



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

Larissa Bezerra Soares Milhomens

**PLASTICIDADE FENOTÍPICA DE MACRÓFITAS
AQUÁTICAS EM UM TRECHO DO RIO SÃO FRANCISCO**

Petrolina

2017

LARISSA BEZERRA SOARES MILHOMENS

**PLASTICIDADE FENOTÍPICA DE MACRÓFITAS
AQUÁTICAS EM UM TRECHO DO RIO SÃO FRANCISCO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Ciências Agrárias, como requisito parcial para a obtenção do grau de bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Renato Garcia Rodrigues
Co-orientador: Edson Gomes de Moura Júnior

Petrolina
2017

M637p Milhomens, Larissa Bezerra Soares
Plasticidade fenotípica de macrófitas aquáticas em um trecho do submédio do rio são francisco / Larissa Bezerra Soares Milhomens. -
- Petrolina, 2017.
42 f.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Ciências Agrárias, Petrolina, 2017.
Orientador: Prof. Renato Garcia Rodrigues.

Referências.

1. Morfologia. 2. Plantas aquáticas. 3. Plasticidade fenotípica. I. Título. II. Universidade Federal do Vale do São Francisco

CDD 581.92

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

FOLHA DE APROVAÇÃO

LARISSA BEZERRA SOARES MILHOMENS

**PLASTICIDADE FENOTÍPICA DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS NO RIO SÃO
FRANCISCO**

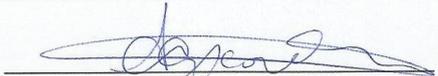
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Ciências Agrárias, como requisito parcial para a obtenção do grau de bacharel em Ciências Biológicas.

Aprovado em: 16 de outubro de 2017.

BANCA EXAMINADORA



Drº Renato Garcia Rodrigues – Orientador
Universidade Federal do Vale do São Francisco



Drº Airton de Deus Cysneiros Cavalcanti – Primeiro examinador
Universidade Federal do Vale do São Francisco



Drº Jhonathan de Oliveira Silva – Segundo examinador
Universidade Federal do Vale do São Francisco

Drº Daniel Salgado Pifano – Suplente
Universidade Federal do Vale do São Francisco

Dedicatória

Aos meus pais Albaniza Bezerra Soares Milhomens e Manuel Pereira Milhomens pelo amor incondicional, apoio, incentivo e por sempre acreditarem no meu potencial.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado forças para perseverar e não desistir diante de todos os obstáculos que apareceram no caminho. Por ter iluminado os meus passos para que eu pudesse concluir uma importante etapa na minha vida.

Aos meus pais, as pessoas mais importantes nessa história passageira chamada vida, devo agradecer por estarem sempre ao meu lado, mostrando que os obstáculos que a vida coloca no nosso caminho são para serem enfrentados. Vocês sempre foram meu porto seguro e minha fonte de inspiração. A vocês eu devo o pouco que sou e o que ainda serei.

Ao meu orientador Renato Garcia Rodrigues pelos conselhos relacionados não apenas ao meio científico, mas sobre a vida. Agradeço por em várias ocasiões ter aberto meus olhos e me mostrado uma outra forma de olhar determinadas situações, pela orientação e por ter contribuído diretamente com o meu crescimento profissional.

Ao meu co-orientador Edson Gomes de Moura Júnior por ter me inserido oficialmente no meio científico, pela paciência, dedicação, conselhos e orientação.

Ao Núcleo de Ecologia e Monitoramento Ambiental (NEMA) pelo apoio logístico e ao Projeto de Integração do São Francisco (PISF) pelo apoio financeiro.

Aos meus professores que contribuíram durante toda a minha vida acadêmica e me fizeram perceber o tipo de profissional que eu almejo ser.

Aos meus amigos, pelos conselhos, bons momentos e por terem tornado essa trajetória mais divertida e doce.

A todos aqueles que contribuíram para que esse momento acontecesse.

A todos vocês, muito obrigado!

RESUMO

As macrófitas aquáticas apresentam elevada plasticidade fenotípica, o que confere a elas a capacidade de colonizar uma grande diversidade de ecossistemas aquáticos. O objetivo do presente trabalho foi avaliar como os traços morfológicos de uma comunidade de macrófitas aquáticas se comporta em resposta à variação temporal das condições limnológicas em um trecho do rio São Francisco. Foram realizadas quatro visitas na área de amostragem de fevereiro de 2016 a junho de 2017. A amostragem das macrófitas aquáticas foi realizada na forma de transecção, posicionada paralelamente à margem do rio, medindo 50 metros de comprimento. Ao longo do transecto foram lançadas parcelas de 0,5 x 0,5 m de acordo com o surgimento de novas espécies. Em cada unidade amostral foram mensurados os atributos funcionais: altura da parte aérea; comprimento da raiz; largura foliar, comprimento foliar, área foliar (comprimento X largura); e comprimento do pecíolo da espécie alvo e coletadas as seguintes variáveis limnológicas: pH, condutividade elétrica (μS), oxigênio dissolvido (mg.L), temperatura ($^{\circ}\text{C}$) transparência (m), e profundidade (m). A análise de variância um fator foi utilizada para verificar diferenças significativas quanto aos valores das variáveis limnológicas, seguida de análises de contrastes, pelo teste de comparação múltipla de Tukey a 5% de significância. Para verificar a relação dos atributos com as variáveis ambientais foi realizado a correlação de Pearson. Todas as variáveis limnológicas, exceto o pH, variaram significativamente. Esse resultado foi atribuído as sucessivas reduções da vazão que ocorreram entre 2016 e 2017, sendo responsável por alterar as características físico-químicas da água. Em resposta a essa alteração, as macrófitas aquáticas modificaram sua morfologia como resposta as novas condições ambientais. Os atributos altura e largura foliar de *Azolla pinnata* R. Br variaram significativamente ($p < 0.05$) entre os anos. Para *Eichhornia crassipes* Solms. apenas o comprimento foliar e o comprimento do pecíolo apresentaram variação significativa. Em *Oxycaryum cubense* (Poepp. & Kunth) Lye os atributos altura, comprimento radicular e comprimento foliar variaram entre os anos. Para *Salvinia auriculata* Aubl. apenas o comprimento radicular não apresentou alteração significativa. Na espécie *Potamogeton pusillus* L. verificou-se redução nos atributos largura e área foliar, devido à baixa transparência da água. Em *Cayaponia podantha* Cogn. e *Nymphoides humboldtiana* (Kunth) Kuntze os traços morfológicos não diferiram significativamente entre os períodos. Em síntese, pode-se inferir que as espécies estudadas apresentaram plasticidade fenotípica em resposta as alterações limnológicas que ocorreram durante o período estudado.

Palavras-chave: Morfologia, plantas aquáticas, plasticidade fenotípica, vazão

ABSTRACT

The aquatic macrophytes present high phenotypic plasticity, which gives them the ability to colonize a great diversity of aquatic ecosystems. The objective of the present work was to evaluate how the morphological features of a community of aquatic macrophytes behave in response to the temporal variation of the limnological conditions in a section of the São Francisco River. Four visits were carried out in the sampling area from February 2016 to June 2017. The sampling of the aquatic macrophytes was performed in the form of a transect, positioned parallel to the river's margin, measuring 50 meters in length. Throughout the transect, plots of 0.5 x 0.5 m were released according to the emergence of new species. In each sample unit the functional attributes were measured: height of the aerial part; root length; leaf area (length X width); length of petiole and root type of target species and the following limnological variables were determined: pH, electrical conductivity (μS), dissolved oxygen (mg.L), temperature ($^{\circ}\text{C}$), transparency (m), and depth (m). The one way ANOVA was used to verify significant differences in limnological variables values, followed by analysis of contrasts, by the Tukey multiple comparison test at 5% of significance. To verify the relation of the attributes with the environmental variables, the Pearson correlation was performed. All limnological variables, except pH, varied significantly. This result was attributed to the successive reductions of the flow that occurred between 2016 and 2017, being responsible for altering the physical-chemical characteristics of the water. In response to this change, aquatic macrophytes modified their morphology to adapt to new environmental conditions. The attributes height and leaf width of *Azolla pinnata* R. Br varied significantly ($p < 0.05$) between the years. For *Eichhornia crassipes* Solms. only leaf length and petiole length showed significant variation. In *Oxycaryum cubense* (Poepp. & Kunth) Lye attributes height, root length and leaf length varied between the years. For *Salvinia auriculata* Aubl. only the root length showed no significant change. In the species *Potamogeton pusillus* L., there was a reduction in the width and leaf area attributes due to the low water transparency. In *Cayaponia podantha* Cogn. and *Nymphoides humboldtiana* (Kunh) Kuntze the morphological traits did not differ significantly between the periods. In summary, it can be inferred that the species studied presented phenotypic plasticity in response to the limnological changes that occurred during the studied period. In summary, it can be inferred that the species studied presented phenotypic plasticity in response to the limnological changes that occurred during the studied period.

Palavras-chave: Aquatic plants, morphology, phenotypic plasticity, water flow,

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Histórico sobre o estudo de plasticidade fenotípica de macrófitas aquáticas nomundo.....	19
Figura 2 - Número de publicações sobre plasticidade fenotípica por ecossistema.....	20
Figura 3 - Quantitativo dos estudos sobre plasticidade fenotípica por países.....	21
Figura 4 - Histórico dos estudos sobre plasticidade fenotípica de macrófitas aquáticas no Brasil.....	22
Figura 5 - Quantitativo dos estudos sobre plasticidade fenotípica de macrófitas aquáticas no Brasil por bioma.....	23
Figura 6 - Mapa do estado de Pernambuco, Brasil com a localização do banco de macrófitas aquáticas estudado.....	24
Figura 7- Série histórica da vazão e volume útil do reservatório de Sobradinho entre 2013 e 2017.....	25
Figura 8 - Variação temporal da vazão liberada pela Usina Hidrelétrica de Sobradinho, BA, em função da diminuição do volume útil do reservatório nos anos de 2016 e 2017.....	26
Figura 9 - Desenho amostral dos pontos de coleta no banco de macrófitas na captação do Eixo Norte do PISF no rio São Francisco.....	26
Figura 10 - Banco de macrófitas aquáticas localizado na margem do rio São Francisco.....	27
Figura 11 - Lançamento da parcela.....	27
Figura 12 - Aferição das variáveis físico-químicas da água.....	28
Figura 13- Amostragem do maior e menor indivíduo no banco de macrófitas aquáticas localizado na margem do rio São Francisco.....	28
Figura 14 - Variação temporal das variáveis limnológicas e da vazão.....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultado da análise de variância dos traços morfológicos de <i>Azolla pinnata</i> R.Br. Os dados destacados em negrito apresentaram diferenças significativas entre os períodos amostrados.....	32
Tabela 2 - Resultado da correlação dos atributos morfológicos de <i>Azolla pinnata</i> R. Br. com as variáveis limnológicas.....	33
Tabela 3 - Resultado da análise de variância dos traços morfológicos de <i>Eichhornia crassipes</i> Solms. Os dados destacados em negrito apresentaram diferenças significativas entre os períodos amostrados.....	35
Tabela 4 – Resultado da correlação dos atributos morfológicos de <i>Eichhornia crassipes</i> Solms. com as variáveis limnológicas.	35
Tabela 5 - Resultado da análise de variância dos traços morfológicos de <i>Salvinia auriculata</i> Aubl. Os dados destacados em negrito apresentam diferenças significativas entre os períodos amostrado.....	36
Tabela 6 - Resultado da correlação dos atributos morfológicos de <i>Salvinia auriculata</i> Aubl. com as variáveis limnológicas.....	37
Tabela 7 - Resultado da análise de variância dos traços morfológicos de <i>Oxycaryum cubense</i> (Poepp. & Kunth) Lye. Os dados destacados em negrito apresentaram diferenças significativas entre os períodos amostrados.....	38
Tabela 8 - Resultado da correlação dos atributos morfológicos de <i>Oxycaryum cubense</i> (Poepp & Kunth) Lye com as variáveis limnológicas.....	38
Tabela 9 - Resultado da análise de variância dos traços morfológicos de <i>Potamogeton pusillus</i> L. Os dados destacados em negrito apresentaram diferenças significativas entre os períodos amostrados.....	40
Tabela 10 - Resultado da correlação dos atributos morfológicos de <i>Potamogeton pusillus</i> L. com as variáveis limnológicas.....	40

Tabela 11 - Média e desvio padrão dos traços morfológicos das espécies de macrófitas aquáticas identificadas entre os anos de 2016 e 2017.....	50
--	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS.....	15
2.1. Objetivo Geral.....	15
2.2. Objetivos Específicos.....	15
3. REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1. Ecologia funcional de macrófitas aquáticas	15
3.2. Plasticidade fenotípica de macrófitas aquáticas.....	17
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
4.1. Descrição da área de estudo.....	23
4.2. Delineamento amostral.....	26
4.3. Análise de dados.....	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5.1. Variabilidade temporal das características limnológicas	25
5.2. Plasticidade morfológica de macrófitas aquáticas x variáveis limnológicas.....	32
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

1. INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta uma grande diversidade de ecossistemas aquáticos, tais como rios, lagos, lagoas e reservatórios. Dentre todos os corpos d'água, pode-se destacar os reservatórios, devido a sua grande importância social, pois possibilitam o progresso material da população humana e a sustentabilidade dos recursos hídricos (ESTEVES, 1998; PEGORINI; CARNEIRO; ANDREOLI, 2005). Ao longo do tempo, foram construídas inúmeras barragens, cujo o principal objetivo era a geração e fornecimento de energia elétrica (ESTEVES, 2011).

A construção de barragens provoca uma série de alterações no ambiente, entre elas pode-se citar a rápida transformação de um ambiente terrestre, para um ecossistema aquático, além de modificações nas características de um ambiente lótico para lântico. Resultando na formação de uma grande quantidade de lagos artificiais (ESTEVES, 1998). Esses ecossistemas lacustres apresentam como principal característica a possibilidade de ocorrer uma grande variação do nível da água em pouco tempo, o que está relacionado com a quantidade de água demandada para o funcionamento da usina (FRANZEN, 2009). Dessa forma, as barragens podem alterar o regime hidrológico natural de um curso d'água (SANTOS; CONCEIÇÃO; FONTES, 2015).

