



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CAMPUS CARAÚBAS
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

MYRELLE YASMINE DE FREITAS CÂMARA

**INFLUÊNCIA TEMPORAL NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA E POTENCIAL
FITORREMEDIADOR DA *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms EM AMBIENTE
NATURAL**

CARAÚBAS - RN

2016

MYRELLE YASMINE DE FREITAS CÂMARA

**INFLUÊNCIA TEMPORAL NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA E POTENCIAL
FITORREMEIADOR DA *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms EM AMBIENTE
NATURAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador:

Prof. Dr. Daniel Freitas Freire Martins -
UFERSA

CARAÚBAS - RN

2016

C172 Câmara, Myrelle Yasmine de Freitas.
 INFLUÊNCIA TEMPORAL NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA E
 POTENCIAL FITORREMEIADOR DA *Eichhornia crassipes*
 (Mart.) Solms EM AMBIENTE NATURAL / Myrelle Yasmine
 de Freitas Câmara. - 2016.
 85 f. : il.

 Orientador: Daniel Freitas Freire Martins.
 Co-orientador: André Moreira de Oliveira.
 Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2016.

 1. Macrófitas aquáticas. 2. Rio Apodi/Mossoró. 3. Agente
Fitorremediador. 4. Fator de Translocação. 5. Fator de
Bioacumulação. I. Martins, Daniel Freitas Freire, orient. II. Oliveira,
André Moreira de, co-orient. III. Título.

MYRELLE YASMINE DE FREITAS CÂMARA

**INFLUÊNCIA TEMPORAL NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA E POTENCIAL
FITORREMEDIADOR DA *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms EM AMBIENTE
NATURAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA, Campus Caraúbas para a obtenção do
título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

APROVADO EM: 23 / 05 / 2016

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Daniel Freitas Freire Martins - UFERSA
Presidente


Prof. Me. André Moreira de Oliveira - UFERSA
Primeiro Membro


Profª. Drª. Pollyanna Freire Montenegro Agra - UFERSA
Segundo Membro

Aos meus pais, pelo amor, incentivo e apoio,
sem vocês nada disso seria possível!

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer, em primeiro lugar, a Deus, por ser essencial em minha vida, pela força e coragem durante toda esta longa caminhada.

A meu professor e orientador Daniel Freitas Freire Martins pela paciência na orientação e incentivo para a realização deste trabalho. Eu posso dizer que minha formação, inclusive pessoal, não teria sido a mesma sem a sua pessoa.

Ao meu professor e co-orientador André Moreira de Oliveira, por toda confiança, compreensão, amizade e pela ajuda.

Aos meus pais, Cristóvão Câmara Tôres e Marilsa Paulina de Freitas que sempre me dão apoio e não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa.

Ao meu irmão, Luis Antônio Tôres Neto, meu oposto mais próximo. Quero que sempre compartilhem nossas vitórias e que nos ajudemos nos momentos difíceis.

A equipe do laboratório de Química da UERN, sempre acolhedores e com disponibilidade de ajudar nas análises dos resultados deste trabalho.

A todos os professores da UFRSA do Curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia, que foram muito importantes na minha vida acadêmica.

Aos meus colegas de curso, por estarem juntos comigo nesta caminhada, compartilhando alegrias, angústias e aprendizados. Somos mais que vencedores.

A todos os meus amigos, por todo incentivo, apoio, conselhos.

Ao Grupo de Pesquisa em Química Ambiental e Tecnológica, pelo incentivo durante todo o trabalho, tanto nessa pesquisa, quanto no cotidiano.

E agradeço, particularmente, a todos que me ajudaram direta ou indiretamente na realização da construção deste trabalho.

A todos, muito obrigada!

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”

(Charles Chaplin)

RESUMO

Nos últimos anos, vem ocorrendo uma grande preocupação dos efeitos que os poluentes orgânicos e inorgânicos possam ter sobre a saúde dos seres vivos, pois a crescente industrialização tem aumentado significativamente a liberação e a concentração de compostos químicos potencialmente ofensivos na biosfera. Por esse motivo, aumenta o interesse por técnicas remediadoras a fim de recuperar total ou parcialmente os ambientes impactados, em especial, pela ação humana. Dentre elas, a fitorremediação possui um destaque devido à sua eficiência na descontaminação de ambientes eutrofizados e também devido ao seu baixo custo em relação às demais. Portanto, o presente trabalho teve como objetivo determinar a influência temporal no potencial fitorremediador de macrófitas aquáticas da espécie *Eichhornia crassipes* presentes no rio Apodi/Mossoró em relação aos teores de alguns elementos utilizando a técnica de Fluorescência de Raios-X. A coleta da água e das macrófitas aquáticas utilizadas foi feita no trecho do Rio Apodi/Mossoró que corta a cidade de Mossoró-RN. Inicialmente, preparou-se as amostras todas em um sistema de duplicata tanto para a água quanto para as plantas aquáticas. Em seguida, foi feita a análise de Fluorescência de Raio-X, no Laboratório de Química da UERN. Calculou-se o Fator de Translocação (FT) e o Fator Bioacumulação (FB), submetendo os dados a análise estatística de diferenciação das médias pelo teste de Tukey. A partir dos resultados obtidos, foram identificados teores de 28 elementos químicos tanto na água, quanto no tecido vegetal das plantas. Nas amostras de água, apenas 15 elementos foram quantificados com valores significativos. Com relação ao tecido vegetal da planta em análise, observou-se que a mesma sofreu uma influência temporal e fisiológica, onde os macronutrientes tenderam a se acumular mais nas folhas, enquanto que os micronutrientes se acumularam mais nas raízes. A *Eichhornia crassipes* apresentou uma grande facilidade em bioacumular nutrientes. Sendo assim, essa espécie apresenta um grande potencial fitorremediador para ser utilizada em estratégias de fitorremediação de ambientes naturais, independente do período do ano, em função das quantidades acumuladas em seu tecido.

PALAVRAS-CHAVE: Macrófitas aquáticas, aguapé, rio Apodi/Mossoró, agente fitorremediador, fator de translocação, fator de bioacumulação.

ABSTRACT

In the last years, it has come occurring a wide concert of the effects that the organic pollutants and inorganic can have about the health of the living beings because the increasing industrialization has extended significantly the liberation and the concentration of chemical compounds potentially offensive in the biosphere. For this reason, it increases the interest for technical remedial in order to recover totally or partially the environmental impacts, in special, by human action. Among them, the phytoremediation has a highlight due to its efficiency in the decontamination of eutrophic environments and also due to its low cost in relation to other. Therefore, the present study had as objective to determine the temporal influence in the potential phytoremediation of aquatic macrophytes of the specie *Eichhornia crassipes* present in the river Apodi/Mossoró in relation to levels of some elements using the technique of Fluorescence of X-ray. The collect of the water and of the aquatic macrophytes used was made in the stretch of the river Apodi/Mossoró that cuts the city of Mossoró. Initially, it prepared the all samples in a system of duplicate as well as to the water as to the aquatic plants. Then, it was made the analyze of Fluorescence of X-ray, in the laboratory of chemistry of the UERN. It was calculated the Factor Translocation (FT) and the Factor Bioaccumulation (FB), and it was made the statistical analysis of differentiation of the averages. From the results got, it was identified levels of 28 chemical elements as well as in the water as in the vegetable tissue of the plants. In the samples of water, only 15 elements were quantified with significant values. With relation to vegetable tissue of the plant in analyze, it was observed that the same suffered a temporal and physiological influence, where the macronutrients tending to accumulate more in the leaves, while that the micronutrients accumulating more in the roots. The *Eichhornia crassipes* presented a large facility in bioaccumulate nutrientes. Therefore, this specie presents a wide potential phytoremediation to be used in strategies of phytoremediation of natural environmental, independent of the period of the year, in function of the amounts accumulated in its tissue.

KEY-WORDS: Macrophytes aquatic, aguapé, river Apodi/Mossoró, phytoremediation agent, factor translocation, factor bioaccumulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mecanismos envolvidos na fitorremediação.	25
Figura 2 - <i>Eichhornia crassipes</i> (aguapé).	32
Figura 3 - Coordenada geográfica do ponto de coleta, localizada no trecho do Rio Apodi/Mossoró.	39
Figura 4 - Ponto de coleta realizado no trecho do Rio Apodi/Mossoró.	40
Figura 5 - Separação entre as folhas (limbo + pecíolo) e raízes da <i>Eichhornia crassipes</i>	41
Figura 6 - Amostra da macrófita aquática após o processo de desidratação.	41
Figura 7 - Obtenção dos sais sólidos da água do Rio Apodi/Mossoró.	42
Figura 8 - Teores de macronutrientes presentes na água do Rio Apodi/Mossoró.	46
Figura 9 - Teores dos micronutrientes presentes na água do Rio Apodi/Mossoró.	47
Figura 10 - Teor do elemento benéfico presente no Rio Apodi/Mossoró.	48
Figura 11 - Teores dos elementos não-essenciais presentes na água do Rio Apodi/Mossoró.	49
Figura 12 - Teores dos macronutrientes presentes nas folhas da <i>Eichhornia crassipes</i>	50
Figura 13 - Teores dos macronutrientes presentes na raiz da <i>Eichhornia crassipes</i>	50
Figura 14 - Teor do micronutriente presente nas folhas da <i>Eichhornia crassipes</i>	52
Figura 15 - Teores dos micronutrientes presentes nas folhas da <i>Eichhornia crassipes</i>	53
Figura 16 - Teores dos micronutrientes presentes nas raízes da <i>Eichhornia crassipes</i>	54
Figura 17 - Teores dos micronutrientes presentes nas raízes da <i>Eichhornia crassipes</i>	54
Figura 18 - Teor do elemento benéfico presente nas folhas da <i>Eichhornia crassipes</i>	55
Figura 19 - Teores dos elementos benéficos presentes nas raízes da <i>Eichhornia crassipes</i>	56
Figura 20 - Teores dos elementos não-essenciais presentes nas folhas da <i>Eichhornia crassipes</i>	57
Figura 21 - Teores dos elementos não-essenciais presentes nas folhas da <i>Eichhornia crassipes</i>	57
Figura 22 - Teores dos elementos não-essenciais presentes nas raízes da <i>Eichhornia crassipes</i>	58
Figura 23 - Teores dos elementos não-essenciais presentes nas raízes da <i>Eichhornia crassipes</i>	58
Figura 24 - Fator de bioacumulação do Mn.	63
Figura 25 - Fator de translocação do Mn.	64
Figura 26 - Fator de Translocação (K, Fe, Rb e Br).	65
Figura 27 - Fator de Bioacumulação (K, Fe, Rb e Br).	65

Figura 28 - Fator de Translocação (Ca, Sr).	66
Figura 29 - Fator de bioacumulação (Ca, Sr).	66
Figura 30 - Fator de translocação (S, Si, Ti, Zn, Cu).	67
Figura 31 - Fator de Bioacumulação (S, Si, Ti, Zn, Cu, Cr).	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Elementos analisados como macronutrientes e micronutrientes.	35
Tabela 2 - Funções dos macronutrientes e micronutrientes.	35
Tabela 3 - Reagentes utilizados nas análises.	38
Tabela 4 - Equipamentos utilizados nas análises.	38
Tabela 5 - Precipitação da Cidade de Mossoró-RN no ano de 2015.	44
Tabela 6 - Médias e Desvios padrões dos elementos quantificados nas folhas da <i>Eichhornia crassipes</i> presentes no Rio Apodi/Mossoró.	59
Tabela 7 - Médias e Desvios padrões dos elementos quantificados nas raízes da <i>Eichhornia crassipes</i> presentes no Rio Apodi/Mossoró.	60
Tabela 8 - Resultados obtidos para os fatores de translocação e bioacumulação para a <i>Eichhornia crassipes</i> presente no Rio Apodi/Mossoró.	68
Tabela 9 - Teores dos elementos quantificados na água do Rio Apodi/Mossoró.	82
Tabela 10 - Teores dos macronutrientes presentes nas folhas da <i>Eichhornia crassipes</i>	82
Tabela 11 - Teores dos macronutrientes presentes nas raízes da <i>Eichhornia crassipes</i>	83
Tabela 12 - Teores dos micronutrientes presentes nas folhas da <i>Eichhornia crassipes</i>	83
Tabela 13 - Teores dos micronutrientes presentes nas raízes da <i>Eichhornia crassipes</i>	83
Tabela 14 - Teores dos elementos benéficos presentes nas folhas da <i>Eichhornia crassipes</i> . ..	83
Tabela 15 - Teores dos elementos benéficos presentes nas raízes da <i>Eichhornia crassipes</i>	83
Tabela 16 - Teores dos elementos não-essenciais presentes nas folhas da <i>Eichhornia crassipes</i>	84
Tabela 17 - Teores dos elementos não-essenciais presentes nas raízes da <i>Eichhornia crassipes</i>	84
Tabela 18 - Fator de Translocação dos elementos encontrados.	85
Tabela 19 - Fator de Bioacumulação dos elementos encontrados.	85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FT	Fator de Translocação
FB	Fator de Bioacumulação
FRX	Fluorescência de Raios-X
Br	Bromo
Ca	Cálcio
Fe	Ferro
K	Potássio
Mn	Manganês
Rb	Rubídio
S	Enxofre
Si	Silício
Sr	Estrôncio
Cl	Cloro
P	Fósforo
Ti	Titânio
Zn	Zinco
Al	Alumínio
Cu	Cobre
V	Vanádio
Y	Ítrio
Zr	Zircônio

