo | Zoo/Anemo | Anual Bimodal [0.0514] | ? | Caméfito / Mesofila | 0.4896 | -- |
| <i>Piptocarpha rotundifolia</i> (Less.) Baker [1, 2, 19, 21] | Asteridae II, Asterales, Asteraceae | Arbóreo | Zoo/Anemo | Anual Bimodal [0.0406] | Sempre-verde sazonal | Fanerófita / Mesofila | 0.2448 | 3.05 Oportunista |
| <i>Chresta sphaerocephala</i> DC. [1, 11, 17] | | Herbáceo | Zoo/Anemo | Anual Unimodal [0.1891] | Sempre-verde sazonal | Geófita / Mesofila | 0.9792 | 5.82 Oportunista |
| <i>Lepidaploa aurea</i> (Mart. ex DC.) H.Rob. * [1] | | Herbáceo | Zoo/Anemo | Supra-anual [0.0367] | Decídua (Anual) | Caméfito / Microfila | 0.2448 | 0.28 Fiel |
| <i>Aspilia foliacea</i> (Spreng.) Baker * [1] | | Herbáceo | Zoo/Anemo | Anual [0.0421] | Decídua (Anual) | Hemicriptófita / Microfila | 0.2450 | -- |

⁽¹⁾ 1. Silva *et al.* (2012); 2. Martins (2005); 3. Lima (2012); 4. Fukuda (2011); 5. Barbosa (1997); 6. Rodrigues (2007); 7. Silveira (1991); 8. Franzon *et al.* (2009); 9. Costa & Machado (2008); 10. Bezerra & Machado (2003); 11. Amaral *et al.* (2013); 12. Ramos (2010); 13. Dutra *et al.* (2009); 14. Silva (2013); 15. Pereira *et al.* (2009); 16. Moura *et al.* (2010); 17. Appezzato-da-Glória *et al.* (2008); 18. Lenza & Klink (2006) 19. Almeida *et al.* (1998); 20. Silva (1995); 21. Batalha (2001); 22. Barros (1992); 23. Barros (1998); 24. Lenza *et al.* (2008); 25. Moleiro (2007); 26. Albuquerque *et al.* (2013).

⁽²⁾ *sensu* Wingfield *et al.* (2000).

2.3. Análise dos dados

Phenological Predictability Index - PPI

Para o cálculo do mês de maior probabilidade da floração e do PPI mensal máximo foram utilizados registros obtidos em coletas herborizadas presentes nos principais herbários do Distrito Federal: Universidade de Brasília (UB), Jardim Botânico de Brasília (HEPH), IBGE (IBGE) e Embrapa Cenargen (CEN) e estudos fenológicos, sempre realizados no Distrito Federal. Quando os registros resultavam em número de eventos inferior a 50, foram adicionados dados do *Species Link* (CRIA 2014), literatura e fotografias datadas. A soma dos PPIs mensais produziu o valor referente à previsibilidade do evento (PPI total).

O *software* utilizado foi o BRAHMS v. 7.5.

Environmental Effect Factor (I_e) e gráficos de dispersão

O fator de efeito ambiental (I_e) foi calculado por meio da fórmula contingência/constância e os resultados definiram a classificação das espécies quanto ao oportunismo da floração. Para tal, utilizou-se o proposto por Wingfield *et al.* (2000): (1) $I_e < 1$ = reprodução sazonal fiel; (2) $I_e \geq 1$ = reprodução oportunista.

Dois gráficos de dispersão são apresentados. O primeiro mostra a relação entre os valores de PPI máximo mensal e os meses de máxima previsibilidade indicados pelo PPI para as 36 espécies estudadas e foi plotado no editor de planilhas Microsoft Office Excel. O segundo apresenta a relação entre as componentes da previsibilidade – constância e contingência – para as 32 espécies cuja fenologia foi acompanhada em campo, e foi confeccionado por meio do *software* estatístico Minitab 16 (2009).

Dados climatológicos e análise de correlação

Os dados diários de precipitação do período de janeiro/1963 a junho/2013 foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a partir de registros da estação climática principal de Brasília (Estação 83377), localizada sob as coordenadas 15°78'W - 47°93'S e altitude 1159.54 m.

A fim de verificar a existência de correlação entre os períodos mais seco e mais chuvoso do ano e a intensidade de floração das espécies foi estimado o coeficiente de correlação de *Pearson* (r) por meio do *software* estatístico Minitab 16 (2009). Todas as variáveis foram estandardizadas de forma que a distribuição original dos dados não fosse modificada.

Primeiramente, por meio do *software* de estatística circular Oriana 4.2 (Kovach Computing Services 2012) e a partir dos dados registrados em herbário, foi calculada a média angular de cada espécie – para a fenofase floração (antese) – em forma de datas (dia do ano), que chamamos de dia médio. O dia médio foi então transformado em decêndio do ano (decêndio médio) e a distância – em número de decêndios – entre este e o decêndio mais seco (1º de julho) e o mais chuvoso (2º de dezembro) foi calculada.

Para a definição dos períodos mais seco e mais chuvoso do ano calculou-se a média dos valores diários de precipitação (mm) do período 1963-2013 fornecidos pelo INMET. Em seguida foi feita a correlação entre o valor do PPI máximo de cada espécie e a distância entre os decêndios médios e o decêndio mais seco/chuvoso. Desse modo, foram realizadas análises de correlação para: PPI (flor) x distância (decêndio médio/mais seco); e PPI (flor) x distância (decêndio médio/mais chuvoso).

Foram excluídas desta análise as espécies classificadas como fiéis, segundo o cálculo do fator I_e . A classificação dos resultados da correlação seguiu a tabela de Rugg (Sounis 1971), onde: $r < 0.15$ = correlação desprezível; $0.15 < r < 0.29$ = correlação baixa; $0.3 < r < 0.49$ = correlação apreciável; $r > 0.5$ = correlação acentuada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Previsibilidade e Fator de Efeito Ambiental

Os valores de previsibilidade do evento variaram de 0.2446 a 0.9795 e apresentaram um padrão altamente aglutinado em volta de 0.24, 0.48, 0.74 e 0.97, com ausência de valores intermediários (Tabela 5.2). Após esse resultado surpreendente, verificamos, calculando manualmente, se não havia vício matemático no cálculo da somatória, o que foi rejeitado. Verificamos também que, embora haja alta heterogeneidade dos valores mensais, estes, quando somados, produzem valores em classes discretas de previsibilidade. Valores tão discretos (~0.25, 0.5, 0.75, 1) lembram a genética mendeliana, e é sabido que as épocas de floração são altamente conservadas em nível de família. Há que ponderar, porém, que o PPI é calculado atribuindo pesos que são sucessivamente divididos por dois à medida que o registro se afasta do mês para o qual está sendo calculado o PPI (vide Capítulo 1 para detalhes do cálculo), e que foi idealizado para comparar a probabilidade relativa do evento entre os meses do ano. Seria importante que o resultado fosse analisado por um matemático, porém, na ausência de evidência contrária, nós os tratamos como grupos de previsibilidade.

Os valores de I_e variaram entre -0.14 (*Styrax ferrugineus*) e 24.43 (*Diplusodon villosus* e *Ruellia incompta*). Quatro espécies apresentaram valor de $I_e < 1$, caracterizando comportamento reprodutivo sazonal fiel e 28 tiveram valor de $I_e > 1$, classificadas como oportunistas. O valor negativo de contingência de *S. ferrugineus*, que produziu um I_e negativo, foi interpretado como falta de refinamento na constância, que deve ter sido superestimada. Quatro espécies não puderam ter seu I_e calculado por ausência de estudos fenológicos em campo que permitissem calcular a constância. Para fins comparativos, para um grupo de animais de clima temperado, sendo duas espécies de aves e três espécies de mamíferos, valores de I_e variaram entre 0.47 a 7.66 (Stevenson & Ball 2011).