No contexto do rio São Francisco, o funcionamento das usinas hidroelétricas atua promovendo a regulação artificial da vazão. Ao longo de sua extensão foi construído um sistema de barragens em cascata, visando a geração de energia elétrica e abastecimento público (MEDEIROS et al., 2011). Entre as principais barragens estão: Três Marias, Sobradinho, Complexo de Paulo Afonso, Itaparica, Moxotó e Xingó (MEDEIROS et al., 2011). Devido a diminuição do volume útil do reservatório de Sobradinho, desde 2013 tem-se realizado reduções na vazão liberada pela barragem (CHESF, 2013).

Essas alterações produzem um regime hidrológico diferente do natural (SANTOS; CONCEIÇÃO; FONTES, 2015). As modificações sofridas pelo ambiente podem trazer consequências para os organismos aquáticos, pois a vazão liberada por uma Usina Hidroelétrica (UHE) pode sofrer uma grande redução em períodos de estiagem (BUENAGA et al., 2017) podendo ficar abaixo dos valores recomendados para vazão ecológica.

A comunidade de macrófitas aquáticas está entre os organismos que podem ser afetados pela variação do nível da água (WETZEL, 2001). A vegetação aquática apresenta importante papel ecológico, pois participam na produção de matéria orgânica e ciclagem de nutrientes, além de servir como substrato para o perifíton e lugar de nidificação para outros organismos aquáticos (PÔMPEO; MOSCHINI-CARLOS, 2003; THOMAZ; CUNHA, 2010).

Apesar do seu importante papel ecológico, o crescimento desordenado de espécies invasoras pode provocar diversos prejuízos aos usos múltiplos da água (POTT; POTT, 2000). Existe uma grande diversidade de macrófitas aquáticas invasoras que ocorrem no Brasil, as espécies *Eichornia crassipes* Solms., *Egeria densa* Planch. e *Salvinia auriculata* Aubl., recebem destaque em estudos ecológicos pelo seu grande potencial de invasão e pela elevada capacidade competitiva e de ajuste as diferentes condições ambientais (POTT; POTT, 2000).

A plasticidade adaptativa pode contribuir para o estabelecimento de espécies invasoras, capazes de realizar uma rápida colonização em diversos habitats sem precisar sofrer seleção local (SULTAN, 2000). Além disso, essas espécies teoricamente apresentam maior plasticidade fenotípica quando comparadas a espécies nativas, o que aumenta o seu potencial invasor (FASOLI, 2015).

Plantas aquáticas são capazes de alterar sua morfologia em resposta a variação nas condições ambientais, tal como flutuação no nível da água (DEMETRIO; BARBOSA; COELHO, 2014). O surgimento de morfologias localmente adaptadas pode aparecer como um resultado da plasticidade fenotípica, sendo importante para a persistência das espécies em lugares que apresentam heterogeneidade espacial e temporal (DEMETRIO; BARBOSA; COELHO, 2014). As respostas das macrófitas aquáticas às flutuações do nível da água são de grande importância para a compreensão de sua dinâmica e para conservação dos ecossistemas aquáticos (NEVES, 2007).

Diante desse cenário, um estudo sobre plasticidade fenotípica de macrófitas aquáticas pode trazer informações ecológicas inéditas sobre como essas espécies respondem a alterações ambientais causadas pela variação da vazão. No presente trabalho foram formuladas as seguintes hipóteses ecológicas: i) as variáveis limnológicas e os atributos morfológicos das macrófitas aquáticas variam temporalmente, ii) existe relação entre as flutuações ambientais e os traços morfológicos das macrófitas aquáticas.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar como os traços funcionais de uma comunidade de macrófitas aquáticas se comporta em resposta à variação temporal das condições limnológicas em um trecho do rio São Francisco.

2.2. Objetivos Específicos

1. Avaliar a existência de variação temporal nos atributos funcionais das macrófitas aquáticas e nas variáveis ambientais sujeitas as diferentes vazões.
2. Avaliar a existência de relação entre condições ambientais e atributos morfológicos das macrófitas aquáticas.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Ecologia funcional de macrófitas aquáticas

Por habitarem desde brejos até ambientes verdadeiramente aquáticos, as macrófitas aquáticas apresentam capacidade de ajustamento às mudanças ambientais através de adaptações morfofisiológicas e fenotípicas (ESTEVES, 2011; SCREMIN-DIAS et al., 1999). Isso permite que estas plantas resistam às perturbações hidrológicas da cheia e/ou seca (PEDRO; MALTCHIK; BIANCHINI JUNIOR, 2006), podendo-se destacar as espécies capazes de viver tanto em ambientes alagados como fora da água (temporariamente), as quais são denominadas “macrófitas anfíbias” (ALMEIDA, 2012).

Os primeiros trabalhos sobre ecologia funcional datam de 1960, tendo como uma das temáticas a classificação das espécies vegetais de acordo com os traços funcionais, sendo a forma de crescimento uma das maneiras mais utilizadas para classificar as espécies segundo a resposta a distúrbios ambientais (SALA; PARTON; LAUENROTH, 1988). A ecologia funcional utiliza traços numéricos (características morfológicas ou ecofisiológicas) mensurados em campo, sendo esses traços um produto da sua relação com o ambiente (SALA; PARTON; LAUENROTH, 1988).

Segundo Chapin et al. (2000) mudanças ambientais traduzem modificações no funcionamento do ecossistema (ex. modificações na composição de espécies) através da representação de traços morfológicos. Dessa forma, considera-se que o funcionamento do ecossistema é determinado por traços dominantes, os quais são chamados de atributos funcionais (GRIME, 1998). Os grupos de espécies que apresentam os mesmos atributos funcionais (ou seja, os traços respondem de maneira semelhante às mesmas condições ambientais) são conhecidos como grupos funcionais (GRIME, 1998).

Embora os estudos sobre grupos funcionais possam ser realizados com o olhar voltado para ecologia da conservação, grande parte dos estudos com essa temática tem por objetivos compreender o comportamento morfofuncional e adaptativo das espécies diante de um gradiente ambiental. Dentre as principais temáticas da ecologia funcional temos as avaliações que visam entender como e porque os traços variam entre as espécies dentro de um ambiente comum (WESTOBY; WRIGHT, 2006) e/ou investigar como essas variações respondem a diferentes gradientes ambientais (ZHONG et al., 2015). Vale ressaltar que a maioria das pesquisas sobre ecologia funcional é realizada com plantas terrestres, sendo os estudos voltados as macrófitas aquáticas concentrados em determinadas regiões e desenvolvidos principalmente em ambientes de clima temperado (BOUCHARD et al., 2007; HYLDGAARD; BRIX, 2012; GREWELL et al., 2016).

Pesquisas sobre os atributos funcionais das macrófitas aquáticas no Brasil estão localizados principalmente na região Centro-Oeste, existindo poucas citações para a região Nordeste. Em escala nacional, Mendonça et al. (2010) realizaram um estudo nos rios Negro e Solimões, avaliando a influência da concentração de nutrientes na diversidade funcional da comunidade vegetal entre esses dois mananciais. Esses autores verificaram que apesar de existir diferenças na concentração de nutrientes entre esses dois ambientes, a diversidade funcional foi igual. Este resultado provavelmente está relacionado a semelhança na composição florística, esse fator indica que as espécies respondem de forma semelhante as concentrações de nutrientes estudadas.

Os estudos ecológicos envolvendo macrófitas aquáticas no Nordeste apresentam principalmente à temática florística e ecologia de comunidades (PEDRO; MALTCHIK; BIANCHINI JUNIOR, 2006; FRANÇA et al., 2006; MOURA JÚNIOR et al., 2011).

Diante de tudo que foi exposto fica evidente que um estudo sobre ecologia funcional com macrófitas aquáticas no âmbito do rio São Francisco pode trazer informações ecológicas inéditas sobre como essas espécies respondem a alterações ambientais causadas pela variação da vazão.

3.2. Plasticidade fenotípica de macrófitas aquáticas no mundo

Ambientes aquáticos apresentam elevada heterogeneidade no tempo e espaço, dessa forma os organismos devem encontrar medidas para tolerar condições adversas. Alguns estudos mostram que as plantas são plásticas para numerosos traços morfológicos ecologicamente importantes (SULTAN, 2000; ALBERT et al., 2011; CARLUCCI et al., 2015). A plasticidade fenotípica consiste na capacidade que os organismos possuem de alterar sua fisiologia ou morfologia em resposta a mudanças nas condições ambientais (SCHLICHTING, 1986).

Os vegetais possuem uma elevada plasticidade morfológica, o que pode estar relacionado com a sua história evolutiva, consistindo em uma importante habilidade para organismos sésseis, pois estão sob influência direta das condições ambientais (SCHLICHTING, 1986).

Os trabalhos clássicos que abordam esse ponto da ecologia funcional foram realizados com plantas terrestres, possuindo como principais temáticas a análise da influência da luminosidade sobre a forma das folhas (VOGEL, 1968), respostas a herbivoria (LUBCHENCO; CUBIT, 1980) e competição (TURKINGTON, 1983), onde todos representam casos de plasticidade fenotípica. Segundo Barko e Smart (1981) no passado os estudos focavam principalmente na forma com que os efeitos da luz e temperatura influenciavam as mudanças fenotípicas.

Apesar de existir registros desde a década de 60 sobre a variação morfológica em macrófitas aquáticas (COOK; JOHNSON, 1968), apenas nas duas últimas décadas ocorreu um aumento no número de publicações sobre tema. No Brasil, a maioria dos trabalhos sobre o assunto são avaliações de cunho experimental com poucos grupos de espécies e em determinados ecossistemas, como, o Pantanal. Dentre as espécies de macrófitas estudadas no Brasil, estão *Eichhornia crassipes* Solms., *Salvinia auriculata* Aubl. e *Salvinia hergozii* de la Sota (ANDRADE; BARBOSA; DEMETRIO 2013; BOSCHILIA; THOMAZ; PIANA, 2006; COELHO;

LOPES; SPERBER 2000). Essas espécies são consideradas invasoras em várias partes do mundo e, por isso, recebem atenção especial nos estudos ecológicos.

No país é possível observar uma certa tendência na realização de estudos com espécies invasoras. Os trabalhos publicados sobre o tema apresentam como principal foco a avaliação do efeito da densidade em traços vegetativos. Uma pesquisa realizada com *E. crassipes* verificou que em condições de elevada densidade o espaço para desenvolvimento horizontal é limitado. Devido a limitação espacial a planta investe no crescimento vertical através do alongamento das raízes, essa modificação no sistema radicular possibilita um aumento na captação de recursos dissolvidos na água (ANDRADE; BARBOSA; DEMETRIO 2013). Segundo esses autores a morfologia foliar é outro traço altamente plástico, em condições de elevada densidade *E. crassipes* aumenta a largura dos pecíolos e a área fotossinteticamente ativa melhorando a capacidade competitiva dos rametes.

Os trabalhos realizados no Brasil que abordam a relação entre variáveis limnológicas e traços morfológicos de macrófitas aquáticas focam principalmente na compreensão sobre o efeito da variação do nível da água, temperatura e radiação subaquática na morfologia das espécies (NEVES, 2007; COLARES et al., 2007). Um estudo realizado em Minas Gerais analisou a plasticidade morfológica de *Sagittaria montevidensis* Cham. and Schl. em resposta a variação na profundidade da água, verificando que a altura, biomassa e traços foliares foram maiores no período de cheia do que de seca, evidenciando a influência da profundidade na morfologia da espécie (DEMETRIO; BARBOSA; COELHO, 2014). Colares et al. (2007) ao estudar *Potamogeton pectinatus* L., verificou que essa espécie é capaz de responder a diferentes condições de temperatura e fotoperíodo através de alterações fenotípicas e fisiológica. Segundo os autores a espécie apresenta plasticidade morfológica e fisiológica para se ajustar a diferentes condições sazonais.

Grande parte dos estudos sobre plasticidade morfológica tem como objetivo compreender a influência de fatores abióticos e atributos ecológicos nas respostas fenotípicas das espécies. Os principais temas abordados sobre plasticidade fenotípica de macrófitas aquáticas visam compreender como e porque as respostas morfológicas variam ao longo de um gradiente ambiental. Segundo Mal e Lovett-Doust (2005), a plasticidade de traços ecologicamente importantes pode contribuir para sobrevivência e propagação da espécie em lugares que apresentam heterogeneidade ambiental,

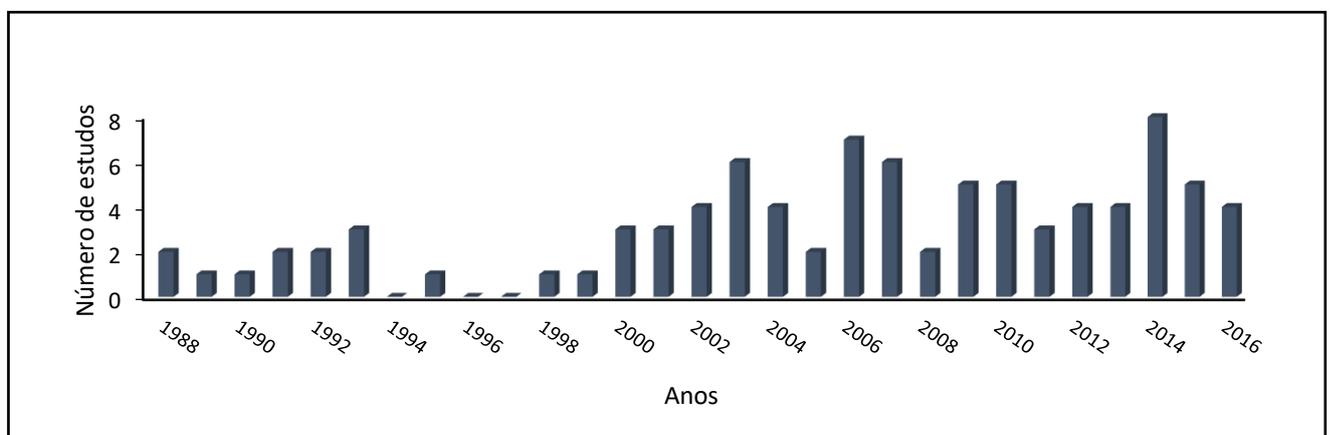
sendo sugerida como um importante preditor de invasão. Para macrófitas aquáticas, a grande capacidade de adaptação e plasticidade fenotípica são características de espécies invasoras (CASTRO, 2014).

