



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ – UFC
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E RECURSOS
NATURAIS**

LARISSA IBIAPINA DOS SANTOS

**DIVERSIDADE FILOGENÉTICA E FATORES ESTRUTURADORES DE
COMUNIDADES DE PLANTAS AQUÁTICAS EM LAGOAS TEMPORÁRIAS**

**FORTALEZA
2016**

LARISSA IBIAPINA DOS SANTOS

DIVERSIDADE FILOGENÉTICA E FATORES ESTRUTURADORES DE
COMUNIDADES DE PLANTAS AQUÁTICAS EM LAGOAS TEMPORÁRIAS

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais – PPGERN da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ecologia e Recursos Naturais.

Área de concentração: Ecologia de plantas aquáticas

Orientadora: Prof^a. Dra. Lígia Queiroz Matias

FORTALEZA
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S236d Santos, Larissa Ibiapina dos.

Diversidade filogenética e fatores estruturadores de comunidades de plantas aquáticas em lagoas temporárias / Larissa Ibiapina dos Santos. – 2016.
138 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Fortaleza, 2016.

Orientação: Profa. Dra. Lígia Queiroz Matias.

1. Plantas aquáticas. 2. Ambientes temporários. 3. Estrutura filogenética. 4. Caracteres funcionais. 5. Filtros ambientais. I. Título.

CDD 577

LARISSA IBIAPIANA DOS SANTOS

DIVERSIDADE FILOGENÉTICA E FATORES ESTRUTURADORES DE
COMUNIDADES DE PLANTAS AQUÁTICAS EM LAGOAS TEMPORÁRIAS

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais- PPGERN da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ecologia e Recursos Naturais. Área de concentração: Ecologia de plantas aquáticas.

Aprovado em 31 / 03 / 2016.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a. Dr.^a. Lígia Queiroz Matias (Orientadora)

Universidade Federal do Ceará- UFC

Prof.^a. Dr.^a. Roberta Boscaine Zandavalli

~~Universidade Federal do Ceará- UFC~~

Prof. Dr.^o. Marcos Bergmann Carlucci

Universidade Federal de Goiás- UFG

Agradecimentos

À CAPES (Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior) pela concessão de bolsa durante os dois anos de Mestrado.

Agradeço a Prof^ª. Dr^ª. Lígia Queiroz pela importante orientação, sempre disposta a ajudar no trabalho de campo e no laboratório. E pela incansável compreensão e paciência especial em momentos tão delicados. Muito obrigada por tudo nesses longos quatro anos.

Ao Prof. Dr^º. Fernando Roberto Martins, do departamento de Biologia Vegetal da Universidade de Campinas (UNICAMP), pelas valiosas contribuições para elaboração do projeto.

Ao Prof. Dr^º. Ricardo Espíndola Romero, do departamento de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará (UFC), também pelas valiosas contribuições para elaboração do projeto e disponibilização de equipamentos para o trabalho de campo.

Aos Prof. Dr^º Marcos Bergmann Carlucci e a Prof^ª. Dr^ª. Roberta Boscaine Zandavalli, por comporem a banca avaliadora e pelas valiosas contribuições para elaboração da versão final e dos artigos.

A todos do laboratório de análises de solo da Funceme (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos) em parceria com a Universidade Federal do Ceará- UFC, pela disponibilização da estufa para secagem e destorroamento das amostras de solo coletadas.

Ao Bruno Sousa de Menezes pela ajuda no desenvolvimento da metodologia do trabalho e constante acompanhamento.

À Antonia Gislaíne Brito Marques Albuquerque por toda orientação, atenção e troca de ideias sobre a área de solos para o desenvolvimento do trabalho.

Ao Ricardo Madeira Tannús pela disponibilização dos mapas das áreas trabalhadas e por todo desempenho e companheirismo indispensável no campo.

Aos meus colegas de laboratório: Dayse Leone, André Cardoso e Ricardo Tannús por toda a ajuda no campo. Sem vocês meu trabalho seria impossível. E também a Joemília Araújo, que mesmo não indo ao campo sempre esteve disponível para ajudar assim como os demais.

Aos meus amigos Levi Fonseca e Aline Campos pela ajuda no processamento do material após o campo. Especialmente ao Levi por toda atenção, carinho e ajuda sob o calor incômodo da estufa e todas as cansativas horas na identificação taxonômica.