3.2. Probabilidade máxima mensal da floração e precipitação

Foi plotado um gráfico de dispersão entre os valores mensais máximos de PPI (correspondente ao mês em que a floração é mais provável) das 36 espécies estudadas e os meses do ano. Todos os meses tiveram uma ou mais espécies com pico de previsibilidade, exceto julho. Foram registradas nove faixas de valor de PPI. É possível perceber que as três espécies cujo mês de maior probabilidade é chuvoso – janeiro e dezembro – apresentam PPI nas duas faixas mais baixas. Sete espécies com PPI mensal máximo nos meses mais secos – junho e agosto – apresentaram valores de PPI nas cinco faixas mais altas, incluindo os valores mais altos observados. Do total de espécies estudadas, 41.7% apresentaram maior probabilidade de florescer nos meses mais úmidos ou de transição (setembro a maio) e tiveram os menores valores de PPI (<0.08), destas, 80% mostraram PPI < 0.05, ou seja, nas duas faixas mais baixas (Figura 5.2).

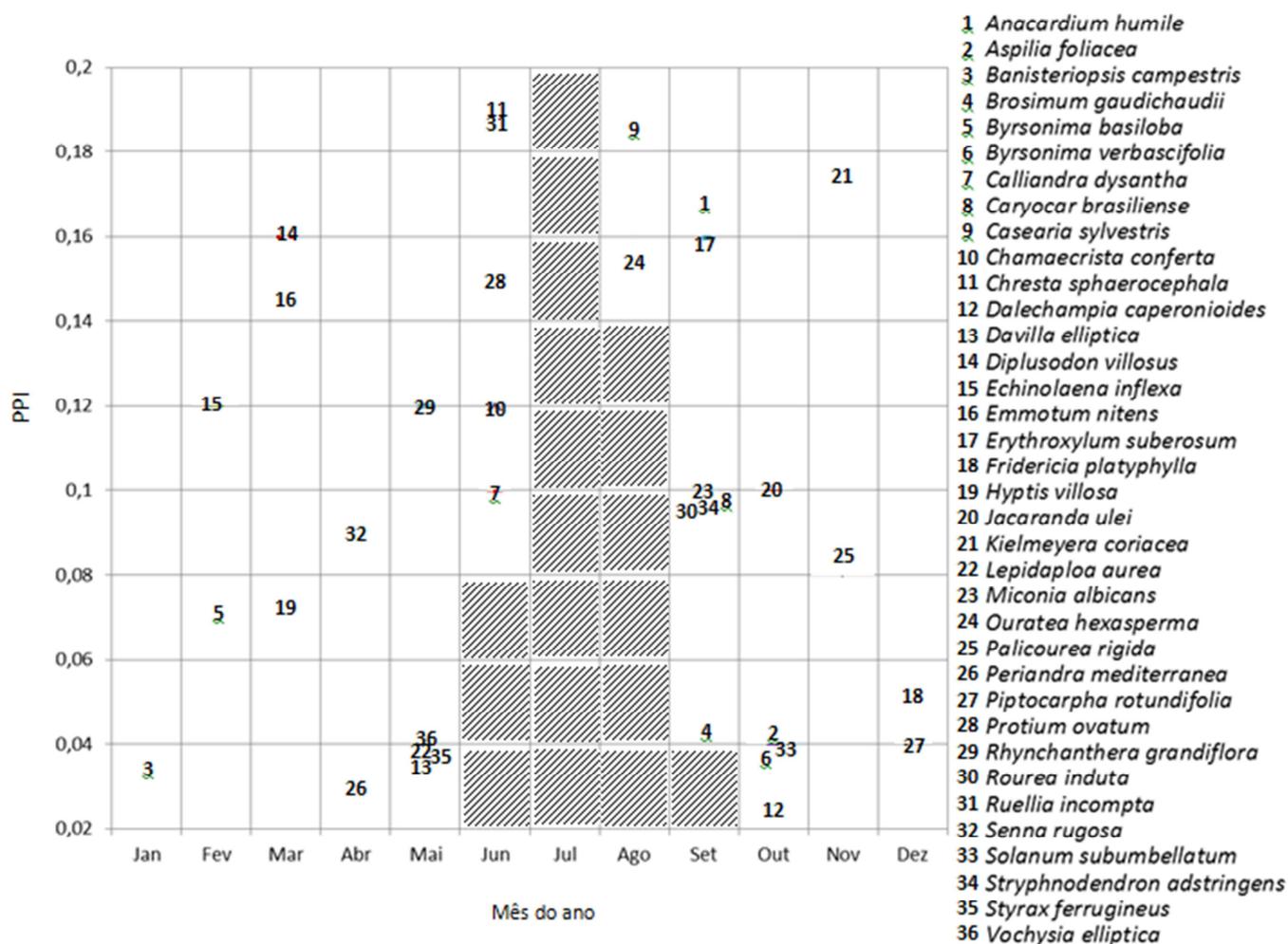


Figura 5.2. Gráfico de dispersão dos valores do índice de previsibilidade fenológica (PPI) e os meses de máxima probabilidade de 36 espécies do Cerrado do Distrito Federal. Hachuras mostram o espaço ecológico não explorado.

Para testar a relação entre a floração previsível e a precipitação foi feita uma análise de correlação entre a intensidade de floração das espécies e sua distância do decêndio mais seco do ano (2º de julho). Quando todas as espécies foram incluídas, o resultado não foi estatisticamente significativo. Quando foram incluídas apenas as espécies com $I_e > 1$, classificadas como oportunistas, o resultado foi uma correlação negativa e apreciável ($r = -0.432$; $p = 0.013$). A análise complementar, entre o decêndio de floração mais provável das espécies e a distância para o decêndio mais chuvoso (2º de dezembro), mostrou resultado similar: para todas as espécies não foi significativa, mas para somente as oportunistas, a correlação foi positiva e apreciável ($r = 0.422$; $p = 0.016$) (Figura 5.3). Estas duas correlações sustentam a hipótese levantada pela Figura 5.2, de que espécies mais previsíveis para a fenofase floração florescem nos meses de seca, quando há também maior irradiação solar e temperaturas máximas previsíveis (vide Capítulo 4).