Essas espécies teoricamente apresentam maior plasticidade morfológica quando comparadas a espécies nativas, aumentando o seu potencial invasor (FASOLI, 2015) e desempenhando um papel fundamental nos processos de invasão. A plasticidade fenotípica permite a manutenção da espécie invasora, fornecendo vantagens competitivas em uma ampla variedade ambiental (CASTRO, 2014). Segundo Castillo et al. (2014), o melhor conhecimento sobre a plasticidade fenotípica de plantas invasoras em resposta a variação ambiental, pode tanto melhorar o manejo de espécies invasoras quanto os esforços para conservação em ambientes naturais.

Uma análise cienciométrica sobre plasticidade fenotípica de macrófitas aquáticas avaliou o histórico de publicações sobre o tema nos últimos 50 anos, utilizando banco de dados do Portal Periódico CAPES e das plataformas digitais JSTOR, Scholar, Scielo e Springer. Nesta pesquisa utilizou-se palavras-chave em português: plasticidade fenotípica; morfológica de macrófitas aquáticas e em inglês: phenotypic plasticity, macrophytes, morphology phenotypic (MILHOMENS et al. 2017).

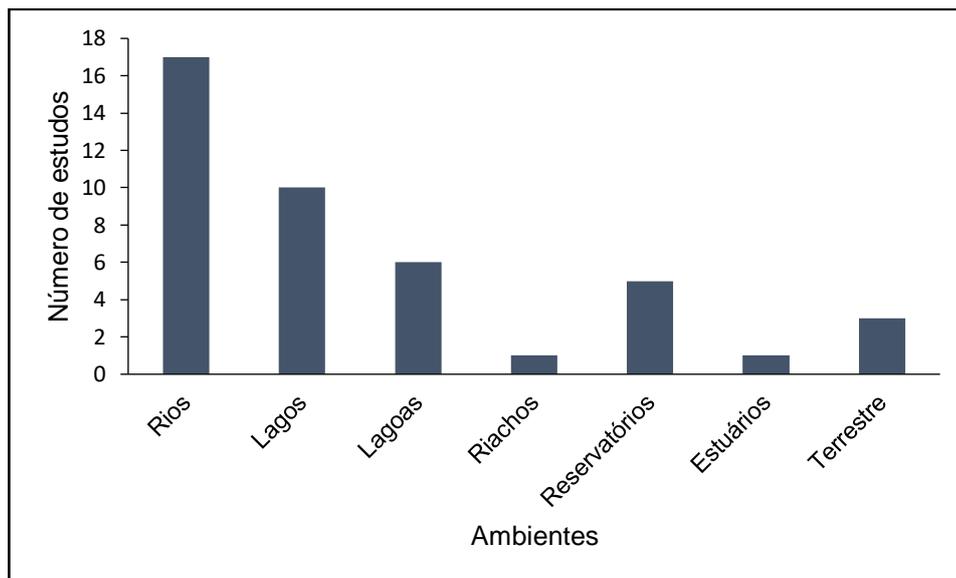
Segundo este estudo, apesar do primeiro registro datar dos anos 60 apenas a partir dos anos 2000 foi observado um aumento no número de trabalhos, mantendo esse padrão nos anos posteriores (Figura 1).

Figura 1 - Histórico sobre o estudo de plasticidade fenotípica de macrófitas aquáticas no mundo.



Nestes estudos, as abordagens são voltadas principalmente para a ecologia de população, focando na relação entre espécies alvos e variações ambientais, sendo os trabalhos a nível comunidade escassos. Além desse fator, verificou-se que entre os ecossistemas estudados o maior esforço científico está concentrado nos ecossistemas fluviais, seguido por ambientes lânticos (lagos e lagoas) (Figura 2).

Figura 2 - Número de publicações sobre plasticidade fenotípica por ecossistemas.



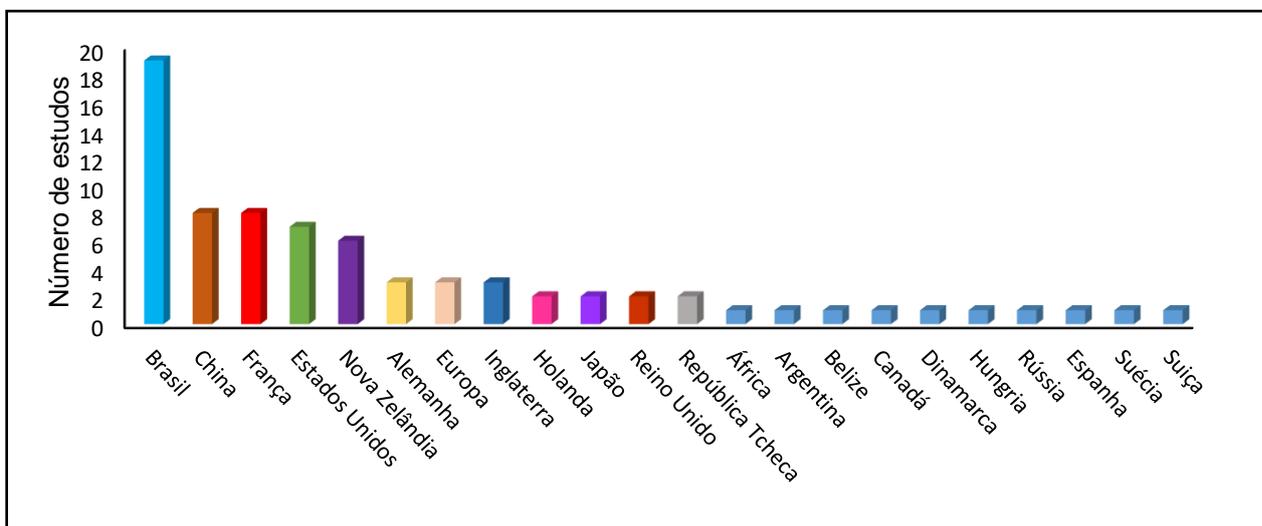
A maioria dos trabalhos realizados sobre macrófitas aquáticas são levantamentos florísticos, frequentemente é observado enfoques voltados para a biologia da conservação, ecologia de comunidades e manejo de reservatórios (MACHADO FILHO et al., 2014). Resultados semelhantes aos verificados no presente estudo foram encontrados na análise cienciométrica realizada por Machado Filho et al. (2014), a qual verificou-se que 33% dos trabalhos florísticos foram realizados em ecossistemas lacustres (lagos e lagoas) e apenas 1% em reservatórios.

As pesquisas realizadas em reservatórios geralmente estão associadas ao monitoramento da qualidade da água e as consequências causadas pelo crescimento desordenado de plantas invasoras, que podem provocar prejuízos na geração de energia por hidroelétricas e abastecimento de cidades (TOMAZ, 2002; BRUNDU, 2015). Os reservatórios artificiais apesar de serem de grande importância para o progresso econômico está entre os ambientes que possui menos estudos sobre plasticidade morfológica de macrófitas aquáticas, não havendo registro de trabalhos

que analisem as alterações ambientais causadas pela variação da vazão e sua influência na expressão de traços morfológicos em macrófitas aquáticas, evidenciando uma lacuna nesse conhecimento.

Os resultados apontam Brasil (19), China (8) e Estados Unidos (7) como os países com o maior número de estudos nessa área (Figura 3). Constatamos que a maior parte (60,43%) dos trabalhos foi realizada em regiões de clima temperado, entretanto, o Brasil ocupa uma posição privilegiada na produção científica sobre o tema.

Figura 3 - Quantitativo dos estudos sobre plasticidade fenotípica por países.

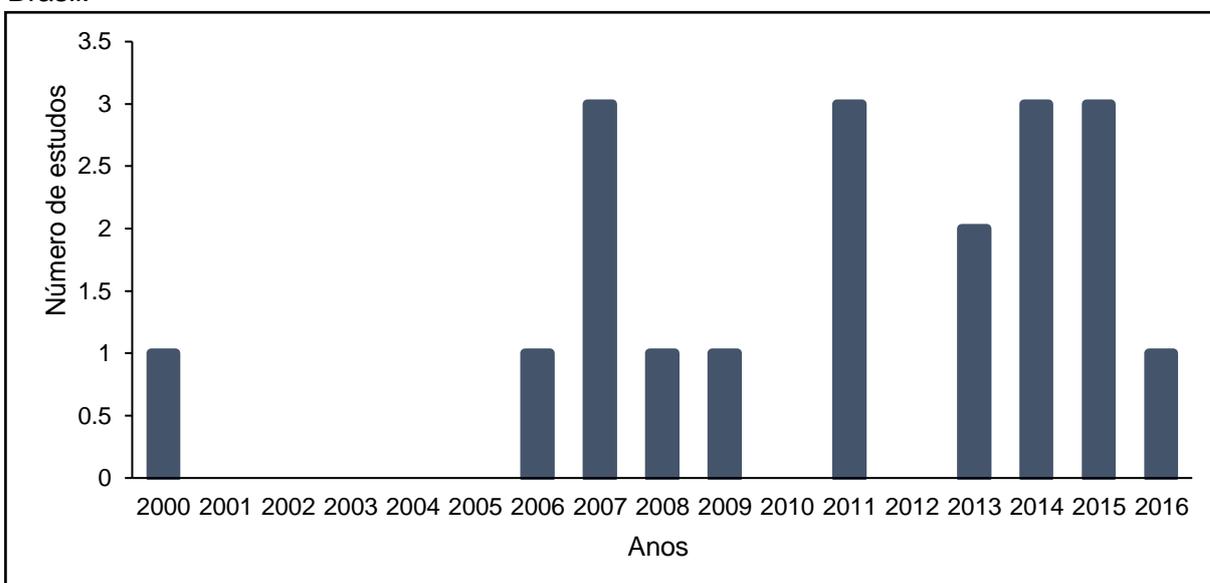


Diante do atual cenário de crise econômica no país, a redução de fundos para pesquisas impacta severamente a capacidade nacional de gerar conhecimento sobre a biodiversidade (FERNANDES et al., 2017). Nesse contexto, o Brasil pode perder a posição de protagonista na produção científica sobre plasticidade fenotípica, deixando de contribuir substancialmente com o conhecimento gerado sobre o tema.

Estudos mostram que a redução de fundos irá afetar os esforços para a conservação dos ecossistemas, influenciando a capacidade de prever e mitigar impactos causados pelas mudanças climáticas e ações antrópicas (FERNANDES et al., 2017). Além disso, as grandes lacunas que existem em diversas áreas do conhecimento podem ser maximizadas com o corte de despesas em pesquisas voltadas para biodiversidade e conservação.

No Brasil, somente após a década de 90 as pesquisas sobre macrófitas aquáticas se tornaram mais frequentes (THOMAZ; BINI, 2003). Com o aumento dos esforços visando compreender a ecologia da vegetação aquática surgem os estudos sobre plasticidade fenotípica. O primeiro trabalho sobre o tema foi publicado no ano 2000, entretanto, apenas na última década foi observado aumento da produção científica (Figura 4).

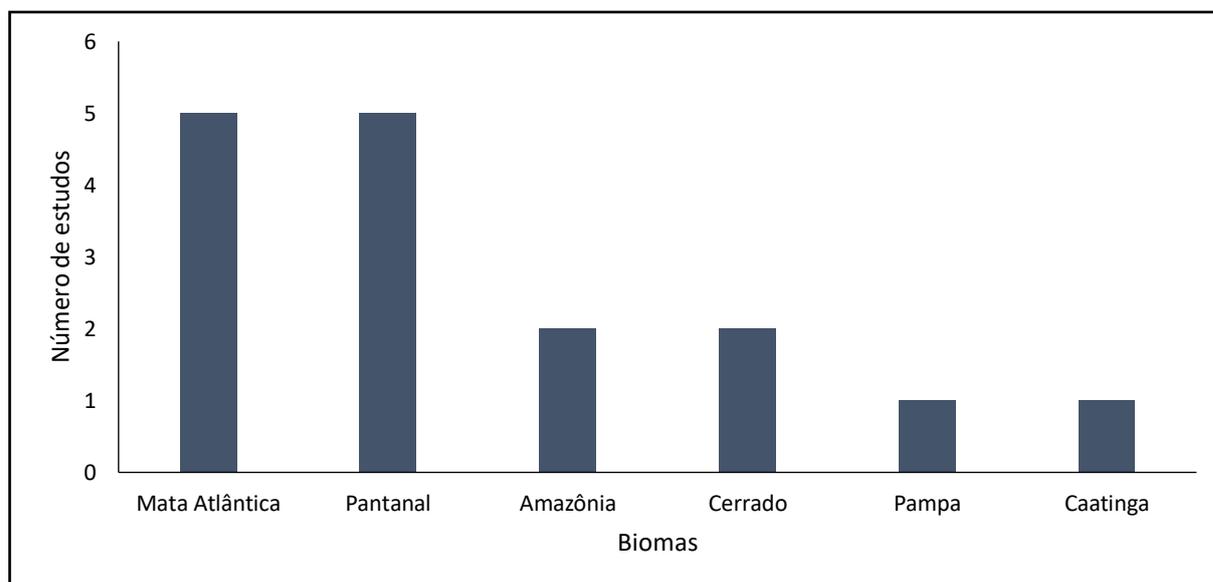
Figura 4 - Histórico dos estudos sobre plasticidade fenotípica de macrófitas aquáticas no Brasil.



Os principais temas pesquisados no país visam compreender a influência da densidade e o efeito da flutuação do nível da água na expressão de traços morfológicos (ANDRADE; BARBOSA; DEMETRIO, 2013; NEVES, 2007). Foi possível identificar uma tendência nos trabalhos realizados no Brasil, onde mais de 50% das espécies estudadas são consideradas invasoras. Este resultado pode estar relacionado aos efeitos negativos que o crescimento excessivo dessas plantas pode causar no ambiente.