As	Arsênio
Cr	Cromo
Eu	Európio
Ni	Níquel
Pd	Paládio
Ba	Bário
Ag	Prata
Nd	Neodímio
Lu	Lutécio
Mo	Molibdênio

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
2. OBJETIVOS	19
2.1 OBJETIVO GERAL	19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3. REFERENCIAL TEÓRICO	20
3.1 REMEDIAÇÃO	20
3.2 BIORREMEDIAÇÃO	20
3.3 FITOREMEDIAÇÃO	22
3.4 POTENCIAL FITORREMEIADOR	23
3.5 MECANISMOS DA FITORREMEDIAÇÃO	25
3.5.1 Rizofiltração	26
3.5.2 Fitoextração	26
3.5.3 Fitodegradação	26
3.5.4 Fitovolatilização	27
3.5.5 Fitoestabilização	27
3.5.6 Rizodegradação	27
3.6 POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES DA FITORREMEDIAÇÃO	27
3.7 AMBIENTE DE ESTUDO: RIO APODI/MOSSORÓ	29
3.8 MACRÓFITAS AQUÁTICAS	30
3.9 <i>Eichhornia crassipes</i>	32
3.10 NUTRIÇÃO DAS PLANTAS	34
3.11 OUTROS ELEMENTOS QUÍMICOS DE INTERESSE NA NUTRIÇÃO VEGETAL	37
4. MATERIAIS E MÉTODOS	38
4.1 MATERIAIS	38
4.1.1 Reagentes	38
4.1.2 Equipamentos	38
4.2 MÉTODOS	39

4.2.1	Coleta das Amostras.....	39
4.2.2	Tratamento das Amostras.....	40
4.2.3	Análise de Fluorescência de Raios-X	42
4.2.4	Determinação do Fator de Translocação (FT) e do Fator de Bioacumulação (FB). 42	
4.2.5	Análise de Diferenciação das Médias.....	43
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
5.1	INFLUÊNCIA TEMPORAL NOS TEORES DE TODOS OS ELEMENTOS NA ÁGUA DO RIO APODI/MOSSORÓ.....	44
5.2	INFLUÊNCIA TEMPORAL NOS TEORES DE TODOS OS ELEMENTOS NAS FOLHAS E RAÍZES DA <i>EICHHORNIA CRASSIPES</i>	50
5.3	INFLUÊNCIA NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA <i>EICHHORNIA CRASSIPES</i> ..	59
5.4	FATOR DE TRANSLOCAÇÃO E FATOR DE BIOACUMULAÇÃO	63
6.	CONCLUSÃO	71
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
8.	APÊNDICE	82

1. INTRODUÇÃO

O aumento populacional, das últimas décadas, seguido da evolução dos processos industriais e do surgimento de produtos que, rapidamente, tornou-se de primeira necessidade, vem cooperando para diversos problemas ambientais. Com a pouca fiscalização, infelizmente, muitas indústrias ainda descartam seus resíduos de forma incorreta, de maneira que, com o passar do tempo, eles vão contaminando o solo, lençóis freáticos e até mesmo o ar.

Dentre os poluentes, os metais pesados representam o maior contaminante industrial de solos, corpos d'água, plantas e animais no ecossistema (GHOSHROY et al., 1998). É necessário dar ênfase à contaminação dos ambientes aquáticos, visto que a água cobre aproximadamente 70% da superfície terrestre e também porque as propriedades deste líquido e seu vapor controlam as condições climáticas que tornam possível a vida na Terra (TEIXEIRA; JARDIM, 2002).

As técnicas utilizadas para a descontaminação destes ambientes precisam aliar eficiência, simplicidade nas manutenções, menor tempo demandado e um baixo custo. Assim, surge o interesse pela biorremediação, caracterizada como uma técnica que tem por objetivo descontaminar o solo e a água por meio da utilização de organismos vivos, como microrganismos e plantas (PIRES et al., 2003).

Comparando algumas técnicas tradicionais como bombeamento e tratamento, ou remoção física da camada contaminada, a fitorremediação, que é uma técnica de biorremediação, é a mais indicada. Ela trata da remoção de elementos contaminantes ou desintoxicação do meio através das plantas e tem sido considerada vantajosa por sua eficiência na descontaminação, baixo custo, com possibilidades de remediar solo, água e ar e, ao mesmo tempo, embelezar o ambiente (PERKOVICH et al., 1996; CUNNUNGHAM et al., 1996 apud PIRES et al., 2003).

A fitorremediação é uma técnica promissora de descontaminação em que a planta é utilizada como um agente de alocação do contaminante indesejável ao sistema tratado. Os pontos positivos do processo residem no fato de que metais atuando como contaminantes são absorvidos na estrutura da planta, reunindo sua ação tóxica em tal organismo, sendo, portanto, imobilizados, contidos, transformados ou combinados para posterior extração e processamento mecânico ou químico (ACCIOLY; SIQUEIRA, 2000). Entretanto, os resultados satisfatórios podem ser longos e a concentração do poluente ou a presença de toxinas devem estar dentro dos limites de tolerância da planta para não afetar o tratamento (DINARDI et al., 2003).

Em meio às formas biológicas de macrófitas aquáticas – vegetais adaptados aos ambientes aquáticos –, as flutuantes desenvolvem-se sobre a superfície da água e retiram os nutrientes espontaneamente da coluna de água, diferenciando-se por crescer em ambientes eutrofizados e, neste caso, sua biomassa se torna um respeitável compartimento dos nutrientes do meio. Assim, várias pesquisas têm analisado a possibilidade de utilização das macrófitas para reduzir o nível de nutrientes e poluentes dos corpos de água (ESTEVES; CAMARGO, 1986; BRIX, 1994; PALMA-SILVA, 1998; PETRUCIO; ESTEVES, 2000; PALMA-SILVA et al., 2002; THOMAZ, 2002; ALVES et al., 2003; PEDRALLI, 2003; PEDRALLI; TEIXEIRA, 2003; PALMA-SILVA et al., 2004).

Dentre as macrófitas aquáticas, destaca-se a *Eichhornia crassipes*, na qual segundo Holm e Yeo (1980), é a oitava planta daninha de maior expressão mundial, sendo no Brasil, a mais séria planta daninha aquática flutuante (LORENZI, 2000). Uma planta promissora, que tem a capacidade de fixar em seus tecidos nutrientes em quantidades superiores às suas necessidades, bem como elementos químicos estranhos ao seu metabolismo (DENÍCULI et al., 2000).

Segundo Bernardi et al. (2009) as características físico-químicas, biológicas e hidrológicas em qualquer ponto do meio ambiente refletem muitas influências, incluindo o clima, geologia, geomorfologia e cobertura vegetal da região. A composição da água depende das atividades humanas exercidas em diversos segmentos do sistema (construção de represas, efluentes industriais e domésticos, drenagem de áreas alagáveis) que por sua vez, modificam as características físico-químicas e qualidade das mesmas. Com a qualidade das águas modificadas com a composição química, modifica também a estrutura das plantas que absorvem os nutrientes presentes no mesmo. Além disso, deve-se preocupar com a espécie utilizada na fitorremediação, pois precisam atender as exigências fisiológicas, para que não ocorra o comprometimento do crescimento e da produção da planta (LOPES, 2003).

Dentre alguns reservatórios, podemos citar a bacia hidrográfica Apodi/Mossoró, um dos recursos hídricos do Rio Grande do Norte mais importante, que está sofrendo uma contaminação crescente em sua área territorial com o grande avanço econômico do município de Mossoró, que faz com que indústrias se instalem na cidade. Desta forma, a *Eichhornia crassipes*, uma macrófita presente no rio, poderá vir ajudar em sua descontaminação.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho teve como objetivo a determinação da influência temporal na composição química e no potencial fitorremediador de macrófitas aquáticas da espécie *Eichhornia crassipes* presente no rio Apodi/Mossoró em relação aos teores de alguns elementos quantificados utilizando a técnica de Fluorescência de Raios-X.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar os teores de elementos contidos na água do Rio Apodi/Mossoró;
- Determinar os teores de elementos contidos no tecido vegetal de macrófitas aquáticas da espécie *Eichhornia crassipes*;
- Determinar o fator de translocação da *Eichhornia crassipes* em relação aos elementos encontrados;
- Determinar o fator de bioacumulação da *Eichhornia crassipes* em relação aos elementos encontrados;
- Verificar a influência temporal nos resultados obtidos.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 REMEDIAÇÃO

Atualmente as atividades antrópicas vêm gerando lançamento de resíduos na atmosfera, na água e no solo, o que se caracteriza como poluição ambiental (NASCIMENTO, 1996). Assim, a qualidade do meio ambiente em que vivemos vem sendo afetada.

Desse modo, nos últimos anos passou-se a dar mais importância ao meio ambiente e assim foram utilizadas medidas de remediação, reduzindo os impactos negativos resultantes de atividades humanas, aperfeiçoando o tratamento de resíduos.

De acordo com Procópio et al. (2009), a remediação de uma determinada área contaminada consiste na aplicação de diferentes medidas de contenção e tratamento do material contaminado para o saneamento da área. Essa técnica pode ser química (quelatos, reagentes), física (remoção da camada contaminada; injeção de ar) ou biológica (microorganismos e plantas). O termo de remediação tem sido associado normalmente a técnicas não biológicas que promovem a remoção ou atenuação do contaminante.

Segundo Tavares (2009), nos dias atuais a tendência é dar preferência às técnicas de remediação *in situ*, por apresentarem baixo custo e não provocarem contaminações secundárias, fato observado na remediação *ex situ*, já que ocorre o transporte do material contaminado até o sítio de tratamento.

Tais poluentes que contaminam o ambiente podem ser orgânicos e inorgânicos, de modo que os orgânicos são degradados no ambiente, e os inorgânicos, derivados de atividades como mineralização, industrialização e agricultura, não podem ser degradados, o que exige um tipo de tratamento (SMITS, 2005).

3.2 BIORREMEDIAÇÃO

A biorremediação é o processo nas quais organismos vivos, normalmente plantas ou microorganismos, são usados para a “limpeza” de poluentes no ambiente. A descoberta desta técnica se deu por meio de pesquisas de investigação da degradação de hidrocarbonetos no ambiente natural, nas quais foram identificados alguns microorganismos capazes de aproveitar tais hidrocarbonetos como fonte de carbono e energia (SANTOS et al., 1999).

Segundo Dinardi (2003) essa técnica baseia-se na aceleração do processo natural de biodegradação de determinadas substâncias no meio ambiente. O procedimento depende de algumas condições ambientais, como temperatura, presença de oxigênio, nutrientes e pH.

Sendo assim, é uma alternativa ecologicamente mais adequada e eficaz no tratamento de ambientes contaminados.

De acordo com Gaylarde et al. (2005), a implementação da biorremediação advém de etapas que envolvem um estudo do ambiente, do tipo de contaminante, dos riscos e da legislação pertinente. Assim, primeiramente, é necessária uma caracterização do tipo e da qualidade do poluente, como avaliações de natureza biológica, geológica, geofísica e hidrológica do sitio contaminado.

Ainda de acordo com o mesmo autor, dentre as principais limitações encontradas na aplicação dos processos de biorremediação estão:

- A poluição geralmente envolve diversos compostos, de diferentes classes químicas, que exige a seleção e utilização de microorganismos com metabolismo específico para os diferentes poluentes;
- Quando as concentrações dos poluentes são baixas, os microorganismos podem não gerar as enzimas necessárias; quando são muito altas, os microorganismos podem ser inibidos;
- Alguns poluentes presentes podem ser incompatíveis com tal processo de biodegradação implementado;
- Alguns compostos são absorvidos ligeiramente pelo solo, sedimento e/ou água, diluindo-se abaixo do nível estabelecido para a ativação da biodegradação, contudo permanecendo ainda em concentrações acima da desejável;
- A taxa da biorremediação por ser baixa, resultando em um processo de longa duração.

Apesar de diversos problemas, a biorremediação oferece vantagens sobre outras técnicas de remediação. De acordo com Souza (2010), pode-se destacar:

- Habilidade dos microorganismos de biodegradar algumas substâncias ao invés de meramente transferirem o contaminante para outro meio; eficiente em meios homogêneos e de textura arenosa;
- Baixo custo comparado a outras técnicas de remediação, se os compostos forem facilmente degradáveis;
- A tecnologia pode ser analisada como destrutiva dos contaminantes;
- Admite atingir concentrações alvo ambientalmente aceitáveis para o solo.