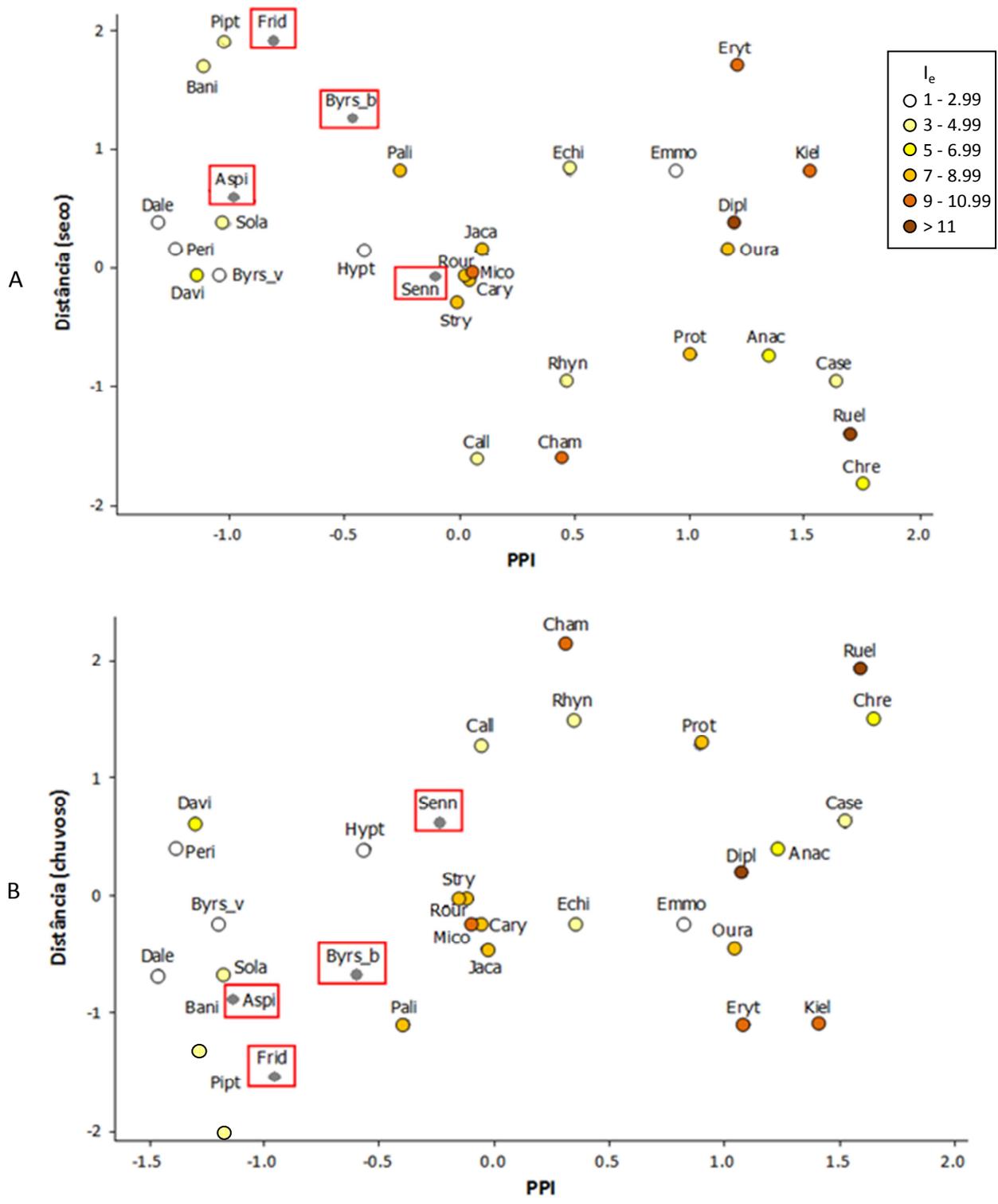


Figura 5.3. Correlação de *Pearson* (r) entre os valores de PPI mensal máximo (pico de probabilidade) e a distância do decêndio médio deste mês para o decêndio mais seco (A) e mais chuvoso (B) do ano. As variáveis foram estandarizadas. As espécies estão representadas pelas quatro primeiras letras do gênero ao qual pertencem (com exceção de Byrs_b = *Byrsonima basiloba* e Byrs_v = *B. verbascifolia*). Destacados de vermelho estão as espécies cujo fator de I_e não pôde ser calculado.

Em junho há também encurtamento de dias à medida que se aproxima o solstício de inverno (vide Figura 5.1, dia juliano 167). Observa-se também na Figura 5.3 que as espécies com valores mais baixos de I_e (oportunismo leve) tendem a apresentar valores mais baixos de PPI, ao passo que os maiores valores de I_e (oportunismo forte) têm valores de PPI mensal moderados a altos.

Em relação ao fator de efeito ambiental (I_e), quatro espécies tiveram $I_e < 1$ e foram classificadas como espécies de floração fiel: *Brosimum gaudichaudii*, *Lepidaploa aurea*, *Styrax ferrugineus* e *Vochysia elliptica*. Dentre as espécies de floração oportunista os valores de I_e variaram entre 1.05 e 24.43. Não houve relação aparente com família, ordem ou clado, nem com forma de vida, tamanho foliar, polinizador ou dispersor. É digno de nota que, ao incluirmos as espécies fiéis na análise de correlação, a correlação perde a significância estatística e torna-se desprezível. Isso é explicado pela hipótese de que espécies com floração fiel independem de disparadores ambientais para florescer, atuando, geralmente, sob programação endógena (Wingfield *et al.* 1992).

Tabela 5.2. Espécies estudadas e seus respectivos valores de PPI mensais e total, constância (C), contingência (M) e fator de efeito ambiental (I_e). ? = espécies que não tiveram a fenologia acompanhada não puderam ter sua constância calculada, impedindo o cálculo da contingência e I_e. Asteriscos indicam as espécies com reprodução sazonal fiel. Tons de cinza identificam grupos de previsibilidade, definidos pelo valor do PPI total (vermelho). Em negrito está o máximo PPI mensal.