Os trabalhos sobre o assunto são concentrados em determinadas em determinados biomas, como a Mata Atlântica e o Pantanal (Figura 5). Podemos inferir que a maior concentração de esforços na região do Pantanal está relacionada a grande diversidade de ambientes propícios para o estabelecimento e proliferação das macrófitas aquáticas.

Figura 5 - Quantitativo dos estudos sobre plasticidade fenotípica de macrófitas aquáticas no Brasil por bioma.



Apesar do crescimento do número de trabalhos algumas regiões tropicais carecem de dados disponíveis sobre o assunto. Considerando que expressões fenotípicas de plantas respondem sensivelmente a gradientes ambientais, o aumento na concentração de esforços melhoraria o conhecimento sobre a dinâmica ambiental, auxiliando avaliações conservacionistas. Diante desse cenário, o estudo de traços funcionais em uma comunidade de macrófitas aquáticas pode fornecer informações inéditas sobre a sua ecologia contribuindo tanto para melhoria do arcabouço teórico sobre o tema quanto sobre a compreensão das respostas morfológicas a um gradiente ambiental.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

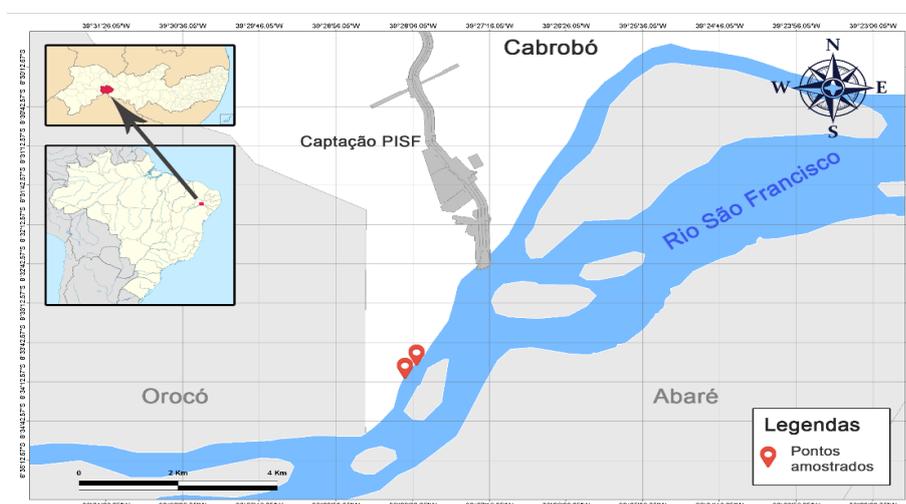
A bacia hidrográfica do rio São Francisco é dividida em quatro regiões hidrográficas: alto, médio, submédio e baixo São Francisco (RIMA, 2004). Ao longo da sua extensão foi construído um sistema de barragens em cascatas visando a utilização do seu potencial hidroelétrico para geração de energia elétrica (MEDEIROS et al., 2011). Esses reservatórios atuam promovendo a regulação da

vazão de forma artificial. Entre as principais usinas hidroelétricas podemos citar: Três Marias, Complexo de Paulo Afonso, Sobradinho, Itaparica, Moxotó e Xingó (MEDEIROS et al., 2011).

A área de estudo está situada na região do submédio da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco, compreendendo o município de Cabrobó (08° 30' 51" S, 39° 18' 36" W), no estado de Pernambuco. O presente estudo foi realizado em um banco de macrófitas aquáticas situado a 2700 metros da área de captação de água do eixo Norte do Projeto de Integração do São Francisco, a jusante do reservatório da Usina Hidroelétrica de Sobradinho (UHE Sobradinho) (Figura 6).

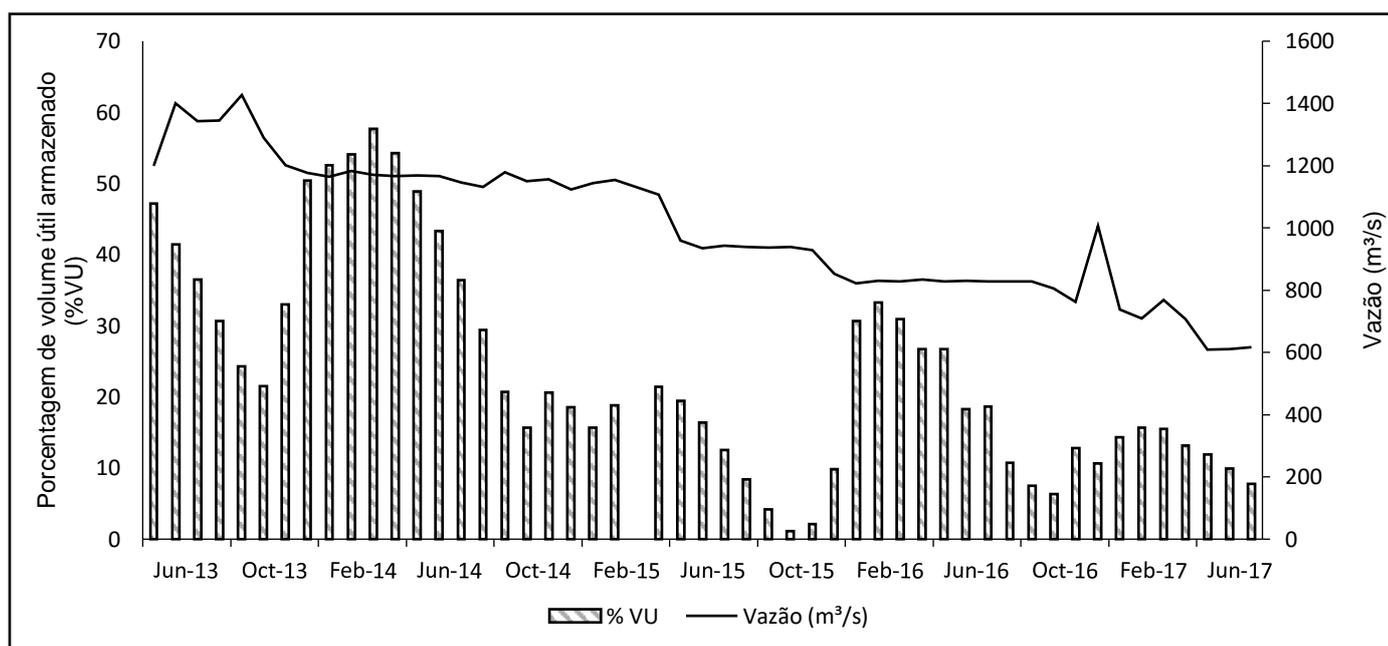
Foram conduzidas quatro coletas, realizadas em fevereiro e junho de 2016 e 2017. A vazão liberada pela UHE de Sobradinho apresentou variação temporal no período em que realizamos as nossas coletas, com redução significativa em 2017 (Figura 7) (CHESF, 2017). Apesar do mês de junho/2016 ter apresentado o maior volume de água liberado (828 m³/s), a vazão do reservatório nos meses estudados foi menor do que o determinado provisoriamente para a vazão ecológica (1300 m³/s) pelo Plano Diretor de Recursos Hídricos da bacia do rio São Francisco (UNESCO, 2007). Vazão ecológica é a quantidade de água que deve ser mantida no leito dos rios para garantir a manutenção e conservação dos ecossistemas aquáticos, preservando a flora e a fauna relacionada ao corpo hídrico (CRUZ, 2005; MEDEIROS; SOUZA; RIBEIRO, 2011).

Figura 6 - Mapa do estado de Pernambuco, Brasil com a localização do banco de macrófitas aquáticas estudado.



A redução da vazão do reservatório de Sobradinho é um procedimento que vem sendo praticado desde 2013, onde houve uma diminuição de 1300 m³/s para 1100 m³/s (Figura 7). Devido a redução do volume útil (volume armazenado entre os níveis mínimos e normal) do reservatório foi necessário diminuir a quantidade de água liberada pela barragem (CHESF, 2013).

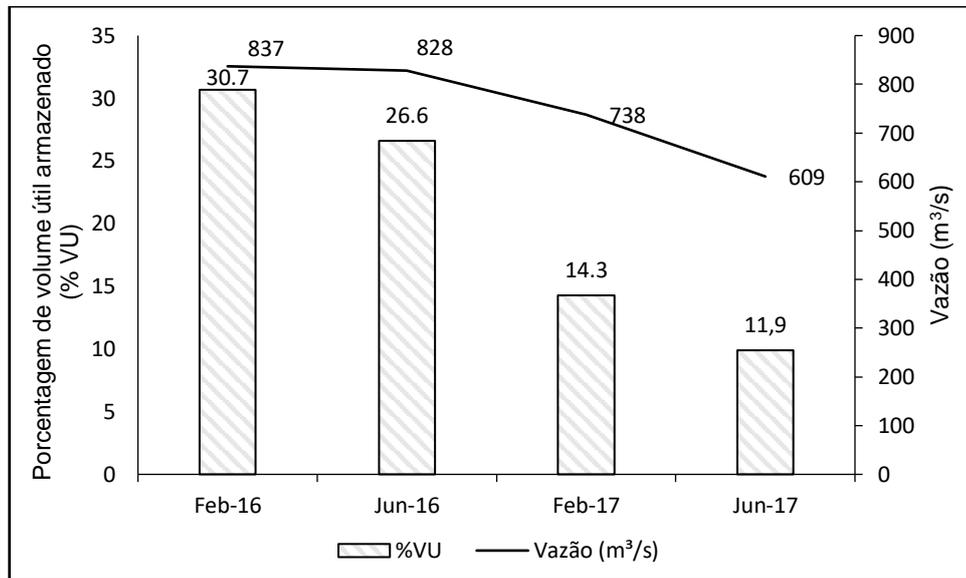
Figura 7. Série histórica da vazão e volume útil do reservatório de Sobradinho entre 2013 e 2017.



Fonte: CHESF, 2017.

No ano de 2015 o volume da barragem de Sobradinho alcançou o menor valor, possuindo apenas 1,1% da sua capacidade, entretanto, é importante destacar que mesmo nessa condição a vazão liberada foi de 938m³/s, sendo superior a vazão liberada em 2016 e 2017 (Figura 8). Durante o estudo a vazão passou de 821 m³/s em fevereiro/2016 para 609 m³/s em junho/2017 (Figura 8). As reduções de vazão na UHE Sobradinho resultam da diminuição do volume útil do reservatório de Sobradinho, que passou de 14,3% em fevereiro/2017 para 11,9% em junho/2017 (CHESF, 2017).

Figura 8 - Variação temporal da vazão liberada pela Usina Hidrelétrica de Sobradinho, BA, em função da diminuição do volume útil do reservatório nos anos de 2016 e 2017.



Fonte: CHESF, 2017.

4.2. DELINEAMENTO AMOSTRAL

As amostragens foram realizadas em um banco heterogêneo de macrófitas aquáticas localizado na zona costeira de transição aquático-terrestre em um trecho do rio São Francisco, próximo a captação de água do Projeto de Integração do São Francisco (PISF), no município de Cabrobó, PE (Figura 9).

Figura 9 - Desenho amostral dos pontos de coleta no banco de macrófitas na captação do Eixo Norte do PISF no rio São Francisco.

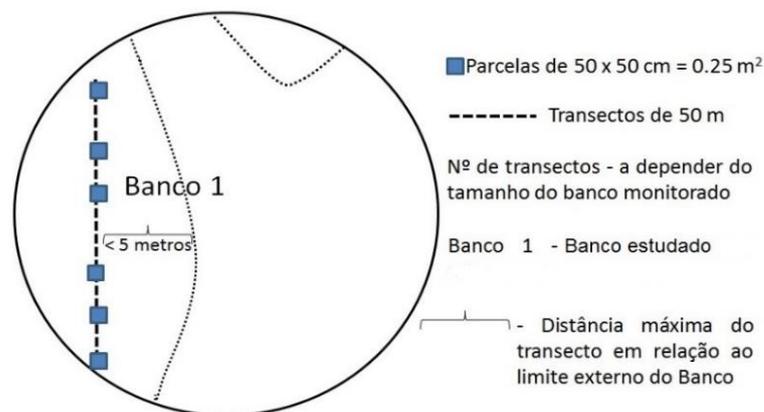


Figura 10 - Banco de macrófitas aquáticas localizado na margem do rio São Francisco.



Fonte: Arquivo pessoal

A escolha do banco foi realizada visualmente, sendo selecionado aquele que apresentasse maior heterogeneidade de espécies (Figura 10). Nesse ponto amostral (banco de macrófitas) foram estabelecidos três transectos de 50 metros de comprimento (quando possível), os quais foram dispostos paralelamente a margem. O limite externo do banco amostrado foi de no máximo 5 metros para o interior do mesmo, visto que essa é a distância máxima possível para a retirada do barco sem o encalhe do mesmo no banco de macrófitas aquáticas.

Ao longo de toda a extensão dos transectos foram laçados quadrados de 0,5 x 0,5 m (unidades amostrais). Os locais de lançamento das unidades amostrais no transecto foram determinados visualmente seguindo o critério de aparecimento de novas espécies, priorizando os locais onde cada espécie apresentou maior abundância (Figura 11).

Figura 11 - Lançamento da parcela. A) Estabelecimento do transecto de 50 metros e B) unidade amostral.



Fonte: Arquivo pessoal

Em cada unidade amostral foram coletados os seguintes traços morfológicos da espécie alvo: 1) altura da parte aérea; 2) comprimento máximo da raiz; 3) largura foliar; 4) comprimento foliar; 5) área foliar (comprimento X largura) e 6) comprimento do pecíolo. Os traços foliares foram obtidos através da medição da menor e maior folha. Além das características morfológicas foi mensurada a variável ecológica: cobertura vegetal. Para todos os traços funcionais medidos em campo, foram mensurados o maior e o menor indivíduo de uma espécie visualizados em cada quadrado. Para cada unidade amostral, foi anotado também a composição de espécies e os valores das variáveis limnológicas: pH, condutividade elétrica (μS), oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}); temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e transparência (m) e profundidade (m). Os dados limnológicos foram coletados na superfície e no centro de cada unidade amostral (Figura 12).