Assim, perante a crescente geração de resíduos industriais, agrícolas, acidentes com poluentes, e as preocupações com o meio ambiente, a biorremediação vem crescendo e tornando-se uma técnica ecologicamente viável e correta, onde não altera o equilíbrio dos ecossistemas, visando somente à biodegradação dos poluentes.

3.3 FITOREMEDIACÃO

Para a despoluição de diversas áreas contaminadas, têm-se preferido técnicas de biorremediação, e dentro dela a fitorremediação tem sido uma das mais vantajosas. A fitorremediação define-se como o uso de plantas para a remoção de elementos contaminantes, usada tanto no solo quanto em ambientes aquáticos ou ar, reduzindo teores de metais pesados e poluentes orgânicos a níveis seguros à saúde humana, colaborando também nas características químicas, físicas e biológicas destas áreas. De acordo com Melo (2007) a biodiversidade das plantas admite um amplo espectro de ação sobre uma grande variedade de contaminante.

A grande remediação de ambientes degradados necessita de diversos estudos, quanto o solo, vegetação e a água. Por meio disso, se tratando de revegetação, identificação de espécies capazes de acumular os poluentes e espécies tolerantes, observa-se que o processo de fitorremediação é fundamental.

De acordo com Newman (2004), para a implantação de programas de fitorremediação, devem ser levados em considerações alguns requisitos, como as características físico-químicas do solo e do contaminante, e sua distribuição na área. É necessário que as plantas possuam um potencial para fitorremediação que são usadas como indicativo para a seleção das mesmas. Com isso, qualquer fator que venha prejudicar ou intervir negativamente no desempenho das plantas deve ser controlado para favorecer a sua ação contra o contaminante (BAKER, 1981). Um bom exemplo de plantas que apresentam um potencial de limpeza são as macrófitas.

As plantas que apresentam grande capacidade de acumulação de metais pesados são consideradas plantas hiperacumuladoras. Segundo Watanabe (1997), uma planta hiperacumuladora deve ter características como: alta taxa de crescimento e de produção de biomassa, alta taxa de acumulação dos contaminantes, mesmo em baixas concentrações no meio, resistência a pragas e doenças e, tolerância ao contaminante. A capacidade em hiperacumular metais é um fenômeno relativamente raro no reino vegetal, ocorrendo em cerca de 400 espécies de plantas vasculares (REEVES; BAKER, 1999).

A utilização de vegetais para melhorar as condições físico-químicas do meio aquoso é bastante conhecida e aplicada no tratamento de efluentes. Neste processo, para cada elemento, espécie de planta e fase de crescimento, os acúmulos de contaminantes metálicos no tecido vegetal variam significativamente.

A fitorremediação não é uma técnica recente, porém é nova a busca sistemática científica de como devem ser usadas plantas para descontaminar solo e água, por exemplo. Desde a década de 90 ocorrem diversas pesquisas com foco na fitorremediação, difundindo-se principalmente nos EUA e Europa, onde têm grupos de pesquisa que se dedicam ao estudo e divulgação da remediação por plantas e até algumas companhias que a exploram com fins lucrativos (SANTOS et al., 2007). Na Alemanha, sabe-se que, há mais de 300 anos, já eram utilizadas plantas no tratamento de esgotos (CUNNINGHAM et al., 1996).

Apesar das condições climáticas e ambientais serem favoráveis no Brasil, à utilização do processo é pouco difundida. Isso ocorre, principalmente, pela falta de interesse político-econômico no assunto, o que cogita uma política com carência na redução de transtornos ambientes existentes (ANDRADE, TAVARES, MAHLER, 2007).

3.4 POTENCIAL FITORREMEIADOR

A técnica de fitorremediação está completamente ligada à eficiência da ação da planta com o poluente. Assim, faz-se necessária uma avaliação do poluente junto ao solo ou ambiente aquático, para o conhecimento do tipo de poluente ou da capacidade poluidora existente, e ainda a avaliação do potencial fitorremediador de determinadas espécies para aquele tipo de situação.

Segundo Clemens (2006), para que a planta seja usada como agente fitorremediador, ela deve apresentar características específicas ao longo do seu crescimento, tais como, a capacidade de tolerar ou, até mesmo, absorver e acumular elementos não essenciais, que não apresentam função biológica, ou metais essenciais que se apresentam em concentrações de toxidez no meio ambiente.

Este processo faz uso de plantas hiperacumuladoras, um conceito primeiramente utilizado por Brooks et al. (1977), sendo empregado principalmente para indicar plantas que se desenvolvem em ambientes rico em metais, e que tem capacidade de acumular/armazenar altos níveis de metais específicos (cerca de 100 vezes mais do que plantas sem esta característica). Como apresentam níveis extremos de tolerância de metais, são alvos de diversos estudos com este objetivo.

De acordo com Ma et al. (2001), as espécies hiperacumuladoras de metais não pode levar em consideração apenas o acúmulo de metais na biomassa, mas também, a concentrações de metais no solo ou em ambientes aquáticos em que a planta se desenvolvem. Assim, para que uma determinada planta seja considerada como um potencial para a fitorremediação, devem ser considerados também os fatores de bioacumulação e fatores de translocação, ou seja, não é necessariamente obrigatório que a mesma seja classificada como uma planta hiperacumuladora.

Segundo Batista (2013), o fator de bioacumulação (FB) fornece a razão entre a concentração dos elementos na planta como um todo e no meio de cultivo em que ela vive (água ou solo). E o fator de translocação (FT) nos dá a razão dentre a quantidade de certo elemento na folha e na raiz, ou seja, o FT está ligado diretamente com as concentrações dos metais na parte aérea, e inversamente associado às concentrações dos metais nas raízes.

O problema das plantas hiperacumuladoras de metais pesados é o crescimento vagaroso, que indica um acúmulo lento de contaminantes em sua fitomassa. Alternativamente ao uso desse tipo de planta, pode-se usar espécies com grande produção de matéria seca, as quais são induzidas quimicamente a aumentar a eficiência de fitoextração de metais pela aplicação de agentes quelantes ao solo. Para isso, têm-se agentes quelantes naturais (excretados pelas raízes das plantas, por exemplo, ácido acético e ácido cítrico) e artificiais (por exemplo, DTPA e EDTA) (BAIRD, 2002; MEERS et al., 2004; MELO et al., 2006).

Alguns estudos tem evidenciado o potencial fitorremediador de algumas plantas. Plantas de amendoim, azevém e estilosante apresentam potencial para fitorremediação de áreas poluídas por arsênio (As). Os teores de arsênio nas raízes dessas espécies foram bastante elevados, indicando que há formas de compartimentalização. Espécies como vetiver, jureminha e algaroba comportaram-se de modo diferenciado, elas demostraram que a raiz era compartimento mais adequado para a contaminação do chumbo (Pb). O vetiver apresentou também eficiência na absorção e translocação de chumbo para a parte aérea. (SNELLER et al., 1999; SCHMOGER et al., 2000; MEHARG & HARTLEY-WHITAKER, 2002). A macrófita aquática *Salvinia* sp. também tem apresentado um potencial fitorremediador promissor para remover metais pesados em corpos d'água, desde a década de 1970 (ESPINOZA-QUIÑONES et al., 2005). Estudos de Mishra e Tripathi (2008) também evidenciou o potencial fitorremediador de três espécies diferentes (*Pistia stratiotes*, *Spirodela polyrrhiza* e *Eichhornia crassipes*) na remoção de Fe, Zn, Cu, Cr e Cd no decorrer de 15 dias. os resultados obtidos pelos autores revelaram uma alta taxa de remoção de todos os nutrientes,

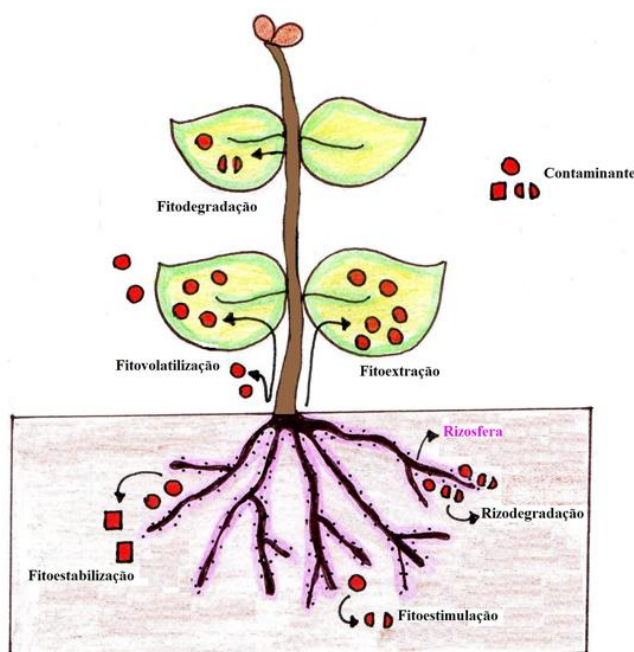
e a espécie *Eichhornia crassipes* se destacou por apresentar um maior potencial fitorremediador.

3.5 MECANISMOS DA FITORREMEDIAÇÃO

Os vegetais podem atuar de forma direta ou indireta na remoção dos contaminantes. Na remediação direta, as substâncias são absorvidas e acumuladas ou metabolizadas nos tecidos, por meio da mineralização dos mesmos. Na remediação indireta, os vegetais retiram contaminantes do meio reduzindo a fonte de contaminação ou estimulam o aumento da atividade microbiana na região rizosférica, o que contribui para a degradação do contaminante (TAVARES, 2009).

Dependendo do meio a ser tratado, diferentes mecanismos de fitorremediação têm sido empregados para a limpeza de áreas poluídas, dentre elas, a rizofiltração alcançou um grande sucesso para ambientes aquáticos. Segundo Tavares (2009), a fitorremediação em solos envolve diversos mecanismos de ação direta como fitoextração, fitodegradação, fitovolatilização, e indireta como a fitoestabilização e rizodegradação. Os mecanismos principais são apresentados na figura 1:

Figura 1 – Mecanismos envolvidos na fitorremediação.



Fonte: < <http://www.aprenda.bio.br/portal/?p=6864>>.

3.5.1 Rizofiltração

A rizofiltração é um mecanismo que utilizam plantas para absorver, concentrar e/ou precipitar os poluentes de um meio aquoso, particularmente, metais pesados ou elementos radioativos, através de seu sistema radicular (SOUZA, 2010). Este processo é muito vantajoso para o tratamento de águas, pois as plantas aquáticas produzem muita biomassa, se desenvolvem com rapidez considerável e apresentam um sistema radicular fibroso que favorece uma ampla área de contato com o poluente (SOUZA, 1996).

O trabalho de Cruz (2011) mostrou que *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes* se destacaram por apresentar sistemas radiculares bem desenvolvidos e, desta forma, permitir acúmulo substancial de metais em suas raízes, favorecendo a rizofiltração.

3.5.2 Fitoextração

Este mecanismo consiste na capacidade de absorção dos contaminantes do solo pelas raízes das plantas, onde são armazenados, ou conduzidos e acumulados nas partes aéreas das plantas (folhas e caule), facilitando posteriormente seu descarte. Essa técnica é aplicada, sobretudo, para metais (Cd, Ni, Cu, Zn, Pb), podendo ser usada também para outros compostos orgânicos e inorgânicos (MCGRATH, 1998).

Na fitoextração é importante à alta absorção, translocação e acumulação dos contaminantes. Segundo Tavares (2009), estima-se que a fitoextração possa diminuir a concentração de contaminantes a níveis aceitáveis num período de 3 a 20 anos.

3.5.3 Fitodegradação

Neste mecanismo, os contaminantes são degradados ou mineralizados por enzimas específicas, como as nitroredutases e as desalogenases, onde uma transforma o trinitolueno em outros metabólicos e a outra catalisa a degradação de compostos clorados, respectivamente (NETO, 2011).

Na fitodegradação é importante que as plantas tenham um sistema radicular bem desenvolvido e denso, com raízes compridas, e um maior número de enzimas de degradação.

3.5.4 Fitovolatilização

Na fitovolatilização, as plantas absorvem os contaminantes do solo ou da água, transformando para formas menos tóxicas, sendo posteriormente liberados na atmosfera. Com isso, as plantas precisam ter alta capacidade de transpiração. Segundo Tavares (2009), a volatilização pode advir pela biodegradação na rizosfera ou depois da passagem na própria planta e dependendo do desempenho ou não dos processos metabólicos, a liberação do contaminante para a atmosfera pode ocorrer na forma original ou transformada.

Essa técnica pode ser utilizada no tratamento de águas subterrâneas, solos, sedimentos e lamas, onde os solos precisam oferecer condições adequadas em relação à quantidade de água para os contaminantes serem absorvidos (PILON-SMITS, 2005).