Aos meus pais por todo apoio sempre carinhosamente oferecido.

Resumo

Plantas aquáticas de lagoas temporárias representam um bom modelo para o estudo da estrutura de comunidade e seus processos de formação, uma vez que possuem adaptações à sazonalidade selecionadas pelas condições ambientais extremas que estes locais áridos e semiáridos impõem. Algumas dessas adaptações estão associadas aos caracteres ecológicos apresentados pela flora aquática, como as formas de crescimento e suas relações com as variáveis abióticas que permitem entender a ocorrência de diversas populações no ambiente aquático. Nossos objetivos foram avaliar a estrutura filogenética da flora aquática em ambientes temporários e observar a relação das formas de crescimento da flora aquática com as variáveis ambientais de solo e água. Realizamos o primeiro objetivo através do cálculo dos índices de diversidade filogenética (NRI e NTI) em 26 lagoas temporárias do semiárido do Brasil. Também testamos a presença de sinal filogenético para os caracteres ecológicos e verificamos a relação de fatores abióticos (climáticos, limnológicos e edafológicos) com as estruturas encontradas. Confirmando a presença de sinal filogenético e encontrando uma baixa relação com as variáveis ambientais (menos de 25% de explicação), indicando que processos estocásticos, interações competitivas e eficiência na dispersão são as principais forças estruturadoras gerando em sua maioria ausência de estrutura filogenética e em sua minoria estruturas sobredispersas. Para o segundo objetivo verificamos como as variáveis de água e solo influenciam na distribuição das formas de crescimento (trabalhamos com as mesmas 26 lagoas). Tendo encontrado resultados que contradizem ideias anteriores de que formas livres flutuantes responderiam melhor a água e formas emersas enraizadas responderiam melhor ao solo, uma vez que tanto as hidrófitas enraizadas emergentes quanto as hidrófitas flutuantes livres demonstram sofrer influência da composição química do solo e da água. Nessas relações as principais variáveis ambientais a influenciar a distribuição das formas de crescimento foram o nitrato e a amônia presentes na água, e o potencial redox e a capacidade de troca de cátions do solo.

Palavras Chave: ambientes temporários, estrutura filogenética, filtros ambientais, helófitas, hidrófitas, macrófitas aquáticas

Abstract

Aquatic plants of temporary ponds represent a good model for the study of community structure and their formation process as they have selected adaptations to seasonality drafted by extreme ambient conditions these arid and semiarid environments impose. Some of these adaptations are associated with ecological traits presented by this aquatic flora, traits as growth forms and their relationship with abiotic factors that allow us to understand the occurrence of diverse populations in the aquatic environment. Our objectives were to assess the phylogenetic structure of aquatic flora in temporary environments and observe the relationship of growth forms of aquatic flora with environmental variables of soil and water. We conducted the first objective by calculating the phylogenetic diversity index (two phylogenetic metrics- NRI and NTI) in 26 temporary ponds of the semiarid region of Brazil. We also tested the presence of phylogenetic signal to the ecological characters and verified the relationship of climate, limnological and edaphic factors with the structures found. Confirming the presence of phylogenetic signal and finding a low relationship with environmental variables (less than 25% of explanation), indicating that stochastic processes, competitive interactions and efficiency in the dispersion are the main structuring forces that generate mostly lack of phylogenetic structure and its minority overdispersed structures. For the second goal we saw how the water and soil variables influence the distribution of growth forms (have worked with the same 26 pools). Having found results that contradict previous ideas that free floating forms better respond to water and rooted emerged forms respond best to the soil, since both emerging rooted hydrophytes as the free floating hydrophytes demonstrated suffer influence of the chemical composition of the soil and the water. In these relationships the major environmental variables influencing the distribution of the growth forms were nitrate and ammonia present in the water, and redox potential and the cation exchange capacity from soil.