Figura 12 - Aferição das variáveis físico-químicas da água. A) Mensuração do oxigênio dissolvido e obtenção da temperatura da água e B) obtenção da transparência da água.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 13 - Amostragem do maior e menor indivíduo no banco de macrófitas aquáticas localizado na margem do rio São Francisco.



Fonte: Arquivo pessoal

4.3. ANÁLISE DE DADOS

Para testar diferenças temporais nas características limnológicas e nos traços morfológicos foi utilizado teste ANOVA de um fator, seguida de análises de contrastes, pelo teste de comparação múltipla de Tukey a 5% de significância. Para verificar se os atributos morfológicos e as variáveis limnológicas se comportam de forma semelhante foi realizado a correlação de Pearson.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

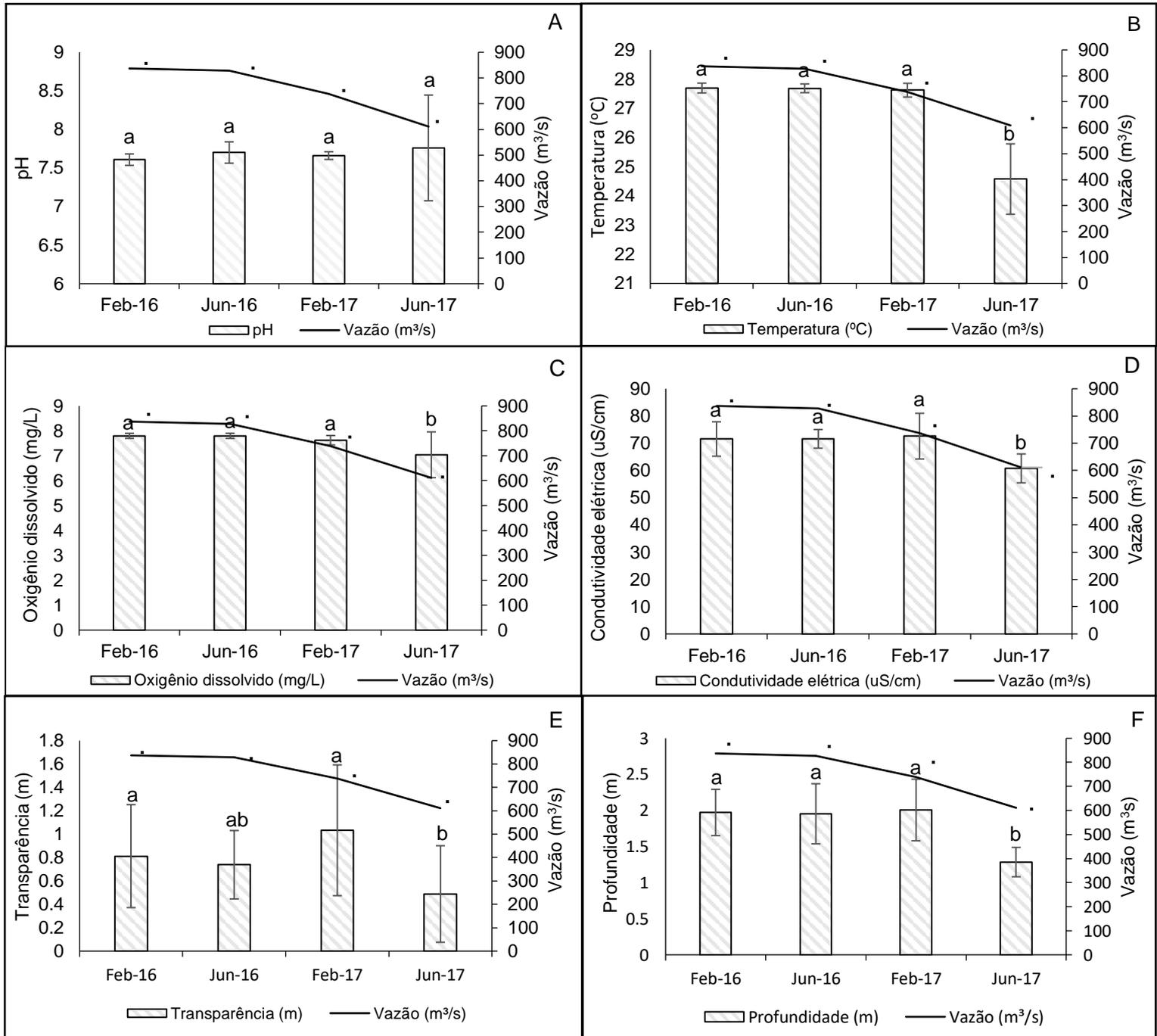
5.1. Variabilidade temporal das características limnológicas

Verificou-se diferenças significativas quanto aos valores das variáveis limnológicas oxigênio dissolvido, temperatura, condutividade elétrica, transparência e profundidade entre os períodos analisados. Por outro lado, os valores de pH apresentaram pequena amplitude de variação se mantendo na mesma faixa (Figura 13A). É possível que as alterações limnológicas observadas no período estudado possam estar vinculadas a variações na vazão (Figura 14). Sendo importante considerar que a variação no regime hidrológico induz modificações nas características hidrológicas do ecossistema (MOURA-JÚNIOR 2011).

A temperatura superficial da água apresentou uma amplitude de variação de 5,5 °C, variando de 22,6 °C (junho/2017) a 28,1°C (fevereiro/2017). Essa variável diferiu significativamente apenas em junho de 2017, onde a menor temperatura superficial diurna foi observada (Figura 14B). As temperaturas do ar e da água obtidas nesse período condizem com o período sazonal amostrado (seco), com valores do ar (24,2 °C) e da água similares (22,6°C), indicando troca térmica espacial e na interface entre os meio ar-água (ELETROSUL, 2014).

A temperatura do ar exerce influência direta no comportamento da temperatura da água. De maneira geral, durante o dia a temperatura da água é menor que a temperatura do ar, corroborando com os resultados encontrados. Esta relação entre a temperatura da interface água-ar é explicada pelo alto calor específico que a água apresenta em relação ao ar (HENRY et al., 1998).

Figura 14 - Variação temporal das variáveis limnológicas e da vazão. A) pH, B) temperatura, C) oxigênio dissolvido, D) condutividade elétrica, E) transparência e F) profundidade.



Verificou-se que oxigênio dissolvido variou significativamente em junho/2017, onde foi observado sua menor concentração (Figura 14C). A diminuição do nível da água torna o ambiente similar a um corpo d'água lântico ou semi-lótico, devido ao aumento no tempo de residência da água (MEIRINHO, 2010). Essas condições

ambientais podem favorecer a produção primária pela comunidade fitoplanctônica, aumentando a demanda biológica de oxigênio dissolvido - DBO (WETZEL, 2001).

O aumento da DBO pela atividade do fitoplâncton e a ação de microrganismos decompositores aeróbios, provavelmente foram os fatores responsáveis pela redução da concentração de oxigênio dissolvido (OD) em junho de 2017. Além destes, outros fatores contribuem para a redução do oxigênio da água, tais como as perdas para a atmosfera, respiração de organismos aquáticos e processos de oxidação de íons metálicos (BUZELLI; CUNHA-SANTINO, 2013; ESTEVES, 1998).

No estudo realizado por Martins e Pitelli (2005), verificou-se que a demanda respiratória pelo sistema radicular de *E. crassipes*, *S. auriculata* e dos organismos perifíticos associados, contribuem para redução da concentração de OD. Apesar das variações na concentração de oxigênio, todos os períodos amostrados apresentaram elevadas concentrações desse gás. Associamos esse resultado à movimentação da água no trecho do rio que desenvolvemos esse estudo, permitindo assim, uma maior circulação do OD na coluna d'água (MEYER; FRANCESCHINELLI, 2011).

A condutividade elétrica (C.E) diferiu significativamente em junho/2017 (Figura 13D). A redução dos valores dessa variável no período de menor vazão (junho/2017) provavelmente está relacionada ao regime hidrológico da barragem de Sobradinho. Devido a diminuição do volume útil durante o período estudado, o reservatório reduziu a sua vazão (Figura 8). Como consequência, a velocidade reduzida da água diminui a ressurgência de nutrientes na coluna d'água. Esse fator juntamente com o aumento do seu tempo de residência favorece a deposição de matéria orgânica e a precipitação de íons dissolvidos. Essa diminuição na concentração de íons disponível na coluna d'água pode estar relacionado com a menor condutividade elétrica observada em junho/2017.

A profundidade da água apresentou o mesmo padrão de variação que as variáveis temperatura, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica, com valores diferindo significativamente em junho/2017. Nesse mês verificou-se menores profundidades, com uma média de 1,3 metros (Figura 14F). Este resultado está relacionado com as sucessivas diminuições da vazão liberada pela UHE de Sobradinho (Figura 8), sendo verificado maiores profundidades nos meses que apresentaram maior vazão.

A transparência da água apresentou redução significativa em junho de 2017 (14E). Não existe evidências que explique a baixa transparência da água nesse

período, entretanto, é importante ressaltar que a maior proximidade da margem do rio decorrente da diminuição da vazão pode ter afetado a transparência.

Em síntese, verificou-se que o ambiente lótico sofre diversas interferências de fatores internos e externos, e são esses fatores que determinam a variabilidade temporal das características físico-química da água. Além disso, pode-se sugerir que, a flutuação da vazão pode ser considerada um indutor de alterações limnológicas.

5.2. Plasticidade morfológica de macrófitas aquáticas x variáveis limnológicas

No estudo foram identificadas sete espécies de macrófitas aquáticas (*Azolla pinnata* R.Br., *Eichhornia crassipes* Solms., *Salvinia auriculata* Aubl., *Oxycaryum cubense* (Poepp. & Kunth) Lye, *Potamogeton pusillus* L., *Cayaponia podantha* Cogn e *Nymphoides humboldtiana* (Kunh) Kuntze, pertencentes a seis famílias botânicas (Salviniaceae, Pontederiaceae, Cyperaceae, Menyanthaceae Potamogetonaceae e Cucurbitaceae).

A espécie *Azolla pinnata* R. Br (N = 22) apresentou variações significativas na altura dos indivíduos e largura foliar entre os quatro diferentes períodos amostrados (Tabela 1).

Tabela 1 - Resultado da análise de variância dos traços morfológicos de *Azolla pinnata* R.Br. Os dados com asterisco apresentaram diferenças significativas entre os períodos amostrados.

Traços morfológicos	<i>Azolla pinnata</i>		
	F	GL	p
Altura (cm)	5,06	3	0,01*
Comprimento radicular (mm)	2,69	3	0,07
Largura foliar (mm)	7,89	3	0,001*
Comprimento foliar (mm)	0,16	3	0,91
Área foliar (mm ²)	2	3	0,15

A variação na altura dos indivíduos dessa espécie apresentou relação significativa ($p < 0,05$) com quase todas as variáveis limnológicas, exceto o oxigênio dissolvido (Tabela 2). Observou-se que a temperatura, condutividade elétrica e profundidade apresentaram uma correlação negativa com este atributo morfológico. Dessa forma, podemos inferir que as alterações dessas variáveis podem ter

contribuído para criação de condições que proporcionassem um aumento na altura da parte aérea.

Segundo Cancian (2007) a disponibilidade de luz e a temperatura da água são duas variáveis que influenciam diretamente o crescimento de macrófita aquáticas, exercendo grande influência nas adaptações morfológicas e fisiológicas das espécies. As plantas são capazes de responder a estas variáveis ambientais com alterações na altura, forma e tamanho da folha (GREULICH; BARRAT-SEGRETAIN, BORNETTE, 2001). Corroborando com os resultados encontrados no presente trabalho.

Tabela 2 – Resultado da correlação dos atributos morfológicos de *Azolla pinnata* R. Br. com as variáveis limnológicas.

Traços morfológicos	Variáveis limnológicas					
	pH	Oxigênio dissolvido (mg/L)	Temperatura (°C)	Condutividade elétrica (µS)	Transparência (m)	Profundidade (m)
Altura (cm)	N = 22 r = 0,66 p < 0,05	-	N = 22 r = -0,65 p < 0,05	N = 22 r = -0,46 p < 0,05	N = 22 r = 0,49 p < 0,05	N = 22 r = -0,67 p < 0,05
Comprimento radicular (mm)	N = 22 r = 0,16 p < 0,05	-	N = 22 r = -0,54 p < 0,05	N = 22 r = -0,36 p < 0,05	N = 22 r = 0,42 p < 0,05	N = 22 r = -0,55 p < 0,05
Largura foliar (mm)	N = 22 r = -0,73 p < 0,05	-	N = 22 r = 0,66 p < 0,05	N = 22 r = 0,61 p < 0,05	-	N = 22 r = 0,75 p < 0,05
Comprimento foliar (mm)	-	N = 16 r = -0,54 p < 0,05	-	-	-	-
Área foliar (mm ²)	N = 22 r = -0,47 p < 0,05	-	-	N = 22 r = 0,43 p < 0,05	-	N = 22 r = 0,47 p < 0,05

A largura foliar não apresentou diferença entre as três primeiras amostragens. Entretanto, verificou-se uma diminuição significativa no período de junho de 2017, estando relacionada com as variações ambientais que ocorreram nesse período. Este traço foliar se correlacionou positivamente com a temperatura, condutividade elétrica e profundidade.

Para algumas espécies, a diminuição de traços foliares ocorre em condições de baixa luminosidade e temperatura, sendo geralmente acompanhada por incremento do número de indivíduos e área foliar (HARAGUCHI, 1993). Os resultados encontrados no presente estudo, indicam que a área foliar apresentou comportamento semelhante ao da temperatura da água, sendo observado uma redução significativa nesse traço e na temperatura em junho de 2017. Está bem relatado na literatura a

influência da temperatura da água em traços foliares de macrófitas aquáticas (BARKO; SMART, 1981; HARAGUCHI, 1993; CANCIAN, 2007), dessa forma podemos sugerir que essa variável ambiental possa ter influenciado a resposta desse traço foliar.