3.5.5 Fitoestabilização

A fitoestabilização ocorre em plantas que possuem a capacidade em reduzir a mobilidade e a migração dos contaminantes presentes no solo, seja por meio da imobilização, lignificação ou humidificação dos poluentes nos seus tecidos vegetais (TAVARES, 2009). Assim, considera-se que essa técnica não remove os contaminantes, e sim, estabiliza-os para minimizar os riscos a saúde humana e o meio ambiente.

3.5.6 Rizodegradação

A rizodegradação é um mecanismo indireto, onde as raízes em crescimento promovem a proliferação de microorganismos degradativos na rizosfera, que utilizam os metabólitos exsudatos da planta como fonte de carbono e energia. Esse método limita-se a aplicação de contaminantes orgânicos (MOTHÉ, 2012). Assim, temos que as plantas que apresentam sistema de raízes maiores, são de bastante interesse para esse tipo de técnica.

3.6 POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES DA FITORREMEDIAÇÃO

A fitorremediação apresenta um elevado potencial de utilização, devido suas vantagens em relação a outras técnicas de remediação de contaminantes do solo, água ou ar.

Porém, como todas as outras, existem desvantagens e dificuldades que devem ser previstas antes de escolher o seu tipo de uso.

Procópio et al. (2009) listou algumas das principais potencialidades da técnica de fitorremediação que são listadas a seguir:

- a) Baixo custo em relação às técnicas de remediação utilizadas tradicionalmente que envolve a remoção do solo para tratamento *ex situ*;
- b) Os xenobióticos podem ser degradados a compostos não tóxicos, podendo ser até mesmo mineralizados a compostos primários. Na ocorrência disso, não há necessidade de remoção das plantas cultivadas na área contaminada;
- c) As propriedades biológicas, físicas e químicas do solo são mantidas e, não raro, até aperfeiçoadas com o cultivo de espécies vegetais fitorremediadoras;
- d) A incorporação de matéria orgânica ao solo, principalmente, quando não há necessidade de remoção das plantas remediadoras da área contaminada;
- e) Fixação de nitrogênio atmosférico, especialmente, no caso da utilização de leguminosas como espécies remediadoras;
- f) Auxílio no controle do processo erosivo, eólico e hídrico. Nesse último caso, diminuem o carregamento de contaminantes com a água e com o solo e, portanto, reduz a possibilidade de contaminação dos cursos hídricos;
- g) Diminuição da lixiviação de contaminantes no solo, reduzindo a contaminação do lençol freático;
- h) O emprego de plantas é mais adequado esteticamente do que qualquer outra técnica de remediação, e pode ser implementado com mínimo distúrbio ambiental, evitando escavações e tráfego pesado de maquinário;
- i) Faz uso da energia solar para realizar os processos de descontaminação;
- j) Proporciona alto índice de aceitação pública, perante a sociedade.

Apesar de todas as potencialidades descritas acima, a fitorremediação apresenta limitações em relação a outras técnicas de remediação por ser uma tecnologia ainda em desenvolvimento, de acordo com o mesmo autor citado anteriormente, podemos listar essas desvantagens como:

- a) Problema na escolha de plantas para fitorremediação, em relação à descontaminação de solos com resíduos de herbicidas de amplo espectro de ação, principalmente;

- b) O tempo para obtenção de uma despoluição satisfatória pode ser longo, podendo ser solicitado mais de um ciclo de cultivo;
- c) O poluente deve encontrar-se dentro da zona de alcance do sistema radicular das plantas fitorremediadoras;
- d) Clima e condições edáficas podem reduzir o crescimento de plantas fitorremediadoras, prejudicando assim, a descontaminação do solo;
- e) Necessidade de retirar as plantas da área contaminada, quando o composto tóxico é apenas fitoacumulado ou fitodegradado a um composto ainda tóxico;
- f) Os xenobióticos podem ser fitotransformados ou mesmo rizotransformados a metabólitos mais precários que o composto inicial;
- g) A presença do contaminante ou de algum metabólito tóxico na parte aérea das plantas pode beneficiar a contaminação da cadeia alimentar;
- h) Dificuldade quanto ao controle posterior da planta fitorremediadora.

3.7 AMBIENTE DE ESTUDO: RIO APODI/MOSSORÓ

A água é essencial para a vida humana, e seu uso inadequado traz grandes riscos à população. Segundo Whycos (2004), de toda a fonte disponível no planeta, os oceanos constituem 96,4% desse total, desses 3,6% restantes, cerca de aproximadamente 2,25% estão localizados nas calotas polares e nas geleiras, enquanto 0,75% encontram-se na forma de água subterrânea, em rios e lagos e também na forma atmosférica, como vapor de água.

A qualidade dos mananciais vem se agravando proporcionalmente de acordo com as múltiplas atividades humanas que se desenvolvem, com grande intensidade, refletidos do descuido e despreparo de empresas, governos e população em relação à preservação das bacias hidrográficas, despertando grande preocupação devido ao processo de poluição em toda a população de fauna e flora do determinado habitat.

No Rio Grande do Norte o problema não é diferente, os rios não são conservados adequadamente, contendo suas águas cada vez mais poluídas, comprometendo o ecossistema. Porém, ainda assim, são fontes de emprego para sobrevivência de muitas pessoas (MARTINS, et al. 2008).

Um exemplo típico da região é a bacia hidrográfica do Rio Apodi/Mossoró, sendo a segunda maior do estado com uma extensão de 210 km; ocupando uma área de 14.276 km² equivalente a 26,8% do estado, com o volume atual de 803.691.660 m³; nascendo no município de Luiz Gomes, atravessando a Chapada do Apodi, entra no município de Mossoró

e estende-se até os municípios de Grossos e Areia Branca, cortando 63 cidades do estado (MORAIS et al., 2015). O desequilíbrio desse Rio leva a diversos estudos para que haja a minimização da poluição no mesmo.

Dentre alguns municípios do Estado, Nunes (2006) afirma que o Rio Apodi/Mossoró corta Pau dos ferros, Apodi, Felipe Guerra, Governador Dix-Sept Rosado e Mossoró, sobressaindo como um dos recursos hídricos mais importantes de toda a região oeste. Assim, tem-se que seus principais afluentes são os Rios do Carmo, Upanema e Umarí, os Riachos Pitombeira, Tapuio, Grande e Bonsucesso, e o Córrego Apodi. O Rio Apodi/Mossoró possibilitou a construção de duas barragens no Estado: a barragem de Santa Cruz do Apodi, localizada no Município de Apodi, com capacidade de acumular 599.712.000 m³, considerada a segunda maior do estado; e a barragem de Umarí, no Município de Upanema, com capacidade de armazenar 292.813.650 m³ de água, garantindo o fornecimento para o uso humano e para a agricultura de toda a região.

3.8 MACRÓFITAS AQUÁTICAS

Silva (1998) definiu macrófitas aquáticas como plantas herbáceas ou macroalgas que crescem na água, em solos saturados, ou em solos abrigados por água. A diversidade no Brasil é grande, e de acordo com Rubio et al. (2004), algumas espécies comuns nos rios e lagos do país são a *Eichhornia crassipes* (aguapé, jacinto d'água, baronesa, rainha dos lagos), a *Pistia stratiotes* (alface d'água), e outras dos gêneros *Salvinia* (samambaia aquática, marrequinha, erva de sapo e murerê) e *Potamogeton*.

As plantas aquáticas podem ser localizadas vegetando nas bordas de rios e reservatórios ou adentro dos mais diversos ambientes aquáticos, utilizando diferentes mecanismos de adaptação para a sobrevivência e desenvolvimento. Enquanto algumas espécies apresentam-se enraizadas em corpos d'água com fortes correntezas, outras somente podem viver em águas paradas ou estagnadas (Martins et al., 2002).

Originalmente, são vegetais terrestres que, para propagar-se em ambientes aquáticos, passaram por modificações adaptativas, sendo classificadas como submersas, emergentes, com folhas flutuantes e flutuantes livres (BIANCHINI JR, PACOBAHYBA, CUNHA-SANTINO, 2002; CAMARGO, PEZZATO, HENRY-SILVA, 2003).

Atualmente, as colonizações de macrófitas aquáticas acabam por prejudicar os variados usos de lagos, rios e represas, por sua multiplicação demasiada de forma indesejada, havendo a necessidade de técnicas de controle. Embora essas características, determinadas

espécies de plantas aquáticas têm sido usadas em sistemas de tratamento de efluentes, na recuperação de ambientes degradados e também como plantas ornamentais. Esses fatores as tornam importante nos ecossistemas aquáticos, por sua alta produtividade, abundância e cooperação para a diversidade biológica (HENRY, 2003).

Entre alguns dos importantes papéis exercidos pelas plantas aquáticas, podemos citar (BIOLOGIA INTERATIVA, 2015):

- O de operar como produtores primários, equipando a base da cadeia alimentar de ambientes aquáticos, já que são alimentos de peixes e de organismos aquáticos como algumas espécies de aves e mamíferos aquáticos, como as capivaras;
- Agem como filtradoras, por reterem sedimentos em suspensão de nutrientes, liberando-os na água, por meio de sua excreção ou no tempo da sua decomposição.
- Proporcionam abrigo para peixes recém-nascidos e pequenos animais;
- Fornecem sombra, essencial para muitas formas de vida sensíveis a muita luz;
- Providenciam materiais de importância econômica para a sociedade, alimento para o homem e para o gado, fertilizante de solo, fertilizante de tanques de piscicultura ou amparo para alevinos, matéria prima para a fabricação de remédios, utensílios domésticos, artesanatos, na indústria têxtil, forrageira, medicinal e despoluidora, recreação e lazer;
- Podem ser usadas no controle de erosão hídrica;
- Acomodam abrigo adequado para o desenvolvimento de microorganismos, uma vez que suas raízes servem de local para a deposição de ovos de vários animais;
- Por necessitarem de altas concentrações de nutrientes para seu desenvolvimento, as plantas aquáticas são empregadas com sucesso na recuperação de rios e lagos poluídos, porque suas raízes podem absorver amplas quantidades de substâncias tóxicas, além de comporem uma densa rede capaz de reter as mais finas partículas em suspensão.

Segundo Romitelli (1983), as macrófitas aquáticas estão cada vez mais sendo testadas para fins depurativos, desde 1953, no Instituto alemão Marx Plank, onde mais de 200.000 qualidades de plantas já foram testadas, com o intuito de verificar a sobrevivência e os efeitos positivos e negativos em ambientes contaminados. Já Moraes e Rodrigues (2002) afirmam que as plantas aquáticas que tem a capacidade de atraírem nutrientes, também atraem os

pesquisadores. A oferta de nutrientes resulta na proliferação das macrófitas, que encontram em reservatórios com condições adequadas favoráveis ao crescimento.

3.9 *Eichhornia crassipes*

Dentre algumas espécies de macrófitas aquáticas, a *Eichhornia crassipes*, mais conhecida como aguapé, merece destaque sendo apontada como uma das mais importantes (Holm et al., 1977). Uma planta aquática nativa da região tropical da América Central (KAWAI; GRIECO, 1983). É classificada como monocotiledônea, flutuante, pertencente à família das *Pontederiaceae* (ESTEVES, 1998). O aguapé é constituído por cerca de 95% de água, e apresenta-se suspenso na água (PERAZZA et al., 1985).

Figura 2 - *Eichhornia crassipes* (aguapé).



Fonte: < <http://www.dicionariotupiguarani.com.br/dicionario/aguape/>>.

A *Eichhornia crassipes* apresenta pecíolos esponjosos e um comprimento não maior do que 20 cm, o que auxilia a flutuação da planta em águas profundas. Outra característica típica é o fato de poder apresentar folhas diferentes em virtude do ambiente em que se encontra. São folhas inteiras, ovaladas, arredondadas, circulares, ou amplamente elípticas com 15 cm de largura, densas, verde lustroso, impermeáveis; lados encurvados delicadamente e frequentemente ondulados. As raízes são escuras e ramificadas, que saem da base da planta e forma um ambiente favorável à reprodução de peixes ou insetos, muitas vezes provendo proteção e/ou alimento. A inflorescência é uma espiga esticada com flores variando de azul

claro ao violeta, ou ainda ocasionando branco. Cada flor tem seis pétalas com a base formando um curto tubo, após fecundadas, o escape floral se alonga em direção à água e o desenvolvimento do fruto se dá dentro da água (JOLY, 2002; GOPAL & SHARMA, 1981).

Dentre os sistemas ecológicos com aplicação de macrófitas mais comumente discutidos, destaca-se as lagoas com aguapés. A *E. crassipes* pode formar tapetes que se expandem ao longo da superfície da água e assim tomando todo o corpo d'água. Seu crescimento pode ser tão rápido, que uma infestação dobra em tamanho a cada semana, em condições ideais. As altas taxas de transpiração foliar, durante o verão, causa aumento na perda de água de até quatro vezes em relação às perdas por evaporação de uma superfície exposta (NRW, 2007 apud CASTRO, 2008). De acordo com Perazza et al. (1985), as temperaturas ideais para o crescimento, estão entre 28 e 30° C, quando a temperatura cai bruscamente, há uma diminuição na sua produção. As lagoas de aguapés também apresentam como vantagem o fato de serem de baixo custo e de simples operação de manutenção (ELSHAFI, 2007). De acordo com Coelho (1994) o aguapé, apresenta uma produtividade de até 1000 kg/há/dia de massa verde.