Key-words: aquatic macrophytes, environmental filters, helophytes, hydrophytes, phylogenetic structure, temporary wetlands

Lista de figuras

Fig. 1.1. Localização das lagoas estudadas em três municípios: Cedro, Icó e Iguatu, NE, Brasil. O quadro superior mostra as lagoas segundo suas estruturas em aleatórias e sobredispersas para o índice de parentesco líquido (NRI). Enquanto o quadro inferior mostra em relação ao índice do táxon mais próximo (NTI).....32

Fig. 1.2. Árvore filogenética de plantas aquáticas encontradas nas lagoas situadas nos municípios de Cedro, Icó e Iguatu, NE, Brasil. As relações de parentesco entre as famílias foram baseadas na mega árvore de angiospermas R20120829. As cores em destaque amarelo, azul, verde e vermelho indicam as principais ordens: Alismatales, Poales, Malvales e Fabales, respectivamente. As demais cores nos ramos indicam outras ordens.....42

Fig. 1.S1. Análise de componentes principais (PCA) biplot com círculo de contribuição de equilíbrio para teste de colinearidade e seleção das variáveis ambientais a serem usadas nas análises de regressão múltipla par o índice filogenético de parentesco líquido (NRI). Vetores sobrepostos, como os que estão marcados pelos círculos, foram excluídos das análises. As variáveis abióticas usadas foram: bioclimáticas- altitude (ALT), precipitação anual (PA), precipitação do trimestre chuvoso (PW), precipitação do trimestre mais seco (PDQ), precipitação do trimestre mais quente (PWQ), precipitação do trimestre mais frio (PCQ), precipitação do mês mais chuvoso (PWM), precipitação do mês mais quente (PDM), precipitação sazonal (PS), temperatura média anual (T), temperatura média do trimestre chuvoso (TW), temperatura média do trimestre mais seco (TDQ), temperatura máxima do mês mais quente (Tmax.WM), temperatura mínima do mês mais frio (Tmin. CM), variação anual de temperatura (TR), temperatura sazonal (TS), variação média diurna da temperatura (MDR), isothermality (ISO); da lagoa- profundidade da lagoa (Profundidade), área da lagoa (Area); limnológicas- pH (pHa), turbidez (Turbidez), condutividade elétrica (Condutividade elétrica), clorofila *a* (Clorofila.a), temperatura (Ta), turbidez, Nitrato, Amônia, Amonium; e edafológicas- pH do solo úmido (pHsu), potencial redox (Eh), Areia, Argila,

Silte, cálcio (Ca), potássio (K), magnésio (Mg), sódio (Na), alumínio (Al), hidrogênio (H), fósforo (P); capacidade de troca de cátions (CTC) carbonato de cálcio equivalente (CaCO_3), saturação por bases do solo (Valor V%), soma de bases trocáveis (Valor S), porcentagem de sódio trocável (PST), carbono orgânico (CO) e condutividade elétrica (CE).(Turbidez),89

Fig. 1.S2. Variáveis ambientais finais apresentadas pela análise de componentes principais (PCA) biplot com círculo de contribuição de equilíbrio para o índice filogenético de parentesco líquido (NRI). Apenas as variáveis que se encontram para fora do círculo de contribuição de equilíbrio foram usadas nas regressões: variação média diurna da temperatura (MDR), isothermality (ISO), precipitação do trimestre chuvoso (PW), temperatura média anual (T), condutividade elétrica do solo (CE), carbonato de cálcio equivalente (CaCO_3), sódio (Na^+), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases do solo (Valor V%), soma de bases trocáveis (Valor S), porcentagem de sódio trocável (PST), Silte e Areia.91

Fig. 1. S3. Análise de componentes principais (PCA) biplot com círculo de contribuição de equilíbrio para teste de colinearidade e seleção das variáveis ambientais a serem usadas nas análises de regressão múltipla par o índice filogenético do táxon mais próximo (NTI). Vetores sobrepostos, como os que estão marcados pelos círculos, foram excluídos das análises. As variáveis abióticas usadas foram: bioclimáticas- altitude (ALT), precipitação anual (PA), precipitação do trimestre chuvoso (PW), precipitação do trimestre mais seco (PDQ), precipitação do trimestre mais quente (PWQ), precipitação do trimestre mais frio (PCQ), precipitação do mês mais chuvoso (PWM), precipitação do mês mais quente (PDM), precipitação sazonal (PS), temperatura média anual (T), temperatura média do trimestre chuvoso (TW), temperatura média do trimestre mais seco (TDQ), temperatura máxima do mês mais quente (Tmax.WM), temperatura mínima do mês mais frio (Tmin. CM), variação anual de temperatura (TR), temperatura sazonal (TS), variação média diurna da temperatura (MDR), isothermality (ISO); da lagoa- profundidade da lagoa