Entretanto, é importante considerar o efeito das outras variáveis ambientais, considerando que existe uma interação entre elas, influenciando a expressão das respostas plásticas. De acordo com Macedo (2015) a troca de íons com o substrato permite inferir sobre a ocorrência e o desenvolvimento estrutural dos indivíduos como a altura e o tamanho da área foliar, uma vez que as plantas aquáticas absorvem nutrientes tanto da água através de estruturas como folhas e pecíolos quanto do substrato por meio do sistema radicular. Corroborando com a relação observada entre a condutividade elétrica e os traços foliares (largura e área foliar) de *A. pinnata* (Tabela 2).

É importante destacar que a variação da profundidade da água exerceu uma forte influência na morfologia da planta. Mudanças no nível da água são citadas como forte indutor de respostas plásticas (DEMETRIO; BARBOSA; COELHO, 2014). Dessa forma podemos sugerir que *A. pinnata* apresenta uma grande plasticidade fenotípica, sendo capaz de responder as alterações limnológicas, possivelmente causadas pela variação da vazão.

Para *E. crassipes*, os traços comprimento foliar e comprimento do pecíolo diferiram estatisticamente entre os anos (Tabela 3). Sendo verificado um aumento desses traços em junho de 2017 (Tabela 11). Estruturas como comprimento de folhas e pecíolo, além de biomassa podem sofrer mudanças em resposta a variação do nível da água (DEMETRIO; BARBOSA; COELHO, 2014). Segundo estes autores, plantas aquáticas geralmente investem na parte aérea quando o nível da água está aumentando. Entretanto, essa relação não foi observada para *E. crassipes* no presente estudo, onde se observou aumento em estruturas vegetativas (traços foliares: comprimento do pecíolo e comprimento foliar) com a redução do nível da água.

Segundo Esteves (2011) ambientes lênticos apresentam condições ideais para o desenvolvimento da vegetação aquática. Dessa forma, o alongamento do comprimento foliar e do pecíolo podem estar relacionado com as mudanças nas características do ambiente lótico (rio São Francisco).

Tabela 3 - Resultado da análise de variância dos traços morfológicos de *Eichhornia crassipes* Solms. Os dados com asterisco apresentaram diferenças significativas entre os períodos amostrados.

Traços morfológicos	<i>Eichhornia crassipes</i>		
	F	GL	p
Altura (cm)	2,34	3	0,11
Comprimento radicular (mm)	0,33	3	0,80
Largura foliar (mm)	0,48	3	0,70
Comprimento foliar (mm)	6,33	3	0,001*
Área foliar (mm ²)	0,48	3	0,70
Comprimento do pecíolo (mm)	2,79	3	0,05*

O comprimento foliar de *E. crassipes* apresentou correlação negativa com todas as variáveis limnológicas (Tabela 4). Esse resultado pode ser uma evidência dos possíveis efeitos que variações ambientais possam causar no comprimento foliar. Estudos realizados com essa espécie relatam que *E. crassipes* possui grande capacidade de responder a alterações no ambiente e em atributos ecológicos (exemplo: densidade) o que pode estar relacionado com a sua biologia (ANDRADE; BARBOSA; DEMETRIO, 2013). Por ser uma espécie invasora, podemos sugerir que esta possui uma maior facilidade de ajuste a novas condições ambientais. Segundo Fasoli (2015) espécies invasoras possui maior plasticidade fenotípica do que espécies nativas, o que aumenta o seu potencial invasor.

Tabela 4 – Resultado da correlação dos atributos morfológicos de *Eichhornia crassipes* Solms. com as variáveis limnológicas.

Traços morfológicos	Variáveis limnológicas					
	pH	Oxigênio dissolvido (mg/L)	Temperatura (°C)	Condutividade elétrica (µS)	Transparência (m)	Profundidade (m)
Altura (cm)	N = 22 r = 0,47 p < 0,05	-	N = 22 r = 0,47 p < 0,05	-	-	N = 22 r = 0,46 p < 0,05
Comprimento radicular (mm)	-	-	-	-	-	-
Largura foliar (mm)	-	-	-	-	-	-
Comprimento foliar (mm)	N = 44 r = -0,42 p < 0,05	N = 44 r = -0,53 p < 0,05	N = 44 r = -0,50 p < 0,05	N = 44 r = -0,55 p < 0,05	N = 44 r = -0,34 p < 0,05	N = 44 r = -0,50 p < 0,05
Área foliar (mm ²)	-	-	-	-	-	-
Comprimento do pecíolo (mm)	-	-	-	N = 44 r = -0,31 p < 0,05	-	-

De acordo com Mansor (1998) existe uma relação entre a concentração de oxigênio e traços foliares, devido a presença de estruturas especializadas (aerênquimas) que são responsáveis pelo transporte de gases através das folhas, a fim de prover oxigênio necessário as raízes. O transporte de oxigênio a partir de folhas em macrófitas aquáticas é balanceado pela respiração das raízes submersas. Dessa forma, podemos inferir que devido a diminuição da concentração de oxigênio dissolvido e a demanda de oxigênio pelo sistema radicular influenciaram na expressão do comprimento foliar.

Alguns estudos relatam o efeito da temperatura e da luminosidade em traços foliares de *E. crassipes*. De acordo com Mukuno (1984), quando indivíduos dessa espécie estão sob condições de alta intensidade luminosa e temperatura ocorre um alongamento das suas folhas. Essa resposta também pode ser observada quando a planta está enraizada no substrato, o que provavelmente está relacionado ao maior acesso aos recursos que estão disponíveis no solo (MUKUNO, 1984).

Em *Salvinia auriculata* Aubl todos os traços foliares apresentaram variação significativa (Tabela 5). Como já mencionamos no texto, traços foliares e biomassa das macrófitas são fortemente relacionados com variação do nível da água, sendo essa relação direta (ESTEVES 2011; WETZEL, 2001) o que corrobora com os resultados encontrados para *S. auriculata* (Tabela 6).

Tabela 5 - Resultado da análise de variância dos traços morfológicos de *Salvinia auriculata* Aubl. Os dados com asterisco apresentam diferenças significativas entre os períodos amostrado.

Traços morfológicos	<i>Salvinia auriculata</i>		
	F	GL	p
Altura (cm)	1,18	3	0,339
Comprimento radicular (mm)	1,205	3	0,33
Largura foliar (mm)	24	3	0,00000004*
Comprimento foliar (mm)	24,54	3	0,000000003*
Área foliar (mm ²)	11,28	3	0,00001*

A correlação evidenciou relação direta entre todos os traços foliares (largura, comprimento e área foliar) de *S. auriculata* com as variáveis temperatura, condutividade elétrica, transparência e profundidade (Tabela 6). A variação dos atributos foliares foram proporcionais as alterações nas variáveis limnológicas. Com

isso, podemos afirmar que a redução dos traços foliares de *S. auriculata* se deve as mudanças que ocorreram nas características limnológicas do rio em junho de 2017.

Tabela 6 – Resultado da correlação dos atributos morfológicos de *Salvinia auriculata* Aubl. com as variáveis limnológicas.

Traços morfológicos	Variáveis limnológicas					
	pH	Oxigênio dissolvido (mg/L)	Temperatura (°C)	Condutividade elétrica (µS)	Transparência (m)	Profundidade (m)
Altura (cm)	N = 22 r = 0,60 p < 0,05	-	-	N = 22 r = 0,50 p < 0,05	-	-
Comprimento radicular (mm)	-	N = 16 r = 0,72 p < 0,05	-	-	-	-
Largura foliar (mm)	-	-	N = 44 r = 0,80 p < 0,05	N = 44 r = 0,69 p < 0,05	N = 44 r = 0,51 p < 0,05	N = 44 r = 0,76 p < 0,05
Comprimento foliar (mm)	-	-	N = 44 r = 0,80 p < 0,05	N = 44 r = 0,67 p < 0,05	N = 44 r = 0,51 p < 0,05	N = 44 r = 0,77 p < 0,05
Área foliar (mm ²)	-	-	N = 44 r = 0,67 p < 0,05	N = 44 r = 0,58 p < 0,05	N = 44 r = 0,43 p < 0,05	N = 44 r = 0,62 p < 0,05

As estruturas envolvidas na aquisição de recursos frequentemente mostram padrões funcionais de plasticidade, como aumento da biomassa da raiz em solos pobres em nutrientes ou aumento da área foliar em condições de baixa luminosidade (BOSCHILIA, THOMAZ; PIANA, 2006). Estes autores, através de observações realizadas “in situ” com a espécie *Salvinia hergozii* (de La Sota) sugerem que a morfologia foliar apresenta grande plasticidade fenotípica. Estudos realizados com espécies do gênero *Salvinia* focam principalmente em como as espécies respondem a diferentes densidades, sendo escassos os trabalhos que relatem a influência de variáveis limnológicas na morfologia das espécies (BOSCHILIA, THOMAZ; PIANA, 2006; FARIAS, 2011).

Segundo Farias (2011) *S. auriculata* apresenta elevada plasticidade morfológica em diferentes condições ambientais. Em seu estudo o autor verificou que o comprimento foliar, a largura foliar e o número de folhas variaram sazonalmente em dois ambientes distintos, sendo verificado maiores valores no período chuvoso e menores no período seco. Entretanto, é importante destacar que nesse estudo as variáveis limnológicas não foram mensuradas, sendo a plasticidade fenotípica da planta influenciada pela presença de outras formas biológicas de macrófitas aquáticas e pela sazonalidade.

Para *Oxycaryum cubense* (Poepp. & Kunth) Lye, a altura dos indivíduos, comprimento radicular e comprimento foliar diferiram significativamente entre os períodos estudados (Tabela 7).

Tabela 7 - Resultado da análise de variância dos traços morfológicos de *Oxycaryum cubense* (Poepp. & Kunth) Lye. Os dados com asterisco apresentam diferenças significativas entre os períodos amostrado.

Traços morfológicos	<i>Oxycaryum cubense</i>		
	F	GL	p
Altura (cm)	6,44	3	0,007*
Comprimento radicular (mm)	5,1	3	0,016*
Largura foliar (mm)	0,78	3	0,51
Comprimento foliar (mm)	4,99	3	0,006*
Área foliar (mm ²)	0,36	3	0,78

A altura, o comprimento radicular e o comprimento foliar apresentaram correlação negativa com a temperatura, condutividade elétrica e transparência (Tabela 8). Estudos mostram que macrófitas aquáticas emergentes estão sujeitas à variação do nível da água (ARAÚJO et al. 2012). De maneira geral, a biomassa e traços morfológicos aéreos de macrófitas emergentes (ex. comprimento da folha), apresentam relação direta com a profundidade da água (ALMEIDA, 2012; BARBOSA, 2012). Apesar da literatura relatar a grande influência do nível da água na morfologia de espécies emergentes, essa relação não foi observada no presente estudo. Pois nenhum dos traços morfológicos mensurados se relacionaram com a profundidade da água.

Tabela 8 – Resultado da correlação dos atributos morfológicos de *Oxycaryum cubense* (Poepp & Kunth) Lye com as variáveis limnológicas.

Traços morfológicos	Variáveis limnológicas					
	pH	Oxigênio dissolvido (mg/L)	Temperatura (°C)	Condutividade elétrica (µS)	Transparência (m)	Profundidade (m)
Altura (cm)	N = 16 r = 0,77 p < 0,05	-	N = 16 r = -0,70 p < 0,05	N = 16 r = -0,70 p < 0,05	N = 16 r = -0,79 p < 0,05	-
Comprimento radicular (mm)	N = 16 r = 0,73 p < 0,05	-	N = 16 r = -0,64 p < 0,05	N = 16 r = -0,64 p < 0,05	N = 16 r = -0,76 p < 0,05	-
Largura foliar (mm)	-	-	-	-	-	-
Comprimento foliar (mm)	N = 32 r = 0,58 p < 0,05	-	N = 32 r = -0,70 p < 0,05	N = 32 r = -0,65 p < 0,05	N = 32 r = -0,53 p < 0,05	-
Área foliar (mm ²)	-	-	-	-	-	-

Entretanto, a redução de vazão em ecossistemas fluviais, favorece a formação de ambientes semi-lóticos ou lênticos que, conseqüentemente, intensificam a colonização e desenvolvimento de macrófitas emergentes (ESTEVES 2011). Dessa forma, a diminuição da profundidade proveniente da redução da vazão do rio São Francisco pode ter proporcionado condições ideais para o aumento da biomassa de *O. cubense*, expressos no crescimento de suas estruturas vegetativas (sistema radicular e traços foliares).

O comprimento foliar apresentou relação com a temperatura da água (Tabela 8). Essa variável está diretamente relacionada com o desenvolvimento da vegetação aquática (SAKUMA, 2008). Dessa forma, alterações na temperatura podem influenciar a expressão de traços foliares como forma e tamanho (GREULICH; BARRAT-SEGRETAIN; BORNETTE, 2001), corroborando com os resultados encontrados para *O. cubense*.

O sistema radicular é considerado um traço altamente plástico (POTTERS et al., 2009). O comprimento das raízes tem sido considerado uma importante propriedade para avaliar o grau de ajuste da planta as novas condições ambientais (XIE et al., 2006). O alongamento da raiz promove um aumento na superfície da área de absorção, melhorando a capacidade de captar recursos do solo (SULTAN, 2003), estimulando a produção de biomassa (NAJAR; KHAN; HAI, 2015). Dessa forma, o crescimento radicular de *O. cubense* pode ter estimulado a sua produção de biomassa e, conseqüentemente, interferido no crescimento do comprimento foliar.

A espécie *Potamogeton pusillus* L. apresentou ocorrência restrita ao ano de 2017. A redução do nível da água, bem como, diminuição da sua velocidade e a elevada transparência observada em fevereiro, pode ter proporcionado condições ideais para o aparecimento de espécies submersas (PITELLI, 2006). Durante o período amostrado ocorreram variações na transparência da água, e, conseqüentemente, flutuações na irradiação subaquática. Nessas condições, macrófitas aquáticas submersas necessitam de um contínuo ajuste fisiológico (COLARES et al., 2007).