| Espécies | PPI_Jan | PPI_Fev | PPI_Mar | PPI_Abr | PPI_Mai | PPI_Jun | PPI_Jul | PPI_Ago | PPI_Set | PPI_Out | PPI_Nov | PPI_Dez | PPI_Tot | C | M | I _e |
|------------------------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------|---------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------|--------|--------|----------------|
| <i>Styrax ferrugineus</i> * | 0.0112 | 0.0163 | 0.0238 | 0.0319 | 0.035 | 0.0333 | 0.0258 | 0.0199 | 0.0153 | 0.0132 | 0.0102 | 0.0087 | 0.2446 | 0.2846 | -0.04 | -0.14 |
| <i>Vochysia elliptica</i> * | 0.0076 | 0.0124 | 0.0216 | 0.0334 | 0.039 | 0.036 | 0.0313 | 0.0243 | 0.0163 | 0.0102 | 0.0066 | 0.0059 | 0.2446 | 0.1412 | 0.1034 | 0.73 |
| <i>Davilla elliptica</i> | 0.0191 | 0.0222 | 0.0272 | 0.0321 | 0.0333 | 0.0301 | 0.0192 | 0.0119 | 0.0094 | 0.0102 | 0.0135 | 0.0165 | 0.2447 | 0.0385 | 0.2062 | 5.36 |
| <i>Brosimum gaudichaudii</i> * | 0.0095 | 0.008 | 0.0088 | 0.0115 | 0.0138 | 0.0213 | 0.0294 | 0.0385 | 0.0431 | 0.0296 | 0.0191 | 0.0122 | 0.2448 | 0.2258 | 0.019 | 0.08 |
| <i>Byrsonima verbascifolia</i> | 0.0112 | 0.0088 | 0.0097 | 0.012 | 0.0143 | 0.0175 | 0.02 | 0.0285 | 0.0366 | 0.0388 | 0.0296 | 0.0178 | 0.2448 | 0.1192 | 0.1256 | 1.05 |
| <i>Dalechampia caperonioides</i> | 0.0198 | 0.0187 | 0.0182 | 0.0187 | 0.0201 | 0.0188 | 0.0182 | 0.0205 | 0.0237 | 0.0247 | 0.0228 | 0.0206 | 0.2448 | 0.0735 | 0.1713 | 2.33 |
| <i>Periandra mediterranea</i> | 0.0214 | 0.0271 | 0.0272 | 0.0288 | 0.0287 | 0.0238 | 0.0167 | 0.0144 | 0.0138 | 0.0137 | 0.0132 | 0.016 | 0.2448 | 0.0719 | 0.1729 | 2.40 |
| <i>Piptocarpha rotundifolia</i> | 0.0347 | 0.0246 | 0.0203 | 0.0155 | 0.0141 | 0.0095 | 0.0084 | 0.0097 | 0.014 | 0.0211 | 0.0323 | 0.0406 | 0.2448 | 0.0604 | 0.1844 | 3.05 |
| <i>Solanum subumbellatum</i> | 0.0156 | 0.0129 | 0.0112 | 0.0102 | 0.0095 | 0.0126 | 0.0166 | 0.0247 | 0.0369 | 0.04 | 0.0326 | 0.022 | 0.2448 | 0.0462 | 0.1986 | 4.30 |
| <i>Lepidaploa aurea</i> * | 0.0142 | 0.0166 | 0.023 | 0.0343 | 0.0367 | 0.0319 | 0.0217 | 0.0158 | 0.0123 | 0.0114 | 0.0137 | 0.0132 | 0.2448 | 0.1917 | 0.0531 | 0.28 |
| <i>Banisteriopsis campestris</i> | 0.035 | 0.0342 | 0.0283 | 0.0201 | 0.0138 | 0.0102 | 0.0075 | 0.008 | 0.0103 | 0.0171 | 0.0268 | 0.0336 | 0.2449 | 0.0577 | 0.1872 | 3.24 |
| <i>Aspilia foliacea</i> | 0.019 | 0.0135 | 0.0089 | 0.0069 | 0.0076 | 0.0105 | 0.0168 | 0.0238 | 0.0327 | 0.0421 | 0.0369 | 0.0263 | 0.245 | ? | ? | ? |
| <i>Senna rugosa</i> | 0.0312 | 0.0433 | 0.068 | 0.0893 | 0.0706 | 0.0448 | 0.0275 | 0.0236 | 0.0234 | 0.0207 | 0.0217 | 0.0249 | 0.489 | ? | ? | ? |
| <i>Stryphnodendron adstringens</i> | 0.0164 | 0.015 | 0.0154 | 0.02 | 0.0267 | 0.0343 | 0.0466 | 0.0698 | 0.0942 | 0.0793 | 0.0457 | 0.026 | 0.4894 | 0.0604 | 0.429 | 7.10 |
| <i>Caryocar brasiliense</i> | 0.0197 | 0.0119 | 0.0111 | 0.0141 | 0.0183 | 0.0273 | 0.0424 | 0.0748 | 0.0978 | 0.0877 | 0.0514 | 0.033 | 0.4895 | 0.0604 | 0.4291 | 7.10 |
| <i>Rourea induta</i> | 0.0208 | 0.0128 | 0.0117 | 0.0145 | 0.0209 | 0.0287 | 0.0415 | 0.0703 | 0.0966 | 0.0817 | 0.0557 | 0.0343 | 0.4895 | 0.0508 | 0.4387 | 8.63 |
| <i>Fridericia plathyphylla</i> | 0.0488 | 0.0486 | 0.0441 | 0.0405 | 0.0424 | 0.0342 | 0.0255 | 0.03 | 0.0355 | 0.0375 | 0.0511 | 0.0514 | 0.4896 | ? | ? | ? |
| <i>Hyptis villosa</i> | 0.0455 | 0.0668 | 0.0724 | 0.0687 | 0.0616 | 0.0477 | 0.0309 | 0.0186 | 0.013 | 0.015 | 0.0214 | 0.028 | 0.4896 | 0.1538 | 0.3358 | 2.18 |
| <i>Miconia albicans</i> | 0.0236 | 0.0141 | 0.0112 | 0.0126 | 0.0175 | 0.0268 | 0.0408 | 0.0621 | 0.0971 | 0.0886 | 0.0588 | 0.0364 | 0.4896 | 0.0419 | 0.4477 | 10.68 |
| <i>Jacaranda ulei</i> | 0.0255 | 0.0164 | 0.0113 | 0.0105 | 0.0136 | 0.0213 | 0.0319 | 0.0517 | 0.0904 | 0.1004 | 0.0761 | 0.0406 | 0.4897 | 0.055 | 0.4347 | 7.90 |
| <i>Palicourea rígida</i> | 0.0467 | 0.0309 | 0.0184 | 0.0151 | 0.0178 | 0.0261 | 0.0287 | 0.0359 | 0.0482 | 0.0698 | 0.0813 | 0.0709 | 0.4898 | 0.0538 | 0.436 | 8.10 |
| <i>Byrsonima basiloba</i> | 0.0589 | 0.0701 | 0.0642 | 0.0558 | 0.0442 | 0.0307 | 0.0195 | 0.0151 | 0.019 | 0.0263 | 0.037 | 0.0493 | 0.4901 | ? | ? | ? |
| <i>Rhynchanthera grandiflora</i> | 0.0243 | 0.0433 | 0.0795 | 0.1113 | 0.1205 | 0.101 | 0.0778 | 0.0581 | 0.0445 | 0.0336 | 0.0217 | 0.018 | 0.7336 | 0.1308 | 0.6028 | 4.61 |
| <i>Calliandra dysantha</i> | 0.0255 | 0.0261 | 0.0408 | 0.0657 | 0.0865 | 0.0991 | 0.0917 | 0.0871 | 0.0803 | 0.0617 | 0.043 | 0.0266 | 0.7341 | 0.165 | 0.5691 | 3.45 |
| <i>Chamaecrista conferta</i> | 0.0166 | 0.0251 | 0.0418 | 0.0704 | 0.1052 | 0.1186 | 0.1074 | 0.0856 | 0.0675 | 0.0486 | 0.0297 | 0.0177 | 0.7342 | 0.0727 | 0.6615 | 9.10 |
| <i>Echinolaena inflexa</i> | 0.1 | 0.1207 | 0.1121 | 0.0925 | 0.0688 | 0.0461 | 0.0244 | 0.0167 | 0.0185 | 0.0259 | 0.0416 | 0.0676 | 0.7349 | 0.1469 | 0.588 | 4.00 |
| <i>Protium ovatum</i> | 0.0542 | 0.0813 | 0.1125 | 0.1366 | 0.147 | 0.1491 | 0.1163 | 0.0691 | 0.0403 | 0.0235 | 0.0203 | 0.0286 | 0.9788 | 0.1038 | 0.875 | 8.43 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|--------|--------|---------------|--------|--------|---------------|--------|---------------|---------------|--------|---------------|--------|--------|--------|--------|-------|
| <i>Casearia sylvestris</i> | 0.0197 | 0.0176 | 0.028 | 0.0421 | 0.0639 | 0.1046 | 0.1501 | 0.1824 | 0.1647 | 0.1078 | 0.0646 | 0.0334 | 0.9789 | 0.1785 | 0.8004 | 4.48 |
| <i>Ruellia incompa</i> | 0.0222 | 0.0422 | 0.0706 | 0.1086 | 0.1547 | 0.1861 | 0.1527 | 0.1031 | 0.0665 | 0.037 | 0.0201 | 0.0151 | 0.9789 | 0.0385 | 0.9404 | 24.43 |
| <i>Emmotum nitens</i> | 0.1123 | 0.1412 | 0.1455 | 0.119 | 0.0895 | 0.0663 | 0.0365 | 0.026 | 0.0311 | 0.0542 | 0.0739 | 0.0835 | 0.979 | 0.3077 | 0.6713 | 2.18 |
| <i>Chresta sphaerocephala</i> | 0.015 | 0.0229 | 0.0368 | 0.0698 | 0.1235 | 0.1891 | 0.1778 | 0.1412 | 0.0966 | 0.0573 | 0.0324 | 0.0168 | 0.9792 | 0.1435 | 0.8357 | 5.82 |
| <i>Diplusodon villosus</i> | 0.0996 | 0.144 | 0.1593 | 0.1582 | 0.1302 | 0.0815 | 0.0485 | 0.0254 | 0.0174 | 0.02 | 0.0351 | 0.06 | 0.9792 | 0.0385 | 0.9407 | 24.43 |
| <i>Ouratea hexasperma</i> | 0.02 | 0.0194 | 0.0304 | 0.0597 | 0.0905 | 0.1247 | 0.1505 | 0.157 | 0.1431 | 0.0919 | 0.0591 | 0.0329 | 0.9792 | 0.1154 | 0.8638 | 7.49 |
| <i>Anacardium humile</i> | 0.0252 | 0.0201 | 0.0207 | 0.0351 | 0.0687 | 0.1088 | 0.1427 | 0.1672 | 0.1671 | 0.1222 | 0.0638 | 0.0377 | 0.9793 | 0.1364 | 0.8429 | 6.18 |
| <i>Erythroxyllum suberosum</i> | 0.0311 | 0.0305 | 0.0291 | 0.0455 | 0.0675 | 0.0874 | 0.1134 | 0.1501 | 0.1597 | 0.1289 | 0.0887 | 0.0476 | 0.9795 | 0.0817 | 0.8978 | 10.99 |
| <i>Kielmeyera coriacea</i> | 0.0964 | 0.0589 | 0.0337 | 0.0179 | 0.0151 | 0.0222 | 0.0431 | 0.0691 | 0.1212 | 0.1759 | 0.1767 | 0.1493 | 0.9795 | 0.0833 | 0.8962 | 10.75 |