(Profundidade), área da lagoa (Area); limnológicas- pH (pHa), turbidez (Turbidez), condutividade elétrica (Condutividade elétrica), clorofila a (Clorofila.a), temperatura (Ta), turbidez, Nitrato, Amônia, Amonium; e edafológicas- pH do solo úmido (pHsu), potencial redox (Eh), Areia, Argila, Silte, cálcio (Ca), potássio (K), magnésio (Mg), sódio (Na), alumínio (Al), hidrogênio (H), fósforo (P); capacidade de troca de cátions (CTC) carbonato de cálcio equivalente (CaCO₃), saturação por bases do solo (Valor V%), soma de bases trocáveis (Valor S), porcentagem de sódio trocável (PST), carbono orgânico (CO) e condutividade elétrica (CE).....92

Fig. 1. S4. Variáveis ambientais finais apresentadas pela análise de componentes principais (PCA) biplot com círculo de contribuição de equilíbrio para o índice filogenético do táxon mais próximo (NTI). Apenas as variáveis que se encontram para fora do círculo de contribuição de equilíbrio foram usadas nas regressões: variação média diurna da temperatura (MDR), isothermality (ISO), precipitação do trimestre chuvoso (PW), temperatura média anual (T), condutividade elétrica do solo (CE), carbonato de cálcio equivalente (CaCO₃), sódio (Na⁺), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases do solo (Valor V%), soma de bases trocáveis (Valor S), porcentagem de sódio trocável (PST), Silte e Areia.....94

Fig. 2.1. Área de estudo no estado do Ceará (NE Brasileiro) e distribuição das lagoas amostradas em três municípios (Cedro, Icó e Iguatu) indicada pelos pontos.....103

Fig. 2.2. Análise de correspondência canônica (CCA) entre as variáveis selecionadas (nitrato (NO₃), amônia livre (NH₃), capacidade de troca de cátions (CTC) e o potencial redox (Eh) e as formas de crescimento (H= helófitos, HEE= hidrófito emerso enraizado, HELF= hidrófito emerso livre flutuante, HEEF= hidrófito emerso enraizado com folhas e/ou caules flutuantes, HSE= hidrófito submerso enraizado e HSFL= hidrófito submerso flutuante livre). CCA 1 explica 7,3 % e CCA explica 2,6 % do total da variação dos dados biológicos (percentagens de formas de crescimento).....113

Lista de tabelas

Tabela 1.1. Caracteres escolhidos e suas subdivisões em categorias. Formas de vida segundo Raunkiaer (1934). Formas de crescimento segundo Cook (1996). Crescimento clonal, formas de dispersão e agentes de polinização segundo Bell (1991) e Grace (1993).....33

Tabela 1.2. Os testes de sinal filogenético em caracteres funcionais de espécies de plantas aquáticas no semi-árido, NE Brasil. Para as características categóricas as mudanças observadas do estado evolutivo e a média de mudanças aleatórias do estado evolutivo são dadas. FV= formas de vida (caméfito, hemicriptófito, criptófito e terófito); FC= formas de crescimento (hidrófito submerso enraizado, hidrófito submerso flutuante livre, hidrófito emerso enraizado, hidrófito emerso livre flutuante, hidrófito emerso enraizado com folhas e/ou caule flutuantes); CC= crescimento clonal (rizoma, estolho, tubérculo, túrion, fragmentação caulinar). Valores significativos para p-valor<0,05.....43

Tabela 1.3. Valores calculados de NRI (índice de parentesco líquido). Número de táxons (ntaxa), distâncias filogenéticas médias observada (mpd.obs) e randomizada (mpd.rand) e p-valor. Em negrito estão as lagoas com p-valor significativo.....44

Tabela 1.4. Valores calculados de NTI (índice do táxon mais próximo). Número de táxons (ntaxa), distâncias filogenéticas médias observada (mntd.obs) e randomizada (mntd.rand) e p-valor. Em negrito estão as lagoas com p-valor significativo.....45

Tabela 1.5. Variáveis abióticas relacionadas aos índices filogenéticos (NTI e NRI) segundo as análises de regressão múltipla. O asterisco indica valores de coeficientes validos para $\alpha= 0.05$ e o sinal do coeficiente indica se a relação é positiva ou negativa com o índice.....47