A largura foliar de *P. pusillus* variou significativamente no período amostrado (Tabela 9). Sendo verificado uma redução em junho de 2017(Tabela 11). Essa resposta pode estar relacionada com a baixa transparência da água observada nesse período. Diversos estudos mostram que traços foliares apresentam maior crescimento sob condições de baixa radiação subaquática (COLARES et al., 2007; HUBER et al.,

2012; SULTAN, 2003), entretanto, nesta situação as espécies podem apresentar respostas plásticas distintas (SULTAN, 2003), podendo ocorrer crescimento ou redução dos traços foliares, corroborando com os resultados encontrados no presente estudo.

Tabela 9 - Resultado da análise de variância dos traços morfológicos de *Potamogeton pusillus* L. Os dados com asterisco apresentam diferenças significativas entre os períodos amostrados.

Traços morfológicos	<i>Potamogeton pusillus</i>		
	F	GL	p
Altura (cm)	7,973	1	0,106
Comprimento radicular (mm)	3,522	1	0,201
Largura foliar (mm)	14,06	1	0,009*
Comprimento foliar (mm)	1,241	1	0,301
Área foliar (mm ²)	4,553	1	0,076

Apesar de apenas a largura foliar ter apresentado variação significativa durante o período estudado, verificou-se que a maioria dos traços morfológicos (altura, largura foliar e comprimento foliar) apresentaram relações com as variáveis limnológicas (Tabela 10).

Tabela 10 – Resultado da correlação dos atributos morfológicos de *Potamogeton pusillus* L. com as variáveis limnológicas.

Traços morfológicos	Variáveis limnológicas					
	pH	Oxigênio dissolvido (mg/L)	Temperatura (°C)	Condutividade elétrica (µS)	Transparência (m)	Profundidade (m)
Altura (cm)	N = 6 r = 0,87 p < 0,05	-	N = 6 r = 0,87 p < 0,05	N = 6 r = 0,88 p < 0,05	N = 6 r = 0,86 p < 0,05	-
Comprimento radicular (mm)	-	-	-	-	-	-
Largura foliar (mm)	N = 12 r = 0,85 p < 0,05	-	N = 12 r = 0,78 p < 0,05	N = 12 r = 0,84 p < 0,05	N = 12 r = 0,80 p < 0,05	N = 12 r = 0,85 p < 0,05
Comprimento foliar (mm)	-	-	-	-	-	-
Área foliar (mm²)	N = 12 r = 0,68 p < 0,05	-	N = 12 r = 0,63 p < 0,05	N = 12 r = 0,68 p < 0,05	N = 12 r = 0,65 p < 0,05	N = 12 r = 0,68 p < 0,05

A radiação subaquática é uma das principais variáveis abióticas que determinam a distribuição e o crescimento de macrófitas aquáticas submersas, estando relacionada com a profundidade e transparência da água (LYCARIÃO, 2011). Essa relação fica evidente ao se observar que praticamente todos os traços

morfológicos de *P. pusillus* apresentaram correlação positiva com a transparência da água (Tabela 10).

Por ser uma espécie submersa a maioria dos estudos realizados com representantes do gênero *Potamogeton* apresentam como principal temática a análise do comportamento da morfologia da espécie em relação ao fotoperíodo e temperatura (SULTANA et al., 2010; COLARES, et al., 2007). Esta última variável, consiste em um dos fatores que determinam a velocidade dos processos metabólicos, sendo considerada importante no controle do crescimento e da atividade fotossintética das plantas aquáticas (LYCARIÃO, 2011).

Várias espécies de macrófitas aquáticas submersas apresentam ampla tolerância às variações ambientais (como por exemplo *Egeria densa* Planch.), sendo esse comportamento bastante relatado para espécies invasoras (LYCARIÃO, 2011). Essa capacidade de resposta dessas espécies confirmam os resultados encontrados para *P. pusillus*.

Os traços morfológicos de *Cayaponia podantha* Cogn. *Nymphoides humboldtiana* (Kunth) Kuntze não variaram durante o período estudado. Para essas espécies os atributos morfológicos não apresentaram relação com nenhuma das variáveis limnológicas analisadas. Para *C. podantha* podemos sugerir a ausência de relação com variáveis ambientais pode estar relacionado ao seu hábito epífito, tornando-a menos vulnerável a variações limnológicas.

Em síntese, as respostas morfológicas observadas neste estudo demonstraram que as espécies estudadas apresentaram grande plasticidade morfológica em resposta a variação temporal das variáveis limnológicas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A maioria das macrófitas aquáticas estudadas, exceto *C. podantha* e *N. humboldtiana* apresentaram capacidade de se ajustar a diferentes condições ambientais através de alterações morfológicas. Em síntese, os traços funcionais das macrófitas aquáticas variaram correlacionados às condições ambientais, possivelmente vinculadas a variações na vazão, que no caso do rio São Francisco é artificial.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERT, C. H. et al. When and how should intraspecific variability be considered in trait-based plant ecology? **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 13, p. 217 – 225, sep. 2011.

ALI, M. M.; MURPHY, K. J.; ABERNETHY, V. J. Macrophyte functional variables *versus* assemblages as predictors of trophic status in flowing water. **Hydrobiologia**, Egypt, v. 415, p. 131-138, 1999.

ALMEIDA, G. W. **Aspectos ecológicos da comunidade de macrófitas aquáticas na represa do Funil, MG: Perspectiva para manejo**. 2012. 52 f. Tese (Ecologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

ANDRADE, E. A.; BARBOSA, M. E. A.; DEMETRIO, G. R. Density-dependent morphological plasticity and trade-offs among vegetative traits in *Eichhornia crassipes* (Pontederiaceae). **Acta Amazonica**, v. 43, n. 4, p. 455 – 460, 2013.

ARAÚJO, E. S. et al. Riqueza e diversidade de macrófitas aquáticas em mananciais da Caatinga. **Diálogos e Ciência**, v. 32, p. 229 – 233, dez. 2012.

BARBOSA JÚNIOR, A. R. Elementos de Hidrologia Aplicada. 2012. Disponível em: http://www.academia.edu/23526934/Elementos_de_Hidrologia_Aplicada. Acesso em: 30/07/2017.

BARBOSA, M. E. A. **Estratégias de história de vida de *Sagittaria montevidensis* (Alismataceae) em bancos de sedimentos na represa do Funil, MG**. 2012. 95 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) — Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

BARKO, J. W.; SMART, M. R. Comparative influences of light and temperature on the growth and metabolism of selected submersed freshwater macrophytes. **Ecological Monographs**. v. 51, n.2, p. 219–235, 1981.

BOSCHILIA, S. M.; THOMAZ, S. M.; PIANA, P. A. Plasticidade morfológica de *Salvinia herzogii* (de La Sota) em resposta à densidade populacional. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, Maringá, v. 28, n. 1, p. 35 – 39, 2006.

BOUCHARD, V. et al. Effects of macrophyte functional group richness on emergent freshwater wetland functions. **Ecology**, United States, v. 88, n. 11, nov. 2007.

BRUNDU, G. Plant invaders in European and Mediterranean inland waters: profiles, distribution, and threats. **Hydrobiologia**, v. 746, p. 61-79, 2015.

BUENAGA, F.V. A. de S. C. et al. Impactos ambientais do trecho de vazões reduzidas em hidroelétrica. **Cadernos de Energia**, Rio de Janeiro, n. 4, p. 7 – 36, abr. 2017.

BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINO, M. B. da. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté v. 8, n. 1, p.186 – 205, 2013.

CAFFREY, J. et al. **Biology, Ecology and Management of Aquatic Plants**. Springer Netherlands, 1999. v. 147, (Developments in Hydrobiology).

CANCIAN, L. F. Crescimento das macrófitas aquáticas flutuantes *Pistia stratiotes*, e *Salvinia molesta* em diferentes condições de temperatura e fotoperíodo. 2007. 53 p. Dissertação (Aquicultura) — Universidade Estadual Paulista, São Paulo.

CARLUCCI, M. B.; DEBASTIANI, V. J.; PILLAR, V. D.; DUARTE, L. D. S. Between and within species trait variability and the assembly of sapling communities in forest patches. **Journal of Vegetation Science**, v. 26, p. 21 – 31, 2015.

CASTILLO, J. M. et al. Phenotypic plasticity of invasive *Spartina densiflora* (Poaceae) along a broad latitudinal gradient on the Pacific Coast of North America. **American Journal of Botany**, v. 101, n. 3, p. 448 – 458, marc. 2014.

CASTRO, W. A. C. de. **Ecologia da invasora *Hedychium coronarium* J. konig (Zingiberaceae)**. 2014. 87 f. Tese (Ecologia e Recursos Naturais) — Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2014.

CHAPIN, F. S. et al. Consequences of changing biodiversity. **Nature**, v. 405, p. 234-242, may. 2000.

CHESF. Redução temporária da vazão mínima do rio São Francisco para 700 m³/s, a partir da UHE Sobradinho. **Relatório mensal de acompanhamento**. 2017. 7 p.

COELHO, F. F.; LOPES, F. S.; SPERBER, C. F. Density-dependent morphological plasticity in *Salvinia auriculata* Aubl. **Aquatic Botany**, Mato Grosso, v. 66, p. 273 – 280, aug. 2000.

COLARES, I. G. et al. Efeito da temperatura e do fotoperíodo no crescimento e nas respostas fotossintéticas de *Potamogeton pectinatus* L. (Potamogetonaceae), em cultivo experimental. **Estudos de Biologia**, v. 29, p. 297 – 306, dez. 2007.

COOK, S. A.; JOHNSON, M. P. Adaptation to Heterogeneous Environments. I. Variation in heterophylly in *Ranunculus flammula* L. **Evolution**, v. 22, n. 3, p. 496 – 516, sep. 1968.

CRUZ, R. C. **Prescrição de vazão ecológica: aspectos conceituais e técnicos para bacias com carência de dados**. 2005. 135 f. Tese (Ecologia) - Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

DEMETRIO, G. R.; BARBOSA, M. E. A.; COELHO, F. F. Water level-dependent morphological plasticity in *Sagittaria montevidensis* Cham. and Schl. (Alismataceae). **Brazilian Journal of Biology**, Minas Gerais, v. 74, n. 3, p. 199 – 206, nov. 2014.

ELETROSUL. Monitoramento da Qualidade de Água Superficial. Reservatório da Usina Hidrelétrica Passo São João. **Relatório de acompanhamento**. Rio Grande do Sul, 2014. 155 p.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciencia, 1998. 602 p.

ESTEVES, F. de A. **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciencia, 2011. 826 p.

FARIAS, D. L. D. S. **Influência de diferentes formas biológicas de macrófitas no desenvolvimento de *Salvinia auriculata* Aubl. em três corpos aquáticos na região metropolitana de João Pessoa, PB**. 2011. 46 f. Monografia (Ciências Biológicas) — Universidade Estadual da Paraíba, João Pessoa, 2011.

FASOLI, J. V. B. **Plasticidade fenotípica de *Hydrilla verticillata* em resposta à resistência biótica e ao carbono inorgânico**. 2015. 35 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais) — Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2015.

FRANÇA, F. et al. Flora vascular de açudes de uma região do semi-árido da Bahia, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v.17, n. 4, p. 549-559, 2006.

FRANZEN, M. **Dinâmica do fósforo na interface água-sedimento em reservatórios**. 2009. 244 f. Tese (Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

GREULICH, S.; BARRAT-SEGRETAIN, M.; BORNETTE, G. Basal rosette or floating leaf canopy – an example of plasticity in a rare aquatic macrophyte. **Hydrobiologia**, n. 448, p. 53 – 59, jan. 2001.

GRIME, J. P. Benefits of plant diversity to ecosystems: immediate, filter and founder effects. **Journal of Ecology**, v.86, p. 902–910, dec. 1998.

HARAGUCHI, A. Phenotypic and Phenological plasticity of an Aquatic Macrophyte *Menyanthes trifoliata* L. **Journal of Plant Research**, v. 106, p. 31 – 35, 1993.

HENRY, R. et al. Variação espacial e temporal da produtividade primária pelo fitoplâncton na represa de Jurumirim (Rio Paranapanema, SP). **Revista Brasileira de Biologia**. São Paulo, v. 58, n.4, p. 571-590. nov. 1998.

HUBER, H. et al. Plasticity as a plastic response: how submergence-induced leaf elongation in *Rumex palustris* depends on light and nutrient availability in its early life stage. **New Phytologist**, v. 194, p. 572 – 582, jan. 2012.

KOBAYASHI, J. T. **Nitrogênio ou fósforo como fator limitante para o crescimento de *Eichhornia crassipes* Mart (Solms.) na planície de inundação do alto Rio Paraná? Evidências obtidas em mesocosmos**. 2006. 31 f. Dissertação (Ciências Ambientais) — Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2006.

LYCARIÃO, T. A. **Relação entre macrófitas aquáticas flutuantes e submersas em um ecossistema aquático de João Pessoa – PB, Brasil**. 2011. 60 f. Monografia (Ciências Biológicas) — Universidade Estadual da Paraíba, João Pessoa, 2011.

LUBCHENCO, J.; CUBIT, J. Heteromorphic life histories of certain marine algae as adaptations to variations in herbivory. **Ecology**, v. 61, n. 3, p. 676-87, 1980.

MACEDO, J. C. A. **Distribuição dos grupos funcionais de macrófitas aquáticas em áreas alagadas costeiras do Nordeste Brasileiro**. 2015. 40 f. Dissertação (Ecologia e Recursos Naturais) — Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

MAL, T. K.; LOVETT-DOUST, J. Phenotypic plasticity in vegetative and productive traits in an invasive weed, *Lythrum salicaria* (Lythraceae), in response to soil moisture. **American Journal of Botany**, Ontario, v. 92, n. 5, p. 819 – 825, may. 2005.

MANSOR, M. T. C. **Uso de leito de macrófitas aquáticas no tratamento de água residuárias**. 1998. 136 p. Dissertação (Engenharia agrícola) — Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

MARTINS, A.T.; PITELLI, R. A. Efeitos do manejo de *Eichhornia crassipes* sobre a qualidade da água em condições de mesocosmos. **Planta Daninha**, Viçosa, v.23, n.2, p.233-242, jun. 2005.