O sistema radicular da *E. crassipes* trabalha como um filtro mecânico, o qual absorve material particulado vivo na água. Dessa maneira, cria um ambiente rico em atividades de bactérias e fungos adquirindo o papel de um agente de despoluição. Além disso, nos tecidos da raiz também ocorre a bioacumulação (ANDRADE, TAVARES, MAHLER, 2007).

Segundo Wolverton e McDonald (1979) os aguapés depois de utilizados para a remoção de contaminantes, podem ser compostados. A compostagem é um procedimento biológico aeróbio e controlado de transformação de resíduos orgânicos em resíduos estabilizados, com propriedades diferentes do seu material de origem (BIDONE, 1999). A compostagem é um processo controlado de decomposição microbiana, oxidação e oxigenação de uma massa não homogênea (KIEHL, 1998).

Embora a *E. crassipes* apresente diversas vantagens, em alguns casos a planta é avaliada como uma “praga”, por exemplo, pode-se mencionar o trabalho realizado por Mauro e Guimarães (1999) que diante de testes alcançados nas raízes dessas plantas, indicou que a alta atividade microbiológica ali existente beneficia a metilação de mercúrio acarretando impacto ambiental. Essa planta pode diminuir a insolação da superfície do leito do rio, inibindo o crescimento de outras espécies aquáticas.

3.10 NUTRIÇÃO DAS PLANTAS

Para que a planta seja saudável, é necessário manter-se um equilíbrio com seus nutrientes. Contudo, quando é realizado algum tipo de análise química de tecido vegetal, é bastante normal acharem elementos químicos, onde nem todos são atendidos como nutrientes. Isso advém devido a capacidade que as plantas tem de absorver elementos da solução nutritiva, ou do solo, podendo ser um nutriente ou um elemento benéfico e/ou tóxico. Assim, como também, a falta de um nutriente pode acarretar em perdas na produção.

Quanto aos nutrientes, este é definido como um elemento químico essencial às plantas, indispensáveis para o metabolismo, ou seja, sem eles a planta não vive e deve satisfazer alguns critérios para ser caracterizado, entre eles (Arnon & Stout, 1939 apud Mendes, 2007):

- a) A ausência do elemento impede que a planta complete seu ciclo;
- b) A deficiência do elemento é específica, podendo ser prevenida ou corrigida somente mediante seu fornecimento;
- c) O elemento deve estar diretamente envolvido na nutrição da planta, sendo que sua ação não pode decorrer de correção eventual de condições químicas ou microbiológicas desfavoráveis do solo ou do meio de cultura, ou seja, por ação indireta.

Assim como todo ser vivo, as plantas precisam de água e de diversas moléculas orgânicas para sua sobrevivência. Deste modo, os elementos que compõem a água (H_2O) e qualquer molécula orgânica (C, O, H) têm sua essencialidade totalmente comprovada. Esses elementos são absorvidos pelas plantas a partir da água absorvida pelas raízes e do CO_2 absorvido via fotossíntese. Juntamente a esses três elementos, mais seis são absorvidos e exigidos em quantidades superiores aos demais: nitrogênio (N), fósforo (P), enxofre (S), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), compondo os chamados macronutrientes. Já os micronutrientes, que são exigidos em quantidades inferiores aos nove anteriormente citados, são: ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), boro (B) molibdênio (Mo) e cloro (Cl) (MENDES, 2007). Portanto, pode-se dizer que os nutrientes são classificados como macronutrientes e micronutrientes (Tabela 1).

Tabela 1 - Elementos analisados como macronutrientes e micronutrientes.

Nutrientes	Metais	Não metais
Macronutrientes	K, Ca e Mg	C, H, O, N, P e S
Micronutrientes	Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, Co e Ni	B, Cl e Se

Fonte: Adaptada de Malavolta (2008).

Quando um determinado nutriente desempenha sua função na planta, ou seja, a integração das funções bioquímicas, são comprometidas um ou diversos processos fisiológicos importantes (fotossíntese, respiração, etc.) que têm influência no crescimento e na produção das culturas.

Vale ressaltar que essa lista de dezesseis elementos químicos, considerados essenciais, pode crescer de acordo com o avanço da pesquisa. Apesar de existir estudos isolados, alguns autores indicam certos compostos como essenciais às plantas, como o Ni em soja (BROWN et al., 1987), Se (WEN, 1998) e Si em tomateiro (MIYAKE & TAKAHASHI, 1985). Diante a isso, Malavolta (2006) fez uma publicação que incluiu como nutriente o Ni, Se e Co. É aceitável dizer que para que o elemento seja incluído nessa lista, é provavelmente um micronutriente; todavia, acredita-se que estudos adicionais sejam realizados, com a finalidade de atender aos critérios de essencialidade, em um número considerável de espécies de plantas, para que a sociedade científica internacional seja convencida.

Macro e micronutrientes exercem as mesmas funções em todas as plantas, por isso sua falta ou excesso provoca diversos sintomas. A tabela 2 contém um resumo das principais funções desses nutrientes.

Tabela 2 - Funções dos macronutrientes e micronutrientes.

ELEMENTOS	FUNÇÕES
Carbono, hidrogênio e oxigênio	Estrutura dos compostos orgânicos.
Nitrogênio	Composição de aminoácidos e proteínas; síntese de clorofila e algumas enzimas; estimula o crescimento das plantas; aumenta a utilização dos carboidratos disponíveis para a formação das células e do protoplasma.
Fósforo	Regulação da atividade de enzimas; liberação de energia do ATP e do fosfato de nucleotídeo de adenina; constituinte dos ácidos nucléicos; síntese

	de sacarose, fosfolipídios e celulose.
Potássio	Importante na expansão celular; economia de água; abertura e fechamento dos estômatos; ativação de enzimas.
Sódio	Capacidade de substituir o K em funções não específicas, como o K vacuolar, quando o suprimento deste é limitado.
Cálcio	Participa do crescimento da parte aérea e das pontas das raízes; redução do efeito catabólico das citocininas na senescência; regulação do nível de oxalato, fosfato, carbonato; como pectato, na lamela média, funciona como “cimento” entre células adjacentes.
Magnésio	Ocupa o centro do núcleo tetrapirrólico da clorofila; cofator das enzimas que transferem P entre ATP e ADP; fixação de CO ₂ ; estabilização dos ribossomos para a síntese de proteínas.
Cobalto	Parte da coenzima da vitamina B12 – fixação simbiótica do N; ativação da isomerase da metilmelonil CoA – síntese do núcleo pirrólico.
Cobre	Função estrutural em enzimas que podem reagor diretamente com o oxigênio molecular e catalisar preferencialmente processos terminais de oxidação; Proteínas contendo cobre são importantes nos processos terminais da fotossíntese, da respiração, da desintoxificação dos radicais livres de superóxidos e da lignificação.
Ferro	Participante de reações de óxido-redução e de transferência de elétrons; componente de sistemas enzimáticos: oxidases do citocromo, catalases, peroxidases, SOD; papéis indiretos: síntese de clorofila e proteínas, controle da síntese de alanina, crescimento do meristema na ponta da raiz.
Manganês	Atua na fotólise da água, no processo de transferência de elétrons que catalisa a decomposição da molécula de H ₂ O; cofator para redutases de nitrito e hidroxilamina, oxidase de ácido indolacético, polimerase do RNA, fosfoquinase, fosfotransferases.
Níquel	Resistência de doenças (ferrugens); composição estrutural da uréase; formação de complexos estáveis com aminoácidos e ácidos orgânicos.
Zinco	Ativador de várias enzimas, podendo fazer parte da constituição de algumas delas; síntese do ácido indolacético; síntese proteica e redução do nitrato.
Alumínio	Em baixas concentrações estimula o crescimento de algumas plantas.

Fonte: MALAVOLTA, 2006.

3.11 OUTROS ELEMENTOS QUÍMICOS DE INTERESSE NA NUTRIÇÃO VEGETAL

Além dos macronutrientes e micronutrientes, elementos ditos como essenciais para as plantas, existem outros considerados elementos benéficos e, também, o grupo dos elementos tóxicos (elementos não-essenciais).

Com a evolução dos estudos no campo de nutrição das plantas, foi identificado vários elementos que podem ser considerados essenciais para algumas espécies ou mesmo suprir parcialmente a função de elementos essenciais. Outros, quando em concentrações baixas, estimulam o crescimento das plantas, mas sua essencialidade não é demonstrada ou, apenas demonstrada em condições especiais. Esses elementos têm sido classificados como elementos benéficos. O silício e o cobalto são considerados elementos benéficos ao crescimento de determinadas plantas, bem como o Na, o Ni e o Se. Vale destacar que mesmo um nutriente ou elemento benéfico, quando presente em concentrações elevadas na solução do solo pode ser tóxico as plantas (MENDES, 2007).

Já o elemento tóxico, o que não se enquadra como um nutriente ou elemento benéfico, mesmo em concentrações baixas no meio, podem proporcionar um alto potencial maléfico, acumulando-se na cadeia trófica e diminuindo o crescimento podendo levar à morte do vegetal. Como exemplo, pode citar o Al, Cd, Pb, Hg, entre diversos outros. O alumínio tem sido alvo de muito estudo em vista que os solos tropicais têm reação ácida com alta concentração de Al^{+3} tóxico. A presença do mesmo debilita e reduz o crescimento das raízes, interferindo na absorção de nutrientes (P, Mg, Ca e K) (FREITAS et al., 2006).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada foi tomada como base a pesquisa bibliográfica e a pesquisa experimental. Os métodos de análises utilizados seguiram a recomendação da metodologia descrita no Manual de Análise Química de Solos, plantas e fertilizantes da EMBRAPA (1999) e Standard Methods of APHA (2006), os quais são descritos a seguir.

4.1 MATERIAIS

4.1.1 Reagentes

Os reagentes utilizados estão descritos na tabela 3 a seguir.

Tabela 3 - Reagentes utilizados nas análises.

Item	Reagentes	Fabricantes
1	Ácido clorídrico	Dinâmica Química Contemporânea Ltda
2	Ácido nítrico	Impex

Fonte: A autora.

4.1.2 Equipamentos

Os equipamentos utilizados estão descritos na tabela 4 a seguir.

Tabela 4 - Equipamentos utilizados nas análises.

Item	Equipamento	Marca/Modelo
1	Balança analítica	SHIMADZU/AUY220
2	Chapa aquecedora	LUCADEMA/N1040
3	Estufa com circulação forçada de ar	SOLAB/SL-102
4	Forno tipo mufla	NOVUS/N1200
5	Liquidificador	MONDIAL/L-03 0370
6	Fluorescência de Raios-x	SHIMADZU/EDX-7000

Fonte: A autora.

4.2 MÉTODOS

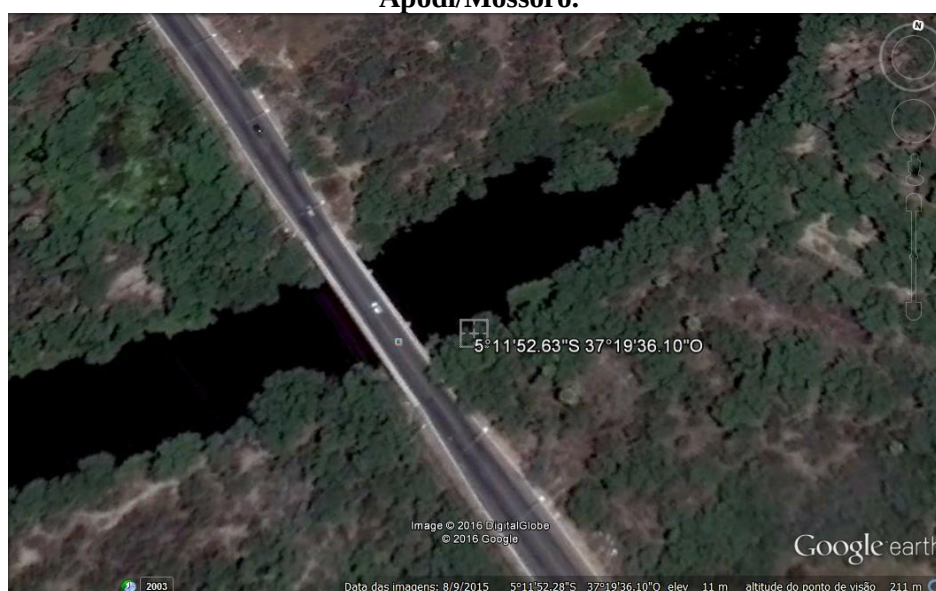
4.2.1 Coleta das Amostras

Foram realizadas coletas mensais, durante 6 meses, dentre os meses de junho à novembro de 2015, em um ponto localizado no trecho do Rio Apodi/Mossoró (Figura 3), que corta a cidade de Mossoró, estrategicamente escolhidos devido a presença de macrófitas nesta região (Figura 4). Foram coletadas água e macrófitas aquáticas da espécie *Eichhornia crassipes*.