Tabela 1.S1. Lista de referências consultadas para identificação dos caracteres ecológicos (forma de vida, forma de crescimento, crescimento clonal e dispersão de sementes).....77

Tabela 1.S2. Áreas e coordenadas geográficas das 26 lagoas temporárias a serem trabalhadas nos municípios de Cedro, Icó e Iguatu, no Estado do Ceará, Brasil.....79

Tabela 1.S3. Banco regional das espécies consultadas no Herbário Prisco Bezerra (EAC), da Universidade Federal do Ceará-UFC, e coletadas em campo nas 26 lagoas temporárias dos municípios de Iguatu e Cedro, no Estado do Ceará, Brasil. Os números indicam a lagoa em que a espécie foi coletada.81

Tabela 1.S4. Caracteres ecológicos atribuídos as espécies encontradas. Formas de vida (F.V.): Ch= caméfito, He= hemicriptófito, Cr= criptófito e Th= terófito. Formas de crescimento (F.C.): HSE= hidrófito submerso enraizado, HSFL= hidrófito submerso flutuante livre, HEE= hidrófito emerso enraizado, HELF= hidrófito emerso livre flutuante, HEEF= hidrófito emerso enraizado com folhas e/ou caule flutuantes, H= helófito. Crescimento clonal (C.C.): Riz= rizoma, Est= estolho, Tub= tubérculo, Tur= túrion, Frag. Caulinar= Fragmentação caulinar. Formas de dispersão da semente (F.D.): Anem= anemocoria, Hidro= hidrocoria, Zoo= zoocoria, Auto= autocoria. Agentes de polinização (A.P.): Ani= animais, Hidro= hidrofília, Anem= anemofília, Auto= autopolinização.85

Tabela 2.1. Percentagem das formas de crescimento das plantas aquáticas encontradas nas 26 lagoas. H= helófitos, HEE= hidrófito emerso enraizado, HELF= hidrófito emerso livre flutuante, HEEF= hidrófito emerso enraizado com folhas e/ou caules flutuantes, HSE= hidrófito submerso enraizado e HSFL= hidrófito submerso flutuante livre.....108

Tabela 2.2. Métricas ambientais limnológicas. Média, desvio padrão (St. dev.), mediana e variação (mínima e máxima) dos valores amostrados para as 24 lagoas. ID é a abreviatura utilizada nas análises estatísticas.....110

Tabela 2.3. Métricas pedológicas. Média, desvio padrão (St. dev.), mediana e variação (mínima e máxima) dos valores amostrados para as 26 lagoas. ID é a abreviatura utilizada nas análises estatísticas. Valor S = soma de cátions usada

na CTC, Valor V = saturação por bases do solo e PST = percentagem de sódio trocável da CTC.....111

Tabela 2. Recurso Online 1. Lista das espécies encontradas nas 26 lagoas temporárias no Estado do Ceará, Nordeste Brasileiro. Os números indicam a lagoa em que a espécie foi coletada. Formas de crescimento (F.C.): HSE= hidrófito submerso enraizado, HSFL= hidrófito submerso flutuante livre, HEE= hidrófito emerso enraizado, HELF= hidrófito emerso livre flutuante, HEEF= hidrófito emerso enraizado com folhas e/ou caules flutuantes, H= helófitos...129

Sumário

1 Introdução Geral.....	14
2 Referências.....	20
3 Capítulo I: Diversidade filogenética e fatores estruturadores de comunidades de plantas aquáticas em lagoas temporárias.....	24
Introdução.....	28
Materiais e Métodos	31
Resultados.....	40
Discussão.....	47
Agradecimentos.....	51
Acessibilidade de dados.....	52
Referências.....	52
Informações suplementares.....	75
4 Capítulo II: A ocorrência de formas de crescimento de plantas aquáticas em lagoas temporárias do semiárido brasileiro e relações de disponibilidade de nutrientes.....	95
Introdução.....	98
Materiais e Métodos	101
Resultados.....	107
Discussão.....	114
Agradecimentos.....	122
Referências.....	122
Material Suplementar.....	129
5 Considerações finais.....	137
6 Perspectivas futuras.....	137