MEDEIROS, P. C.; SOUZA, F. A. S.; RIBEIRO, M. M. R. Aspectos conceituais sobre o regime hidrológico para a definição do hidrograma ambiental. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 6, n. 1, p. 131-147, 2011.

MEIRINHO, P. do A. **Compartimentalização da comunidade zooplanctônica em um reservatório tropical urbano eutrofizado (Braço Rio Grande, Complexo Billings, SP)**. 2010. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia: Ecossistemas Terrestres e Aquáticos) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MENDONÇA, A. A. et al. **A disponibilidade de recursos nutricionais influencia a diversidade funcional de macrófitas?**. 2010. Disponível em: http://pdbff.inpa.gov.br/cursos/efa/livro/2010/pdf/varzea/relat_varzea_Orientado_4_edit.pdf. Acesso em: 30/07/2017.

MEYER, S. T.; FRANCESCHINELLI, E. V. Influência de variáveis limnológicas sobre a comunidade das macrófitas aquáticas em rios e lagoas da Cadeia do Espinhaço, Minas Gerais, Brasil. **Rodrigésia**, v. 62, n. 4, p. 743 – 758, 2011.

MILHOMENS, L. B. S. et al. Histórico das publicações sobre plasticidade fenotípica de macrófitas aquáticas. In: XIII Congresso de Ecologia e III International Symposium of Ecology and Evolution. 2017, Viçosa. **Anais...** Viçosa, Centro de Convenções Fernando Sabino, 2017.

MOURA JÚNIOR, E. G. et al. Ação do gradiente longitudinal (Rio-Barragem) na similaridade das comunidades de macrófitas aquáticas do reservatório de Sobradinho. **Rodrigésia**, Recife, v. 62, n. 4, p. 731-742, 2011.

NAJAR, I. A.; KHAN, A. B.; HAI, A. Effect of macrophyte vermicompost on growth and productivity of brinjal (*Solanum melongena*) under field conditions. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 4, p. 73 – 83, mar. 2015.

NEVES, A. C. O. **Plasticidade morfológica, alometria e dinâmica populacional de *Echinodorus paniculatus* Micheli (Alismataceae) em resposta ao regime de seca e cheia do Pantanal, sub-regiões Miranda e Abrobal**. 2007. 88 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) — Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2007.

PEDRO, F.; MALTCHIK, L.; BIANCHINI JUNIOR, I. Hydrologic cycle and dynamics of aquatic macrophytes in two intermittent rivers of the Semi-arid region of Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 66, p. 575 – 585, may. 2006.

PEGORINI, E. S.; CARNEIRO, C.; ANDREOLI, C.V. 2005. Mananciais de abastecimento público. In: Andreoli, C.V.; Carneiro, C. (eds.). *Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados*. Sanepar/ Finep, Curitiba. p. 1-500.

PITELLI, R. L. D. C. M. **Abordagens multivariadas no estudo da dinâmica de comunidades de macrófitas aquáticas**. 2006. 60 f. Tese (Agronomia) — Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

PÔMPEO, M. L. M.; MOSCHINI-MONTECARLO, V. *Macrófitas aquáticas e perífiton, aspectos ecológicos e metodológicos*. São Carlos: RIMA, 2003. 137 p.

POTT, V. J.; POTT, A. **Plantas aquáticas do Pantanal**. 1. ed. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. 404 p.

POTTERS, G. et al. Different stresses, similar morphogenic responses: integrating a plethora of pathways. **Plant Cell and Environment**, v.32, p. 158–169, 2009.

SANTOS, V. C. dos; CONCEIÇÃO, M. P. da S.; FONTES, A. S. Comparação das alterações hidrológicas ocorridas nos rios Paraguaçu e Itapicuru – BA decorrentes das barragens de Bandeira de Melo e Pedras altas. In: XXI Simpósio brasileiro de recursos hídricos., 2015, Brasília. **Anais...** Brasília: Centro de Convenções Ulysses Guimarães, 2015. p. 1-8.

SANTOS, V. V. D. **Distribuição espacial e ecologia de macrófitas aquáticas no rio Ipojuca, Pernambuco, Brasil**. 2014. 71 f. Dissertação (Geografia) — Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

SAKUMA, T. **Biomassa e taxa de crescimento da macrófita aquática emergente *Scirpus Californicus* (C.A.Mey) Steud na margem Leste da lagoa do Peri (Ilha de Santa Catarina, SC Brasil)**. 2008. 36 f. Monografia (Ciências Biológicas) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

SALA, O. E.; PARTON, W. J.; JOYCE, L. A.; LAUENROTH, W. K. Primary production of the central grassland region of the United States. **Ecology**. v. 69, n.1, p. 40-45, feb. 1988.

SCHLICHTING, C. D. The evolution of phenotypic plasticity in plants. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 17, p. 667 – 693, 1986.

SCREMIN-DIAS, E. et al. **Nos jardins submersos da Bodoquena**. Guia para identificação de plantas aquáticas de Bonito e região. Campo Grande: UFMS, 1999. 160 p.

SULATANA, M. et al. Morphological plasticity of submerged macrophyte *Potamogeton wrightii* Morong under different photoperiods and nutrient conditions. **Chemistry and Ecology**, v. 26, n. 3, p. 223 – 232, 2010.

SULTAN, S. S. Phenotypic plasticity for plant development, function and life history. **Trends in Plant Science**, v. 5, n. 12, p. 537 – 542, dec. 2000.

SULTAN, S. E. Phenotypic plasticity in plants: a case study in ecological development. **Evolution & Development**, v.5, n.1, p. 25-33, dec. 2003.

THOMAZ, S. M.; CUNHA, E. R. The role of macrophytes in habitat structuring in aquatic ecosystems: methods of measurement, causes and consequences on animal assemblages' composition and biodiversity. **Acta Limnologica Brasiliensia**, Rio Claro, v.22, n. 2, p. 218-236, jun. 2010.

TURKINGTON, R. Plasticity in growth and patterns of dry matter distribution of two genotypes of *Trifolium repens* grown in different environments of neighbours. **Canadian Journal of Botany**, v. 61, n. 8, p. 2186 – 2194, aug. 1983.

UNESCO. **Estado da arte da vazão ecológica no Brasil e no mundo**. Produto 2. jun. 2007. 38 p.

VOGEL, S. "Sun leaves" and "shade leaves": Differences in convective heat dissipation. **Ecology**, v. 49, n. 6, p. 1203-1204. nov. 1968.

WESTOBY, M.; WRIGHT, I. J. Land-plant ecology on the basis of functional traits. **Trends in Ecology and Evolution**. Sydney, v. 21, n. 5, p. 261-263, may. 2006.

WETZEL, R. A. **Limnology lake and river ecosystems**. 3. ed. California: Academic Press, 2001. 1006 p.

XIE, Y. et al. Density-dependent root morphology and root distribution in the submerged plant *Vallisneria natans*. **Environmental and Experimental Botany**, v. 57, p. 195–200, 2006.

ZHONG, J. et al. Predicting changes in macrophyte community structure from functional traits in a freshwater lake: A test of maximum entropy model. **Plos One**, v. 10, n. 7, jul. 2015.

Tabela 11 - Média e desvio padrão dos traços morfológicos das espécies de macrófitas aquáticas identificadas entre os anos de 2016 e 2017.

Espécie	Número de indivíduos	Altura (cm)			
		fev/16	jun/16	fev/17	jun/17
<i>Azolla pinnata</i>	22	3,25 ± 2,07a	3,18 ± 1,79a	3,16 ± 1,96a	10,16 ± 6,65b
<i>Eichhornia crassipes</i>	22	515,11 ± 300,02a	445,79 ± 257,64a	586,15 ± 336,87 a	137,75 ± 15,22a
<i>Oxycaryum cubense</i>	16	40,73 ± 26,91a	41,98 ± 27,77a	44,15 ± 27,07a	154,25 ± 74,58b
<i>Cayaponia podantha</i>	12	105,16 ± 73,75a	105,16 ± 73,75a	96,18 ± 9,57a	81,38 ± 2,62a
<i>Salvinia auriculata</i>	22	2,71 ± 1,52a	8,86 ± 4,19b	2,77 ± 1,47a	7,79 ± 5,24b
<i>Potamogeton pusillus</i>	6	-	-	114,07 ± 26,04a	39,02 ± 22,87b
<i>Nymphoides humboldtiana</i>	5	102,34a	98,9 ± 13,80a	101,03 ± 47,87a	-

Tabela 11 – Continuação ...

Espécie	Número de indivíduos	Comprimento da raiz (mm)			
		fev/16	jun/16	fev/17	jun/17
<i>Azolla pinnata</i>	22	29,7 ± 18,61 a	31,88 ± 17,48a	29,7 ± 18,61a	73,85 ± 54,17a
<i>Eichhornia crassipes</i>	22	209,46 ± 130,85a	175,40 ± 115,72a	220,36 ± 138,52a	152,50 ± 69,46a
<i>Oxycaryum cubense</i>	16	163,61 ± 98,9a	162,41 ± 91,89a	169,78 ± 89,78a	497,5 ± 245,68b
<i>Cayaponia podantha</i>	12	-	-	-	-
<i>Salvinia auriculata</i>	22	26,14 ± 15,22a	30,89 ± 20,82a	26,78 ± 14,77a	44,45 ± 37,34a
<i>Potamogeton pusillus</i>	6			92,33 ± 14,82a	51,48 ± 26,97a
<i>Nymphoides humboldtiana</i>	5	308a	258,18 ± 79,75a	255,48 ± 72,31a	-

Tabela 11 – Continuação ...

Espécie	Número de indivíduos	Largura foliar (mm)			
		fev/16	jun/16	fev/17	jun/17
<i>Azolla pinnata</i>	22	36,83 ± 10,07a	36,28 ± 10,83a	39,46 ± 6,80a	12,08 ± 10,18b
<i>Eichhornia crassipes</i>	22	129,58 ± 90,69a	112,69 ± 67,05a	135,41 ± 102,8a	94,75 ± 40,69a
<i>Oxycaryum cubense</i>	16	17,01 ± 6,09a	17,28 ± 5,92a	19,25 ± 7,17a	11,28 ± 18,94a
<i>Cayaponia podantha</i>	12	58,30 ± 29,64a	61,95 ± 24,58a	58,36 ± 26,04a	50,80 ± 31,94a
<i>Salvinia auriculata</i>	22	35,59 ± 9,10a	37,35 ± 8,33a	35,60 ± 8,27a	9,65 ± 4,56b
<i>Potamogeton pusillus</i>	6	–	–	27,11 ± 11,93a	4,38 ± 2,17b
<i>Nymphoides humboldtiana</i>	5	158,12 ± 68,67a	143,51 ± 54,64a	159,66 ± 69,01a	–

Tabela 11 – Continuação ...

Espécie	Número de indivíduos	Comprimento foliar (mm)			
		fev/16	jun/16	fev/17	jun/17
<i>Azolla pinnata</i>	22	36,34 ± 10,76a	36,75 ± 10,81a	40,30 ± 7,18a	40,70 ± 23,59a
<i>Eichhornia crassipes</i>	22	130,30 ± 90,89a	112,39 ± 66,10a	146,34 ± 104,34a	277,15 ± 90,88b
<i>Oxycaryum cubense</i>	16	228,51 ± 99,73a	225,22 ± 97,25a	226,44 ± 95,88a	483,03 ± 276,68b
<i>Cayaponia podantha</i>	12	64,68 ± 29,01a	67,53 ± 24,57a	64,49 ± 25,20a	61,17 ± 34,94a
<i>Salvinia auriculata</i>	22	37,61 ± 7,68a	37,53 ± 9,05a	36,82 ± 8,25a	11,19 ± 4,35b
<i>Potamogeton pusillus</i>	6	–	–	68,95 ± 39,96a	42,22 ± 26,54a
<i>Nymphoides humboldtiana</i>	5	157,35 ± 68,74a	144,36 ± 54,57a	166,76 ± 67,98a	–

Tabela 11 – Continuação ...

Espécie	Número de indivíduos	Área foliar (mm ²)			
		fev/16	jun/16	fev/17	jun/17
<i>Azolla pinnata</i>	22	1427,79 ± 759,43a	1430,67 ± 789,32a	1630,66 ± 537, 44a	600,49 ± 558,54a
<i>Eichhornia crassipes</i>	22	24439, 54 ± 31620, 46a	16724,73 ± 17731, 67a	29549,28 ± 38891, 51a	29024,41 ± 17698, 90a
<i>Oxycaryum cubense</i>	16	4405,71 ± 3092,28a	4381,05 ± 3045,29a	4952,45 ± 3637,75a	8729,75 ± 18792, 01a
<i>Cayaponia podantha</i>	12	4412,25 ± 3627,55a	4636,00 ± 3212,44a	4337,28 ± 3171,27a	4060,47 ± 4137,21a
<i>Salvinia auriculata</i>	22	1399,87 ± 612,02a	1470,23 ± 661,37a	1373,35 ± 597,82a	124,27 ± 105,63b
<i>Potamogeton pusillus</i>	6	-	-	2198,65 ± 1850,57a	214,43 ± 186,15b
<i>Nymphoides humboldtiana</i>	5	27239,65 ± 21674, 38a	22952,94 ± 16921, 76a	28969,64 ± 22361,08a	-

Tabela 11 – Continuação ...

Espécie	Número de indivíduos	Comprimento do pecíolo (mm)			
		fev/16	jun/16	fev/17	jun/17
<i>Azolla pinnata</i>	22	-	-	-	-
<i>Eichhornia crassipes</i>	22	100,40 ± 61,99a	100,50 ± 61,03a	117,79 ± 76,25ab	200,38 ± 7,39b
<i>Oxycaryum cubense</i>	16	-	-	-	-
<i>Cayaponia podantha</i>	12	-	-	-	-
<i>Salvinia auriculata</i>	22	-	-	-	-
<i>Potamogeton pusillus</i>	6	-	-	-	-
<i>Nymphoides humboldtiana</i>	5	308,15a	257,57 ± 104,59a	275,67 ± 104,59a	-