A partir da relação entre os valores de constância e contingência das espécies, definiram-se quatro grupos de previsibilidade (Figura 5.4). Não foi observada estrutura filogenética óbvia em nenhum dos grupos. A maioria das famílias com mais de uma espécie incluídas nesta análise – Melastomataceae (duas espécies), Asteraceae (três espécies) e Fabaceae (quatro espécies) – teve suas espécies distribuídas em mais de um grupo. Apenas Malpighiaceae (duas espécies) teve os dois representantes no mesmo grupo de previsibilidade. Também não houve aparente concentração de forma de vida nem de tamanho foliar na composição dos grupos. Contudo, algumas tendências foram observadas e serão discutidas a seguir.

Grupo 1 – O grupo de maior tamanho (11 espécies) é o de previsibilidade mais baixa. Todas as espécies de floração sazonal fiel estão neste grupo. Oito são oportunistas, mas a média de I_e é baixa. Dentre as oportunistas, nenhuma apresenta floração do tipo unimodal. Das cinco espécies que florescem após o fogo (Freitas 1998; CRIA 2014), três encontram-se nesse grupo. A floração pós-fogo está associada ao rebrotamento que ocorre após a destruição da parte aérea e à eliminação de inibidores da floração (Haddad & Valio 1993). Das duas espécies pertencentes à família Asteraceae, uma, *Lepidaploa aurea*, é pioneira e comporta-se com frequência como invasora em ambientes antropizados (Lima-Ribeiro & Prado 2007). No estudo fenológico realizado em campo, *L. aurea* mostrou ser anual, morrendo logo após dispersar seus frutos, o que contraria informações publicadas na literatura. A outra espécie, *Piptocarpha rotundifolia*, apresentou comportamento estatisticamente diferenciado nos dois locais onde foi monitorada. As duas Malpighiaceae apresentam comportamento divergente em todos os aspectos. Cinco espécies têm pico de previsibilidade em abril ou maio, e cinco em setembro ou outubro. Para as outras duas espécies o pico ocorre em dezembro e janeiro.

Grupo 2 – Este grupo apresenta previsibilidade média-baixa e é composto por sete espécies. Setembro é o mês mais comum de pico de previsibilidade (quatro espécies). Os outros meses são outubro, novembro e março – todos chuvosos. Uma das espécies que tem floração induzida por fogo está neste grupo.

Grupo 3 – De previsibilidade média-alta este é o menor grupo, com apenas quatro espécies, das quais duas são Fabaceae. Três espécies são zoófilas autocóricas e uma é zoófila anemocórica. O pico de probabilidade de floração da maioria das espécies ocorreu em maio ou junho (meses secos), e apenas uma – a única Poaceae do estudo – apresentou pico na estação chuvosa (fevereiro).

Grupo 4 – O grupo de maior previsibilidade é composto por dez espécies. Os meses de maior probabilidade da floração neste grupo foram junho e agosto (três espécies cada), seguidos por março (duas espécies) e setembro e novembro (uma espécie cada). É a partir de junho que os dias começam a encurtar no Distrito Federal, culminando com a noite mais longa do ano no 2º decêndio do mês

(Freitas 1998), além disso, entre maio e junho as temperaturas máximas passam pelo seu período de maior estabilidade (vide Capítulo 4), o que pode favorecer mecanismos de indução de floração por acúmulo de temperaturas elevadas, bem como respostas à maior incidência de irradiação solar.

A taxonomia diversificada deste estudo teve o intuito de melhorar a representatividade da flora angiospérmica e abrangeu 25 famílias botânicas. Asteraceae apresenta plantas de dia longo e plantas de dia curto e as Asteraceae estudadas por nós também ficaram em grupos de previsibilidade diferentes. Já Bignoniaceae, família predominantemente tropical, teve a espécie *Tabebuia pallida* Lindl estudada por meio de populações clonais em casa de vegetação e classificada como planta de dia longo facultativa, com outros estímulos também induzindo a floração (Longman *et al.* 1990). As três espécies de Bignoniaceae estudadas (*Jacaranda ulei* e *Fridericia platyphylla*) aqui tiveram picos de probabilidade em outubro e dezembro, meses com dias mais longos.

Para a família Lamiaceae, Rivera & Borchert (2001) argumentaram que *Hyptis suaveolens* (L.) Poiteau é uma espécie de dia curto, apresentando como evidência o fato de que no hemisfério norte a espécie tem pico em outubro (mês em que os dias começam a encurtar no hemisfério norte), enquanto no hemisfério sul, mais especificamente na Bolívia (entre 10° e 18° latitude S), o pico da espécie ocorre em fevereiro e março (quando os dias começam a encurtar no hemisfério sul). A única Lamiaceae do nosso estudo (*H. villosa*) apresentou floração anual unimodal com pico de probabilidade em março, sugerindo que esta congênera também pode ser uma planta de dia curto.

Poaceae apresenta espécies de dia curto, como *Sorghum bicolor* (L.) Moench (Lee *et al.* 1998). No nosso estudo *Echinolaena inflexa* mostrou floração anual unimodal com pico em fevereiro, condizendo com o período de encurtamento do dia no Distrito Federal (vide Figura 5.1).

Solanaceae tem espécies de diferentes estratégias – a batata inglesa *Solanum tuberosum* L. é influenciada pelo fotoperíodo, mas o tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.), planta simpodial de floração autônoma, é indiferente a este fator (Quinet *et al.* 2006). *Solanum subumbellatum*, congênera estudada, apresentou pico de probabilidade em outubro, quando os dias no Distrito Federal são mais longos.