As amostras de água foram coletadas sempre próximas às margens do rio em frascos de vidro âmbar, devidamente etiquetados, acidificadas, colocadas em caixa de isopor com gelo e conduzidas para o Laboratório de Química da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Campus Caraúbas, para posterior análise. A água coletada para a análise de metais foi acidificada com 1,0 mL de HNO_3 por litro de amostra.

As plantas aquáticas foram coletadas aleatoriamente, independente da idade ou tamanho, armazenadas em sacos plásticos e conduzidas para o laboratório da UFERSA para a limpeza e o tratamento prévio.

Figura 3 - Coordenada geográfica do ponto de coleta, localizada no trecho do Rio Apodi/Mossoró.



Fonte: Google earth.

Figura 4 - Ponto de coleta realizado no trecho do Rio Apodi/Mossoró.



Fonte: A autora.

4.2.2 Tratamento das Amostras

Para as amostras de macrófitas aquáticas, fez-se uma separação entre as folhas (limbo + pecíolo) e as raízes (Figura 5), o material foram posteriormente lavados com água da torneira e enxaguados exaustivamente com água destilada. Após este processo as plantas foram colocadas em bandejas separadas e levadas para a estufa com circulação forçada de ar à 70°C para o processo de desidratação até peso constante, o que foi atingido com aproximadamente 3 dias (Figura 6). Depois de secas, foram trituradas separadamente, usando um liquidificador com lâminas de aço inoxidável e peneiradas para a homogeneização dos tamanhos das partículas. Utilizou-se cadinhos limpos e secos e, pesou-se aproximadamente 5,0 gramas de cada amostra (folhas e raízes), para serem calcinadas em uma mufla, a uma temperatura de 500°C, onde permaneceram por 3 horas. Após isso, esperou-se a mufla reduzir sua temperatura a 100°C para retirar a amostra e colocá-los no dessecador até esfriar totalmente. Em seguida foram pesadas e armazenadas em frascos plásticos identificados, tampados, devidamente limpos e secos e encaminhadas para a análise de todos os metais previstos por Fluorescência de raios-X no Laboratório de Química da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte - UERN.

Figura 5 - Separação entre as folhas (limbo + pecíolo) e raízes da *Eichhornia crassipes*.



Fonte: A autora.

Figura 6 - Amostra da macrófita aquática após o processo de desidratação.



Fonte: A autora.

Para a análise do teor de metais nas amostras de água foi necessária a realização, previamente, do procedimento de digestão ácida, de acordo com o método 3005 A da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA). Assim, em um erlenmeyer, pipetou-se 100 mL da amostra de água acidificada no momento da coleta, adicionou-se 2,0 mL de ácido nítrico (HNO_3) e 5,0 mL de ácido clorídrico (HCl), e aqueceu-se a uma temperatura que variou entre 90 e 95°C em uma chapa aquecedora, promovendo uma redução substancial do seu volume entre 15 e 20 mL. Depois deste procedimento, o digerido foi filtrado e diluído com água destilada, a um volume conhecido para posterior análise. Preparada 100 mL da solução, a mesma foi levada à estufa, à 105°C, para a secagem completa da água e obtenção dos sais sólidos (Figura 7). Estes, por sua vez, foram pulverizados, homogeneizados, acondicionados em um recipiente apropriado e encaminhados para o Laboratório de Química da UERN para a análise dos metais previstos por Fluorescência de Raios-X.

Figura 7 - Obtenção dos sais sólidos da água do Rio Apodi/Mossoró.



Fonte: A autora.

Para todas as amostras foram utilizadas um sistema em duplicata, tanto para a água quanto para as plantas aquáticas.

4.2.3 Análise de Fluorescência de Raios-X

A composição química dos elementos na água e no tecido vegetal da macrófita aquática foi determinada pela técnica de FRX (Fluorescência de Raios-X). As amostras foram postas em um suporte, onde o fundo do mesmo era de um polímero transparente, para que houvesse a passagem, e conseqüentemente a incidência dos raios-x. Esta análise foi escolhida para realizar a caracterização química dos materiais, pois é uma técnica que consegue identificar e quantificar a presença de alguns elementos importantes para o trabalho.

4.2.4 Determinação do Fator de Translocação (FT) e do Fator de Bioacumulação (FB).

Os fatores de translocação e bioacumulação são usados para a identificação da capacidade acumuladora das plantas em relação a diversos elementos que podem ser absorvidos pelas mesmas. Os fatores de Translocação e Bioacumulação foram calculados através das equações 01 e 02 descritas a seguir.

$$FT = \frac{CF}{CR} \quad \text{(Equação 01)}$$

Onde:

FT= Fator de translocação;

CF= Concentração dos elementos nas folhas;

CR= Concentração dos elementos nas raízes.

$$FB = \frac{CT}{CA} \quad (\text{Equação 02})$$

Onde:

FB= Fator de bioacumulação;

CT= Concentração total dos elementos nas plantas (folhas + raízes);

CA= Concentração dos elementos na água.

4.2.5 Análise de Diferenciação das Médias

A partir dos resultados obtidos, utilizou-se o programa ASSISTAT Versão 7.7 beta para analisar estatisticamente a diferenciação das médias entre os elementos quantificados nas folhas e raízes da *Eichhornia crassipes* e na água do Rio Apodi/Mossoró durante os 6 meses de coleta. Neste programa, é empregado na análise de variância para comparar se há ou não diferenças entre duas médias de tratamentos. Para este trabalho, realizou-se a análise de variância, utilizando o delineamento inteiramente casualizado e o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 INFLUÊNCIA TEMPORAL NOS TEORES DE TODOS OS ELEMENTOS NA ÁGUA DO RIO APODI/MOSSORÓ

Os elementos quantificados nas análises feitas no leito do Rio Apodi/Mossoró entre os meses de junho e novembro foram: Ca, K, S, Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Si, Br, Rb, Sr, Cr, Ag e Lu, onde diversos fatores podem ter contribuído para esses resultados que serão apresentados a seguir, como ações antropogênicas, geologia local, estações climáticas e variáveis ambientais da água.

Estes metais foram divididos em macronutrientes, micronutrientes, elementos benéficos e elementos não-essenciais. Observou-se assim, que o Rio Apodi/Mossoró apresentou uma grande influência temporal quanto aos valores encontrados, por não ter havido precipitação significativa, o regime do rio é influenciado pelas ações antrópicas, ou seja, com uma maior utilização da água por ribeirinhos, juntamente com a evapotranspiração de plantas e evaporação do rio, aumentou-se a concentração dos poluentes na cidade de Mossoró (onde foi realizado a coleta) entre os meses de junho e novembro.

Temos que o comportamento do rio não é uniforme durante todo o ano, com alterações nas concentrações dos elementos que são explicadas devido às características do local e suas devidas condições climáticas que modificam o fluxo e o volume de água. A precipitação de chuvas da cidade de Mossoró está descrita na tabela 5.

Tabela 5 - Precipitação da Cidade de Mossoró-RN no ano de 2015.

Mês	Precipitação 2015
Janeiro	15,3 mm
Fevereiro	142,0 mm
Março	226,4 mm
Abril	43,0 mm
Mai	58,0 mm
Junho	11,9 mm
Julho	4,5 mm
Agosto	1,0 mm
Setembro	0,0 mm
Outubro	0,0 mm
Novembro	0,0 mm
Dezembro	0,0 mm

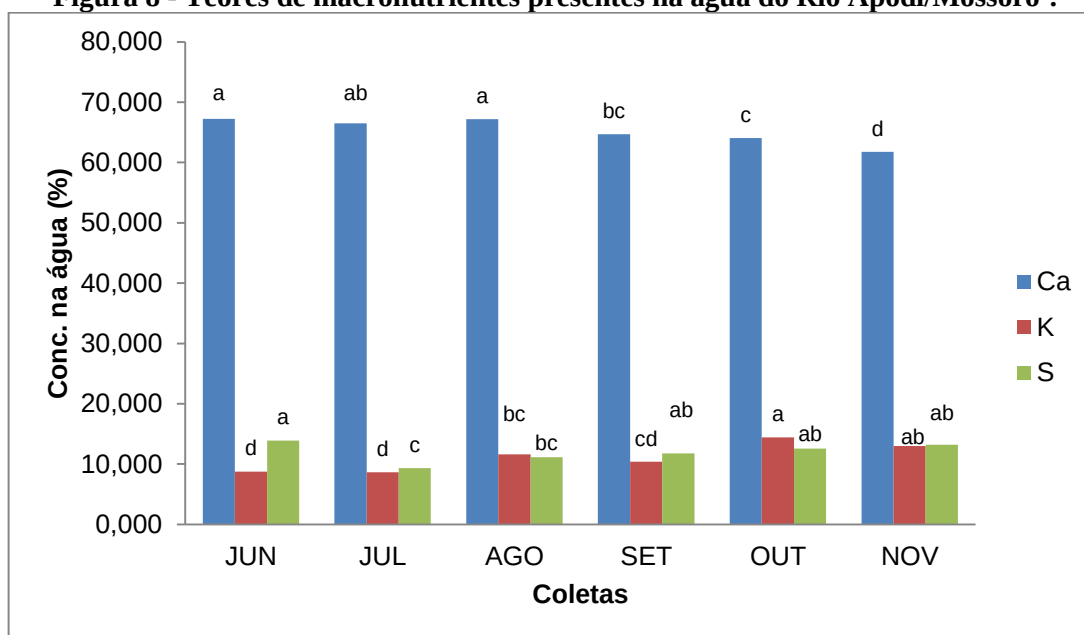
Fonte: EMPARN (2016).

Na figura 8 estão representados os teores dos macronutrientes quantificados na água do Rio Apodi/Mossoró, durante os meses de junho a novembro do ano de 2015. As variações temporais mostraram diferenças significativas na média dos elementos nos meses de coleta. O maior teor quantificado em todos os meses de coleta foi o cálcio, com porcentagem chegando até 67,25% no primeiro mês de coleta, e a menor concentração no último mês. O alto percentual de Ca pode está associado a questões geológicas, devido às características calcárias do solo da região, onde causa um aumento significativo nos valores encontrados na água. Resultados semelhante foi encontrado por Martins et al. (2008a; 2008b) no leito do rio, na mesma localidade.

Com relação ao enxofre, também um macronutriente presente no leito do rio, este elemento teve uma leve variação durante os meses de coleta, onde sua maior concentração foi no primeiro mês (13,875%), assim como o cálcio. Ou seja, à medida que foi diminuindo o volume de água, diminuiu a concentração dos elementos presentes na água do rio. A diminuição desses dois elementos (Ca e S) foi baixa, apesar da diferença significativa no teste estatístico. Em geral, à medida que o teor de cálcio foi diminuindo na água, suas concentrações na composição química da planta sofreram um leve aumento e tenderam a se manter bem próximas uma da outra nos meses seguintes. O enxofre apresentou concentrações maiores na planta à medida que foi diminuindo sua concentração na água, evidenciando também a retirada desse elemento com a presença da planta.

Nesse período da coleta, o rio se encontrava no período de seca, com volume de água baixo. O Enxofre constitui uma fonte de poluição atmosférica biogênica e antrópica e, conseqüentemente, podem ser culpados por danos ambientais, incluindo participação na deposição ácida (CRUZ; CAMPOS, 2008). Abessa e Burone (2003) também encontraram teores de enxofre no Rio Grande de Ubatuba o que possivelmente causou toxidade significativa nas águas durante alguns meses

O potássio apresentou pequenas variações entre os meses de coleta no leito do rio. Este elemento exibiu maior concentração com a diminuição das vazões no leito do rio, ou seja, no período em que a região se apresentava mais seca. Este fato é explicado devido ao lançamento de águas residuárias domésticas e industriais na região, e ainda ao efeito da região litorânea. Com o aumento das marés, o aumento das salinidades da água é constatado em localidades bem próximas aos pontos de coleta referenciados no presente trabalho, podendo assim, sofrerem algum efeito positivo na concentração destes elementos (MARTINS et al., 2008a; 2008b).

Figura 8 - Teores de macronutrientes presentes na água do Rio Apodi/Mossoró¹.