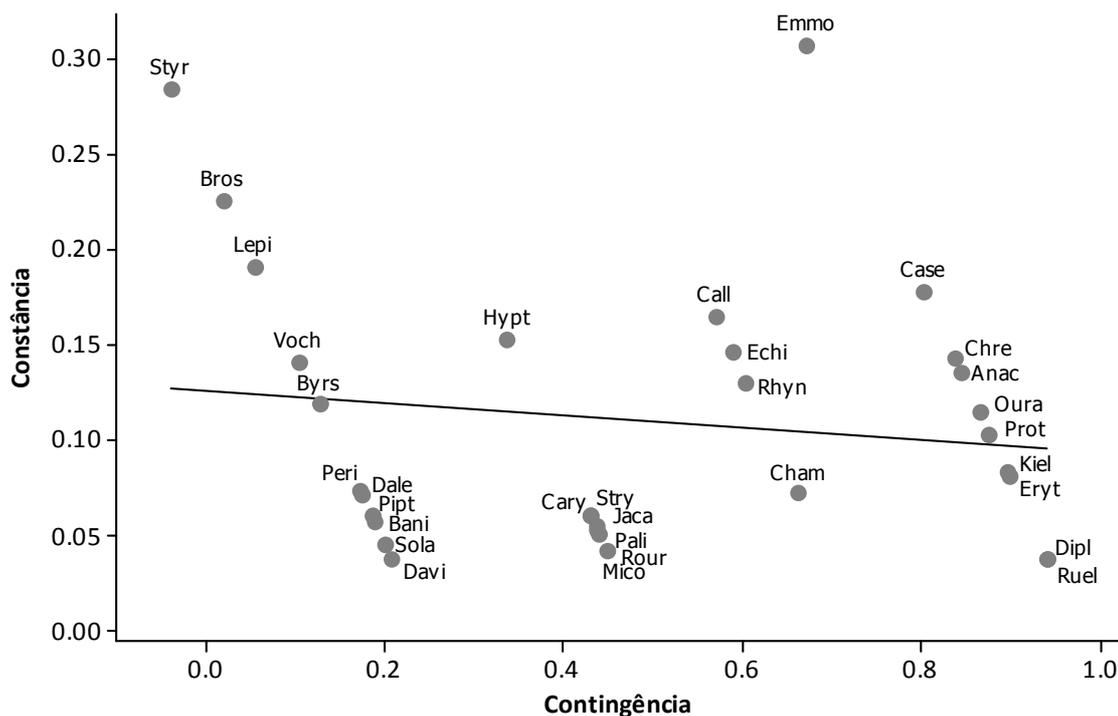


Figura 5.4. Gráfico de dispersão com regressão linear da relação existente entre as duas componentes da previsibilidade (constância e contingência) para 32 espécies do Cerrado. (Byrs = *Byrsonima verbascifolia*).

4. CONCLUSÃO

São poucas as espécies que independem de algum disparador ambiental para florescer. Acredita-se que a maioria das espécies do Cerrado responde a uma combinação complexa de estímulos para florescer, com um forte componente de oportunismo em relação à sazonalidade da precipitação, mas com estratégias paralelas ou concomitantes de resposta a fotoperíodo, ritmos endógenos e, no caso das subarbustivas e herbáceas, resposta à passagem do fogo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albuquerque, I.B.; Aquino, F.G.; Costa, L.C.; Miranda, Z.J.G. & Sousa, S.R. 2013. Espécies de Melastomataceae Juss. com potencial para restauração ecológica de mata ripária no Cerrado. **Polibotânica** 35: 1-19.
- Almeida, S.P.; Proença, C.E.B.; Sano, S.M. & Ribeiro, J.F. 1998. **Cerrado: espécies vegetais úteis**. EMBRAPA/CPAC, Planaltina-DF. 464 p.

- Alves, M.V.P. & Silva, J.C.S. 2013. Fenologia de *Emmotum nitens* (Benth.) Miers (Icacinaceae) na Reserva Ecológica Cerradão – Embrapa Cerrados, Planaltina – DF. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável** 8(1): 125-131.
- Amaral, A.G.; Munhoz, C.B.R.; Eugênio, C.U.O. & Felfili, J.M. 2013. Vascular flora in dry-shrub and wet grassland Cerrado seven years after a fire, Federal District, Brazil. **Check List** 9(3): 487–503.
- Antunes, N.B. & Ribeiro, J.F. 1999. Aspectos fenológicos de seis espécies vegetais em matas de galeria do Distrito Federal, Brasília. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 34(9): 1517-1527.
- Appezato-da-Glória, B.; Curry, G.; Soares, M.K.M.; Rocha, R. & Hayashi, A.H. 2008. Underground systems of Asteraceae species from the Brazilian Cerrado. **Journal of the Torrey Botanical Society** 135(1): 103-113.
- Barbosa, A.A.A. 1997. Biologia reprodutiva de uma comunidade de campo sujo, Uberlândia/MG. **Tese de Doutorado**. Departamento de Ecologia, Universidade Estadual de Campinas. Campinas-SP.
- Barros, M.A.G. 1992. Fenologia da floração, estratégias reprodutivas e polinização de espécies simpátricas do gênero *Byrsonima* RICH (Malpighiaceae). **Revista Brasileira de Biologia** 52: 343-353.
- _____. 1998. Sistemas reprodutivos e polinização em espécies simpátricas de *Erythroxylum* P.Br. (Erythroxylaceae) do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica** 21(2): 159-166.
- Batalha, M.A.P.L. 2001. Florística, espectro biológico e padrões fenológicos do cerrado *sensu stricto* no Parque Nacional das Emas (GO) e o componente herbáceo-subarbusivo da flora do cerrado *sensu lato*. **Tese de Doutorado**. Departamento de Ecologia, Universidade Estadual de Campinas. Campinas - SP.
- Batalha, M.A. & Mantovani, W. 2000. Reproductive phenological patterns of cerrado plant species at the Pé-de-Gigante Reserve (Santa Rita do Passa Quatro, SP, Brazil): a comparison between the herbaceous and woody floras. **Revista Brasileira de Biologia** 60(1): 129-145.
- Bezerra, E.L.S. & Machado, I.C. 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.
- Borchert, R. 1996. Phenology and flowering periodicity of neotropical dry forest species: evidence from herbarium collections. **Journal of Tropical Ecology** 12: 65-80.
- BRAHMS documentation. 2012. Phenological Predictability Index in Brahm's - a tool for herbarium-based phenological studies. <<http://herbaria.plants.ox.ac.uk/bol/content/documentation/BRAHMS-PPI.pdf>>.
- Cerdán, P.D. & Chory, J. 1993. Regulation of flowering time by light quality. **Nature** 423: 881-885.
- Colwell, R.K. 1974. Predictability, constancy and contingency of periodic phenomena. *Ecology* 55(5): 1148-1153.
- Costa, A.C.G. & Machado, I.C. 2008. Biologia floral e sistema de polinização de *Rhynchospora ciliata* (Vahl) Kükenth (Cyperaceae): anemofilia ou entomofilia? **XVI Congresso de Iniciação Científica da UFPE**.
- CRIA. 2014. Species link. <<http://splink.cria.org.br/>>.

- Dutra, V.F.; Vieira, M.F.; Garcia, F.C.P. & Lima, H.C. 2009. Fenologia reprodutiva, síndromes de polinização e dispersão em espécies de Leguminosae dos campos rupestres do Parque Estadual do Itacolomi, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguésia** **60**: 371-387.
- Ebine, K.; Uemura, T.; Nakano, A. & Ueda, T. 2012. Flowering time modulation by a vacuolar SNARE via FLOWERING LOCUS C in *Arabidopsis thaliana*. **Plos One** **7**(7): e42239.
- Franzon, R.C.; Campos, L.Z.O.; Proença, C.E.B. & Sousa-Silva, J.C. 2009. **Araçás do gênero Psidium: principais espécies, ocorrência, descrição e usos**. Documento 266, EMBRAPA Cerrados, Planaltina/DF.
- Freitas, R.I.P. 1998. Abelhas silvestres (Hymenoptera: Apoidea) e a floração de plantas em áreas de cerrado recém-queimadas no Distrito Federal. **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília. Brasília-DF.
- Friedel, M.H.; Nelson, D.J.; Sparrow, A.D.; Kinloch, J.E. & Maconochie, J.R. 1993. What induces central Australian arid zone trees and shrubs to flower and fruit?. **Australian Journal of Botany** **41**: 307-319.
- Fukuda, W.S. 2011. Propagação *in vitro* de *Jacaranda ulei* Bureau & K. Schum. (Bignoniaceae). **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Botânica, Universidade de Brasília. Brasília-DF.
- Haddad, C.R.B. & Valio, I.F.M 1993. Effect of fire on flowering of *Lantana montevidensis* Briq. **Journal of Plant Physiology Volume** **141**(6): 704-707.
- Haston, E.; Richardson, J.E.; Stevens, P.F.; Chase, M.W. & Harris, D.J. 2009. The Linear Angiosperm Phylogeny Group (LAPG) III: a linear sequence of the families in APG III. **Botanical Journal of the Linnean Society** **161**: 128-131.
- Hau, M. 2001. Timing of breeding in variable environments: tropical birds as model systems. **Hormones and Behavior** **40**: 281-290.
- Hoffmann, W.A. 1998. Post-burn reproduction of woody plant in a neotropical savanna: the relative importance of sexual and vegetative reproduction. **Journal of Applied Ecology** **35**: 422-433.
- Hoffmann, W.A. & Solbrig, O.T. 2003. The role of topkill in the differential response of savanna woody species to fire. **Forest Ecology and Management** **180**: 273-286.
- Janzen, D.H. 1967. Synchronization of sexual reproduction of trees within the dry season in Central America. **Evolution** **21**: 620-637.
- Kanegae, M.F.; Braz, V.S. & franco, A.C. 2000. Efeitos da seca sazonal e disponibilidade de luz na sobrevivência e crescimento de *Bowdichia virgilioides* em duas fitofisionomias típicas dos cerrados do Brasil Central. **Revista Brasileira de Botânica** **23**(4): 459-468.
- Kochmer, J.P. & Handel, S.N. 1986. Constraints and competition in the evolution of flowering phenology. **Ecological Monographs** **56**: 303-325.
- Kovach Computing Services. 2013. **Oriana, version 4.02**. <<http://www.kovcomp.co.uk/oriana/index.html>>.

- Lambert, A.M.; Miller-Rushing, A.J. & Inouye, D.W. 2010. Changes in snowmelt date and summer precipitation affect the flowering phenology of *Erythronium grandiflorum* (Glacier Lily; Liliaceae). **American Journal of Botany** **97**(9): 1431-1437.
- Lazakis, C.M.; Coneva, V. & Colasanti, J. 2011. ZCN8 encodes a potential orthologue of Arabidopsis FT florigen that integrates both endogenous and photoperiod flowering signals in maize. **Journal of Experimental Botany** **62**(14): 4833-4842.
- Lee, I.J.; Foster, K.R. & Morgan, P.W. 1998. Photoperiod control of gibberellin levels and flowering in sorghum. **Plant Physiology** **116**: 1003-1011.
- Lenza, E. & Klink, C.A. 2006. Comportamento fenológico de espécies lenhosas em um cerrado sentido restrito de Brasília, DF. **Revista Brasileira de Botânica** **29**(4): 627-638.
- Lenza, E. & Oliveira, P.E. 2006. Biologia reprodutiva e fenologia de *Virola sebifera* Aubl. (Myristicaceae) em mata mesofítica de Uberlândia, MG, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica** **29**(3): 443-451.
- Lenza E.; Ferreira, J.N; Consolaro, H. & Aquino, F.G. 2008. Biologia reprodutiva de *Rourea induta* Planch. (Connaraceae), uma espécie heterostílica de cerrado do Brasil Central. **Revista Brasileira de Botânica** **31**(3): 389-398.
- Lieberman, D. 1982. Seasonality and phenology in a dry tropical forest in Ghana. **Journal of Ecology** **70**(3): 791-806.
- Lima, M.R. 2012. Estratégias de propagação para espécies subarbustivas de Acanthaceae Juss. Com potencial ornamental. **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Botânica, Universidade de Brasília. Brasília-DF.
- Lima, T.M. 2014. Exigências térmicas e fotoperiódicas da cultura da soja na região de Planatina – Distrito Federal. **Relatório de Estágio Supervisionado**. Gestão do Agronegócio, Universidade de Brasília. Brasília-DF.
- Lima, A.L.A. & Rodal, M.J.N. 2010. Phenology and wood density of plants growing in the semi-arid region of northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments** **74**: 1363-1373.
- Lima-Ribeiro, M.S. & Prado, E.C. 2007. Distribuição espacial de uma população de *Vernonia aurea* Mart. ex DC. (Asteraceae) em um fragmento de cerrado no município de Caiapônia, GO, Brasil. **Bioscience Journal** **23**(3): 81-89.
- Longmann, A.; Manurung, R. & Leakey, R.B. 1990. Use of small clonal plants for experiments on factors affecting flowering in tropical trees. Pp: 389-399. In: K.S. Bawa & M. Hadley (eds.). **Reproductive ecology of tropical forest plants: man and the biosphere series**. UNESCO, Paris and Parthenon Publishing, Carnforth.
- Martins, F.Q. 2005. Sistemas de polinização em fragmentos de cerrado na região do Alto Taquari (GO, MS, MT). **Dissertação de mestrado**. Departamento de Ecologia, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos-SP.

- Miller-Rushing, A.J.; Primack, R.B.; Primack, D. & Mukunda, S. 2006. Photographs and herbarium specimens as tools to document phenological changes in response to global warming. **American Journal of Botany** **93**(11): 1667–1674.
- MINITAB. 2009. **Minitab for Windows Release 16**. State College: Minitab Inc.
- Moleiro, F.C. 2007. Avaliação da atividade antiulcerogênica dos extratos frações das folhas de *Mouriri elliptica* Mart. (Melastomataceae) e *Byrsonima basiloba* A. Juss. (Malpighiaceae). **Dissertação de Mestrado**. Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Botucatu-SP.
- Monasterio, M. & Sarmiento, G. 1976. Phenological strategies of plant species in the tropical savanna and semi-deciduous forest of the Venezuelan Llanos. **Journal of Biogeography** **3**: 325-356.
- Moura, T.M.; Oliveira, G.C.X. & Chaves, L.J. 2010. Correlação entre floração, frutificação e variáveis ambientais em *Solanum lycocarpum*. A. St. Hil, Solanaceae. **Bioscience Journal** **26**(3): 457-462.
- Munhoz, C.B.R. & Felfili, J.M. 2005. Fenologia do estrato herbáceo-subarbusivo de uma comunidade de campo sujo na Fazenda Água Limpa no Distrito Federal, Brasil. **Acta Botanica Brasilica** **19**(4): 979-988.
- Oliveira, E.L. 2005. Fenologia, demografia foliar e características foliares de espécies lenhosas em um cerrado sentido restrito no Distrito Federal e suas relações com as condições climáticas. **Tese de Doutorado**. Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília. Brasília-DF.
- Oliveira, P.E.A.M. 1991. The pollination and reproductive biology of a cerrado woody community in Brazil. **PhD Thesis**. Faculty of Science, University of St. Andrews. St. Andrews, Scotland.
- _____. 2008. Fenologia e biologia reprodutiva das espécies de Cerrado. Pp: 275-290. In: S.M. Sano; S.P. Almeida & J.F. Ribeiro (eds.). **Cerrado: Ecologia e Flora**. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF.
- Opler, P.A.; Frankie, G.W. & Baker, H.G. 1976. Rainfall as a factor in the release, timing and synchronization of anthesis by tropical trees and shrubs. **Journal of Biogeography** **3**(3): 231-236.
- Pereira, M.S.; Passamani, M. & Silva, E.A.A. 2009. Germinação de sementes de *Miconia* (Melastomataceae) ingeridas pelo marsupial *Gracilinanus microtarsus* (Didelphidae). **Boletim do Museu de Biologia Mello Leitão** **25**: 43-51.
- Prieto, P.; Peñuelas, J.; Ogaya, R. & Estiarte, M. 2008. Precipitation-dependent flowering of *Globularia alypum* and *Erica multiflora* in Mediterranean shrubland under experimental drought and warming, and its inter-annual variability. **Annals of Botany** **102**: 275-285.
- Proença, C.E.B.; Filer, D.; Lenza, E.; Silva, J.S. & Harris, S.A. 2012. Phenological Predictability Index in BRAHMS: a tool for herbarium-based phenological studies. **Ecography** **35**: 289–293.
- Quinet, M; Dielen, V.; Batoko, H.; Boutry, M.; Havelange, A. & Kinet, J.M. 2006. Genetic interactions in the control of flowering time and reproductive structure development in tomato (*Solanum lycopersicum*). **New Phytologist** **170**: 701-710.