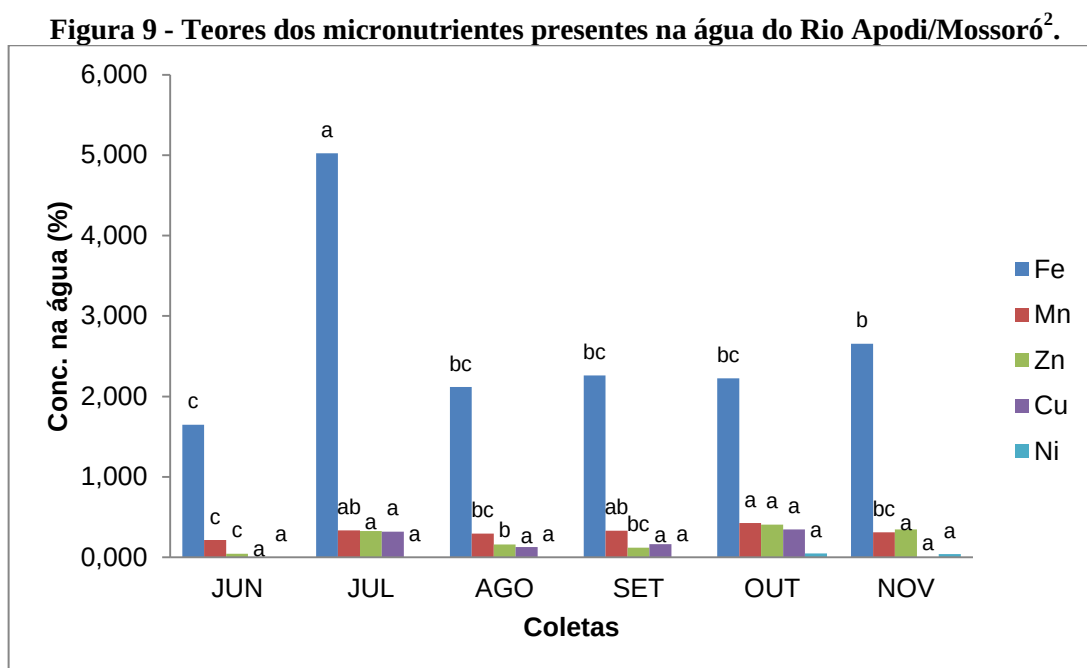
Fonte: A autora.

A figura 9 apresenta as concentrações dos micronutrientes na água do Rio Apodi/Mossoró. O ferro apresentou variação nas concentrações durante os meses de coleta, porém nos meses de agosto, setembro e outubro, de acordo com a análise estatística, não apresentaram diferenças significativas. Dentre estes meses, apenas agosto apresentou precipitação (1mm) e os outros meses não (Tabela 5). Na época do fim do período chuvoso (Junho 2015) em que o rio possui um grande volume de água, as concentrações de ferro diminuem, indicando assim que as diferenças de valores observados de uma coleta para outra se deve a fatores antrópicos ou características geológicas locais. Este teor encontrado está relacionado com a precária conservação dos solos no meio rural, e a ausência de matas remanescentes, intensificando os processos de erosão, acrescentando consideravelmente a quantidade de solo em contato com a água, resultando no aumento da concentração de ferro, tanto solúvel como em suspensão (BARBOZA, 2010).

Com relação ao Manganês, conforme os meses foram passando, apresentou variações nos seus teores quantificados no rio. Deve se destacar que esta tendência é comprovada nos testes estatísticos. O zinco apresentou um maior teor no mês de outubro, assim como o níquel e o cobre. Com a diminuição da jusante total do rio Apodi/Mossoró, aumentou as concentrações desses elementos. Entretanto, o níquel e o cobre, de acordo com a análise estatística, apresentaram valores iguais em todos os meses de coleta, representados pela

¹ As médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna do gráfico não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

mesma letra, não apresentando influência temporal nos resultados durante os meses de junho a novembro de 2015.

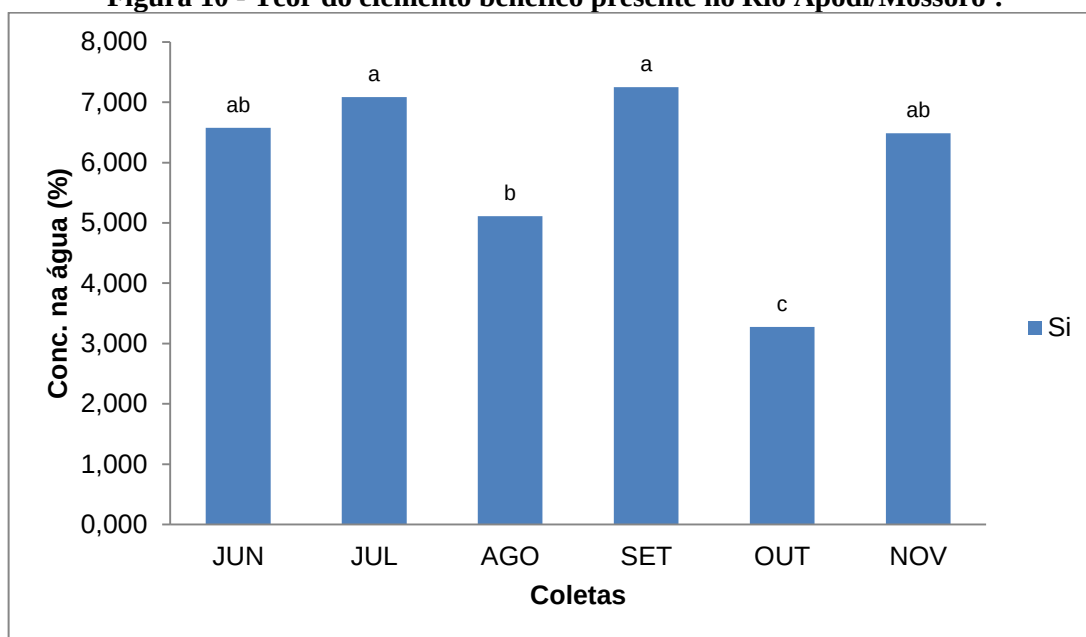


Fonte: A autora.

Dos elementos benéficos quantificados, apenas o Silício, apresentou concentração na água do rio (Figura 10). Exibindo variações de acordo com os meses de coleta, a maior concentração foi apresentada no mês de setembro, com aproximadamente 7,249%, neste período não houve a ocorrência de chuvas, apresentando precipitação de 0 mm, segundo a EMPARN (2016). Provavelmente a concentração deste elemento se deve ao fato de que ele fundamenta estruturas e processos geológicos, biológicos, antropológicos e econômicos. De acordo com Lazzerini e Bonotto (2014), as águas superficiais e as de aquíferos rasos possuem concentrações do teor de silício influenciado pela temperatura atmosférica, presença de CO₂, sílica livre nos solos, salinidade, matéria orgânica, tempo de contato e distância percorrida, a que se explica esse teor.

² As médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna do gráfico não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Figura 10 - Teor do elemento benéfico presente no Rio Apodi/Mossoró³.



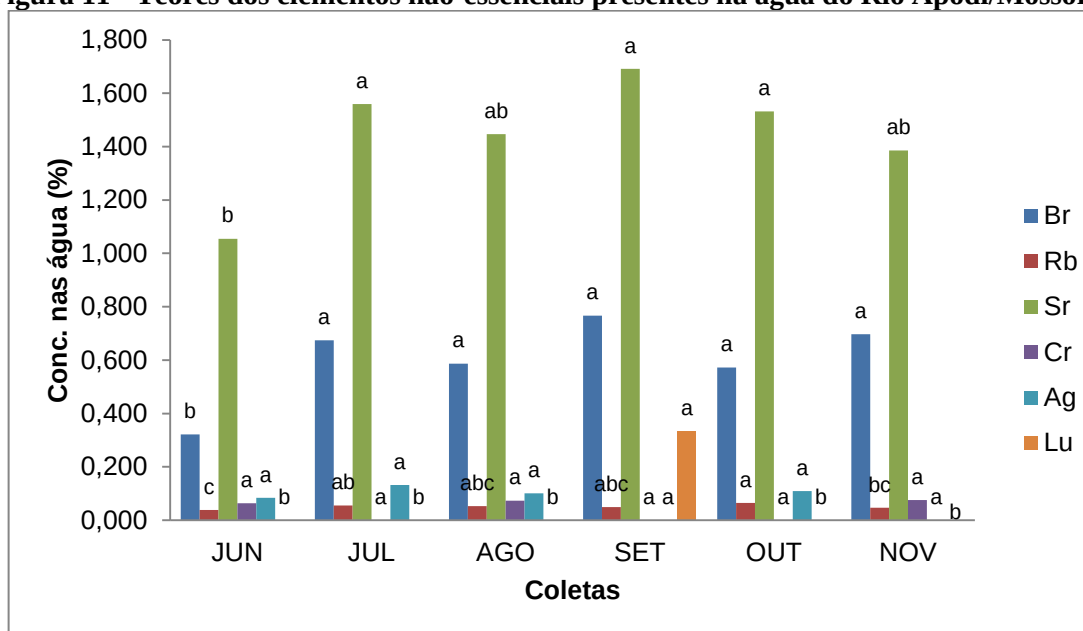
Fonte: A autora.

Na figura 11 estão representadas as concentrações dos elementos não-essenciais no rio. O bromo apresentou variações em suas concentrações, porém a análise estatística mostrou que a partir do mês de julho ao mês de novembro apresentaram concentrações iguais. As chuvas não foram significativas, no entanto, o rio passa em várias cidades que podem ter chovido. Este elemento também foi encontrado em outros trabalhos sobre águas, como o de Frizzo (2006), que encontrou o elemento Bromo em diversas águas de abastecimento público. O Sr apresentou teor variado na composição da água do rio, sua maior concentração foi no mês de setembro e outubro, com a precipitação desses dois meses não passando de 0mm, ou seja, a vazão nesse período foi bem menor, aumentando a concentração do elemento na água. De acordo com a análise estatística (Teste de Tukey) esses dois meses apresentaram concentrações iguais, ao nível de 5% de probabilidade. Um resultado semelhante é o de Queiroz (2009) que também encontrou resquícios de estrôncio nas águas brancas (ricas de sedimentos em suspensão) do rio Solimões.

De acordo com a análise estatística, percebe-se que os elementos como Cr e Ag não apresentaram diferença em seus teores, não apresentando influência na variabilidade temporal. Já o elemento Lu só apresentou variação no mês de setembro, onde o mesmo, não foi determinado no tecido vegetal da planta.

³ As médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna do gráfico não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Figura 11 - Teores dos elementos não-essenciais presentes na água do Rio Apodi/Mossoró⁴.



Fonte: A autora.

Com isso, percebe-se que as mudanças climáticas que foram responsáveis pela alteração no volume de água do rio durante os meses de coleta, afetaram os valores encontrados na concentração dos elementos quantificados. De forma geral, a diminuição deste parâmetro (chuvas) ocasionou o aumento das concentrações dos elementos presentes. A coleta do mês de junho foi realizada no fim do período chuvoso e início do período seco, onde praticamente o rio apresentava um maior volume de água. Com o passar dos meses o volume ia diminuindo com relação à precipitação na cidade de Mossoró. Vale salientar que o ano de 2015 foi marcado por um período de estiagem.

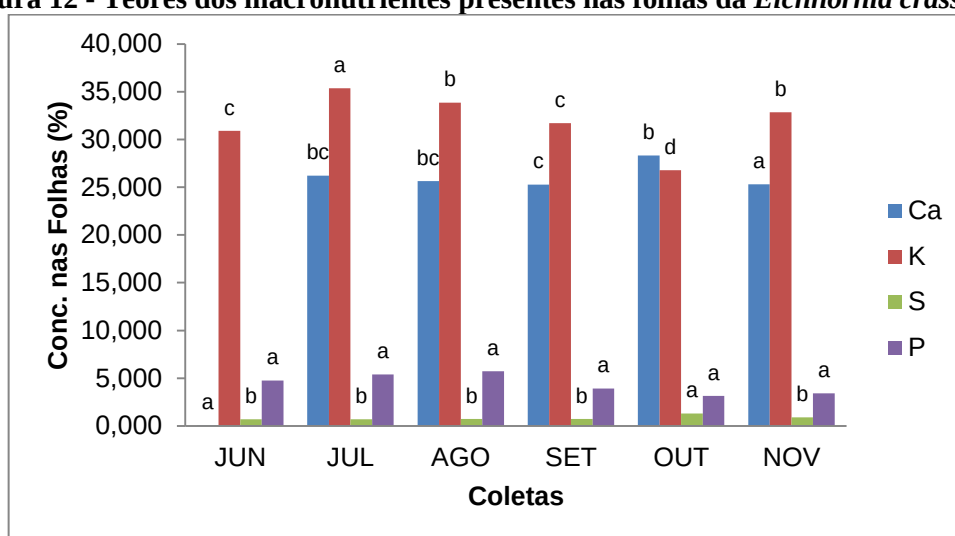
Resultados semelhantes são descritos nos trabalhos de Marques Júnior et al. (2006) e Van Landeghem et al. (2012) verificando influências temporais na qualidade das águas na área do Emissário do Esgoto de Icarai e em bacias hidrográficas urbanas e rurais no Texas, respectivamente. Os autores apontaram que os elementos contidos na água são influenciados pelas próprias características de cada ambiente. Os trabalhos de Day Jr. et al. (1989) e Parsons et al. (1984) mostraram influência na variabilidade temporal em ambientes aquáticos poluídos.