- Ramos, D.M. 2010. Comportamento fenológico de gramíneas em um campo sujo de Cerrado: da indução de floração à emergência de plântulas. **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Botânica, Universidade de Brasília. Brasília-DF.
- Rathcke, B. & Lacey, E.P. 1985. Phenological patterns of terrestrial plants. **Annual Review of Ecology and Systematics** **16**:179-214.
- Raunkiaer, C.C. 1934. **The life forms of plants and statistical plant geography**. Oxford University Press.
- Reich, P.B. & Borchert, R. 1984. Water stress and tree phenology in a tropical dry forest in the lowlands of Costa Rica. **Journal of Ecology** **72**(1): 61-74.
- Ribeiro, M.F. 2003. Biologia reprodutiva e polinização de Jacaranda ulei Bureau & K. Schum. (Bignoniaceae). **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Botânica, Universidade de Brasília. Brasília-DF.
- Rivera, G. & Borchert, R. 2001. Induction of flowering in tropical trees by a 30-min reduction in photoperiod: evidence from field observations and herbarium specimens. **Tree Physiology** **21**: 201-212.
- Rodrigues, A.S. 2007. As tribos Dalechampiae Müll. Arg. e Manihoteae Melchior (Euphorbiaceae) no Distrito Federal, Brasil. **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Botânica, Universidade de Brasília. Brasília-DF.
- Sarmiento, G. & Monasterio, M. 1983. Life forms and phenology. Pp: 79-108. In: F. Bourliere (ed). **Ecosystems of the World XIII**. Tropical Savannas, Elsevier, Amsterdam.
- Silva, A.P. 1995. Biologia reprodutiva e polinização de *Palicourea rigida* H.B.K. (Rubiaceae). **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Botânica, Universidade de Brasília. Brasília-DF.
- Silva, A.M. 2013. Sobreposição em assembléias de aves frugívoras e dispersão de sementes no cerrado *sensu stricto*. **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Ecologia e Conservação de Recursos Naturais, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia-MG.
- Silva, C.I.; Araújo, G. & Oliveira, P.E.A.M. 2012. Distribuição vertical dos sistemas de polinização bióticos em áreas de cerrado sentido restrito no Triângulo Mineiro, MG, Brasil. **Acta Botanica Brasilica** **26**(4): 748-760.
- Silveira, L.T. 1991. Revisão taxonômica do gênero *Periandra* Mart. ex Benth. (Leguminosae, Papilionoideae, Phaseoleae). **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Biologia Vegetal, Universidade Estadual de Campinas. Campinas-SP.
- Simon M.F. & Proença, C.E.B. 2000. Phytogeographic patterns of *Mimosa* (Mimosoideae, Leguminosae) in the Cerrado biome of Brazil: an indicator genus of high altitude center of endemism? **Biological Conservation** **96**:279-296.
- Sounis, E. 1971. **Bioestatística**. Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR. 228p.
- Srikanth, A. & Schmid, M. 2011. Regulation of flowering time: all roads lead to Rome. **Cellular and Molecular Life Sciences** **68**: 2013-2037.

- Stevens, P.F. (2001 *onwards*). Angiosperm Phylogeny Website, version 12. <<http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>>.
- Stevenson, T.J. & Ball, G.F. 2011. Information theory and the neuropeptidergic regulation of seasonal reproduction in mammals and birds. **Proceedings of the Royal Society B** **278**: 2477-2485.
- Torres, F.T.P. & Machado, P.J.O. 2011. **Introdução à climatologia**. Cengage Learning, São Paulo-SP.
- Vasconcelos, T.N.C.; Silva, J.S. & Proença, C.E.B. 2012. Testando a função PPI: análise de previsibilidade fenológica utilizando dados de herbário. **Heringeriana** **6**(1): 66-69.
- Webb, L.J. 1959. A physiognomic classification of Australian rain forests. **Journal of Ecology** **47**:551-570.
- Wingfield, J.C.; Hahn, T.P.; Levin, R. & Honey, P. 1992. Environmental predictability and control of gonadal cycles in birds. **Journal of Experimental Zoology** **261**: 214-231.
- Wingfield, J.C.; Jacobs, J.D.; Tramontin, A.D.; Perfito, N.; Meddle, S.; Maney, D.L. & Soma, K. 2000. Toward an ecological basis of hormone-behavior interactions in reproduction of birds. Pp: 85-129. In: K. Wallen & J.E. Schneider (eds.). **Reproduction in context**. The MIT Press, Cambridge.
- Wright, S.J. 1996. Phenological responses to seasonality in tropical forest plants. Pp: 440-460. In: S.S. Mulkey; R.L. Chazdon & A.P. Smith (eds.). **Tropical Forest Plant Ecophysiology**. Chapman & Hall.
- Wright, S.J. & van Schaik, C.P. 1994. Light and the phenology of tropical trees. **The American Naturalist** **143**(1): 192-199.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com registros frequentes, em ambientes tropicais espécies arbóreas têm preferência em florescer na estação seca e herbáceas no período chuvoso, contudo, comportamentos diferenciados podem ocorrer no Cerrado e são mais facilmente identificados quando o estudo abrange fitofisionomias heterogêneas.

As constantes mudanças ambientais, no que diz respeito principalmente ao clima, influenciam a atividade dos agentes polinizadores e dispersores, interferindo na fenologia das espécies e induzindo certa plasticidade fenotípica em espécies mais sensíveis. Estas tendem a ter a fenologia prevista com menor exatidão. Para espécies que apresentam dissincronia populacional a superestimação da constância ou da contingência no cálculo da previsibilidade pode ocorrer, refletindo a flexibilidade do evento causada pelo comportamento distinto de cada indivíduo.

O grau de previsibilidade dos fenômenos biológicos cíclicos é de grande interesse ecológico e, a partir dele, é possível calcular o grau de oportunismo na reprodução da flora ou da fauna. No que diz respeito à vegetação, são poucas as espécies que independem de algum disparador ambiental para florescer. A maioria das espécies do Cerrado parece responder a uma combinação complexa de estímulos para florescer, com um forte componente de oportunismo em relação à sazonalidade da precipitação, mas também ao fotoperíodo, a ritmos endógenos e, no caso das subarbusivas e herbáceas, à passagem do fogo.

A variabilidade climática interanual tem sido estudada em diferentes partes do mundo e, muitas vezes, relacionada com a fenologia de espécies vegetais, porém na América do Sul e, principalmente, no Brasil esses estudos são escassos e as metodologias e escalas – espacial e temporal – utilizadas são variadas, dificultando a integração geográfica ou comparações. A inovadora tentativa em identificar comportamentos e definir padrões climáticos utilizando morfometria geométrica conseguiu mostrar a variabilidade existente em períodos bastante curtos do ano (decêndios), o que é relevante em estudos de vegetação. Acreditamos que ao analisarmos períodos mais restritos (uma ou duas estações apenas) o resultado será mais promissor e conjuntos de anos semelhantes formarão grupos estatisticamente mais significativos.

Quanto ao planejamento de expedições de coleta florística, o PPI pode ser utilizado com sucesso na seleção do melhor período para ir a campo que deverá ser quando a nuvem de PPI's se apresentar mais densa e a média dos valores mais elevada. Contudo, é importante lembrar que o pesquisador deverá avaliar não apenas os valores mensais, mas a dispersão dos PPI's em conjuntos de três ou cinco meses.