⁴ As médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna do gráfico não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

5.2 INFLUÊNCIA TEMPORAL NOS TEORES DE TODOS OS ELEMENTOS NAS FOLHAS E RAÍZES DA *EICHHORNIA CRASSIPES*

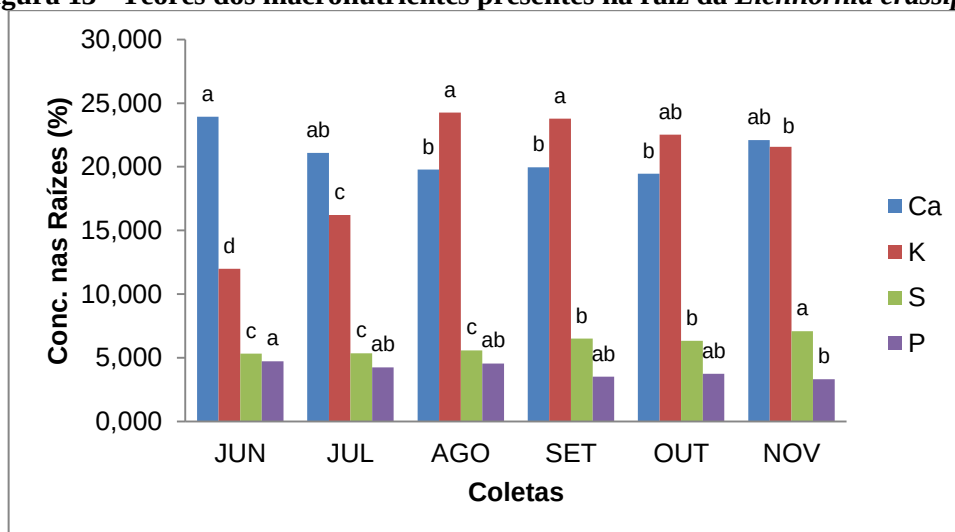
Nas figuras 12 e 13 abaixo estão representados os teores dos macronutrientes quantificados nas folhas e raízes presentes na espécie *Eichhornia crassipes*, durante os meses de junho a novembro do ano de 2015. A partir dessa análise, foram detectados quatro macronutrientes (Cálcio, Potássio, Enxofre e Fósforo).

Figura 12 - Teores dos macronutrientes presentes nas folhas da *Eichhornia crassipes*⁵.



Fonte: A autora.

Figura 13 - Teores dos macronutrientes presentes na raiz da *Eichhornia crassipes*⁶.



Fonte: A autora.

⁵ As médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna do gráfico não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

⁶ As médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna do gráfico não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Analisando os dados de forma genérica temos que a porcentagem do teor de potássio apresentou valor bastante significativo. Nas folhas, esse elemento apresentou variações nas suas concentrações no decorrer dos meses, ficando com valores compreendidos entre 25 e 36%, uma das maiores porcentagens presente nas folhas, competindo apenas com o Cálcio, que apresentou valores significativos nas folhas no período dos meses de julho e novembro. No mês de junho, o potássio apresentou um menor teor quando comparado aos outros meses. Neste mês ocorreu uma maior precipitação de chuvas na cidade de Mossoró, o que diminuiu esse teor, com o aumento do volume de água.

Com relação ao fósforo, este apresentou suas porcentagens de teores entre 3 e 6% nas folhas. Como pode ser observado, no primeiro mês de coleta, este elemento apresentou um valor maior do que na última coleta, ou seja, o mês de junho apresentou uma maior porcentagem do que o mês de novembro, e dentre esses meses, também ocorreu acréscimos e decréscimos nos valores obtidos.

A concentração do enxofre determinado nas folhas foi mínima, apesar de ser um macronutriente, seus valores não passaram de 2%, um valor quase contínuo no decorrer dos meses. De acordo com a análise estatística o fósforo não apresentou variação nas concentrações das folhas, e nas raízes também, com exceção do primeiro e último mês. Este elemento não apresentou concentrações na água do Rio Apodi/Mossoró, devido a isso apresentou em baixas concentrações no tecido vegetal da macrófita utilizada. Em geral, os macronutrientes apresentam maiores concentrações nas folhas, porém, no caso do enxofre, as raízes apresentaram maiores concentrações. Isso é explicado devido à essencialidade, onde o mesmo é necessário para que as plantas desenvolvam suas atividades vitais.

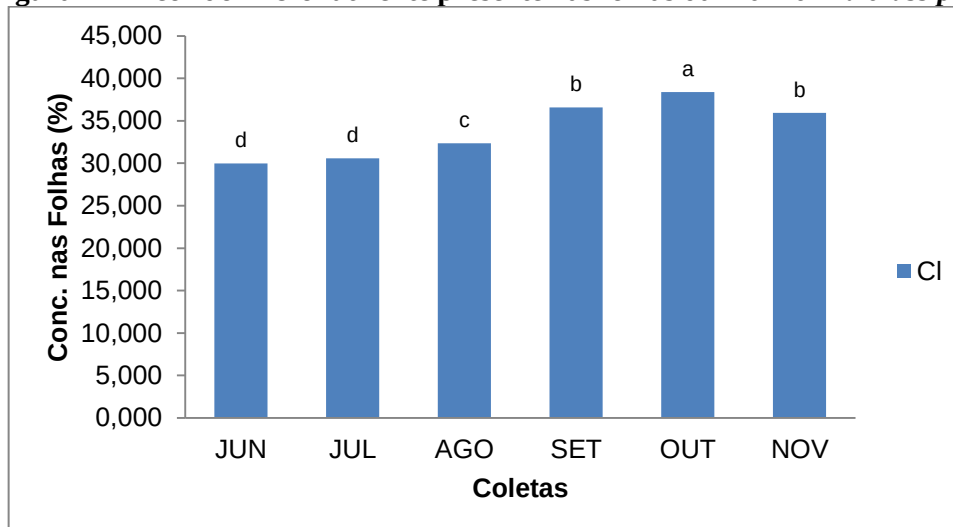
Os macronutrientes quantificados nas raízes da espécie *Eichhornia crassipes* apresentaram teores variados no decorrer dos meses. O cálcio apresentou uma maior quantidade no primeiro mês de coleta e no último mês de coleta, ou seja, nos meses de junho e novembro, apresentando valores de 23,924 e 22,091% respectivamente. Onde se apresenta o fim de um ciclo de chuvas (junho) e o início do mesmo (novembro/dezembro). Já o potássio apresentou valores maiores nos meses de agosto e setembro entre 23 e 25%. Com relação ao enxofre e ao fósforo, o enxofre manteve-se maior entre os dois em todos os meses analisados. Com o comportamento quase igual, porém ainda apresenta acréscimos e decréscimos. Este elemento (S) apresentou um maior teor nas raízes do que nas folhas. Assim, percebe-se a grande influência temporal nos períodos das coletas, ou seja, de acordo que muda o regime do rio, muda-se também as concentrações do mesmo.

Resultados semelhantes foram encontrados na literatura de Henri-Silva e Camargo (2006) que analisou os teores de macronutrientes tanto na espécie *Eichhornia crassipes*, como na espécie *Pistia stratiotes*, e constatarem valores de cálcio e fósforo total no tecido vegetal dessas plantas, coletadas no Centro de Aquicultura da UNESP.

No trabalho de Zhu (2007) foi determinada uma taxa de remoção e recuperação de potássio pela espécie *Eichhornia crassipes*. O trabalho mostrou que a remoção do potássio foi de 69,7% após tratamento com HCl. Neste trabalho, as concentrações de potássio presentes no tecido vegetal da *Eichhornia crassipes* foram significativas, comprovando a presença desse elemento no tecido vegetal da espécie utilizada.

As figuras 14 e 15 são referentes às concentrações nas folhas dos micronutrientes analisados nas seis coletas. O Cloro apresentado na figura 14, apesar de ser um micronutriente, apresentou um teor elevado com relação aos outros elementos, suas maiores concentrações foram no período de setembro e outubro, com concentrações de 36,588% e 38,376% respectivamente, ou seja, nesses meses foram apresentadas nenhuma influência de chuvas, o que aumentou as concentrações desses elementos. Porém, o Cl não foi quantificado na água do rio, devido provavelmente ao método de digestão da amostra utilizado. Com relação à análise estatística, podemos observar que apresentaram diferenças entre suas médias dos meses. O cloro é um elemento facilmente absorvido pelas plantas, sendo bastante móvel, estando presente no tecido vegetal das plantas em concentrações muito maiores do que as requeridas. (KERBAUY, 2004; KIRKBY, 2007).

Figura 14 - Teor do micronutriente presente nas folhas da *Eichhornia crassipes*⁷.

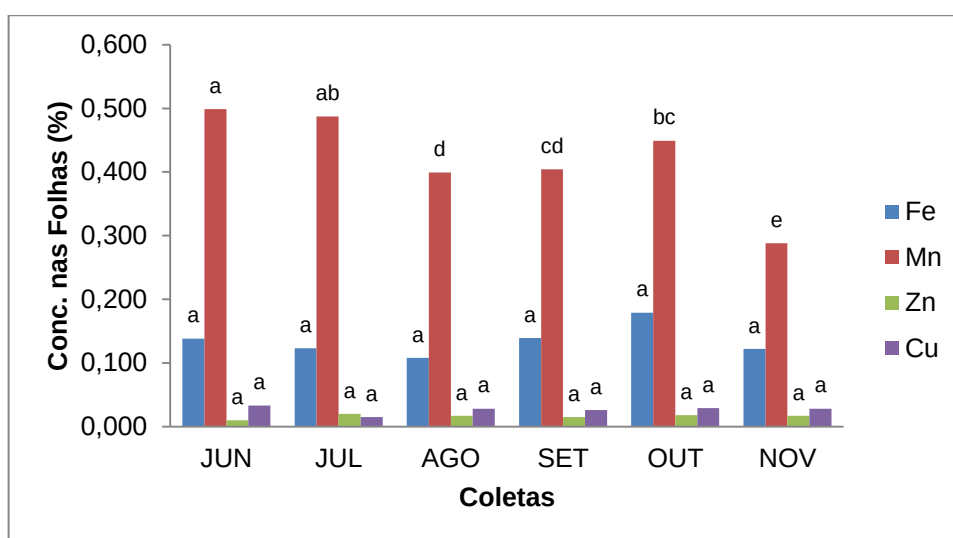


Fonte: A autora.

⁷ As médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna do gráfico não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Na figura 15 estão apresentados os teores de Ferro, Manganês, Zinco e Cobre presentes nas folhas da *Eichhornia crassipes*. As concentrações desses elementos foram menores do que 1%. O manganês foi o segundo micronutriente a apresentar uma maior concentração nos meses da coleta, principalmente nos meses de junho e julho (meses de maior concentração de chuvas). Todos esses elementos com o decorrer dos meses apresentaram acréscimos e decréscimos com relação a sua concentração nas folhas, este fato pode ser explicado quanto à quantidade presente na água e o volume do Rio Apodi/Mossoró.

Figura 15 - Teores dos micronutrientes presentes nas folhas da *Eichhornia crassipes*⁸.



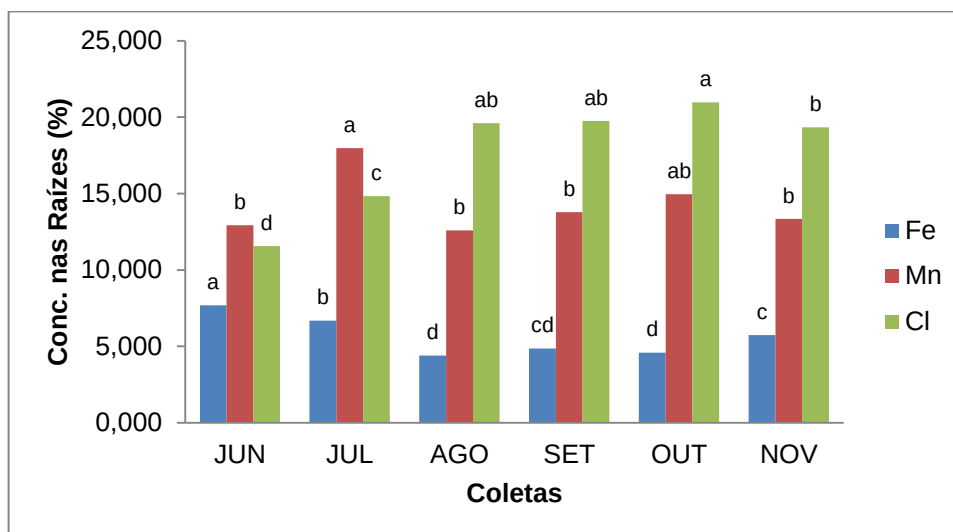
Fonte: A autora.

Já nas figuras 16 e 17 mostram as concentrações dos elementos nas raízes dos micronutrientes. Percebemos então que estes também foram bastante influenciados pela variabilidade temporal. Ou seja, nos meses de junho e julho o manganês apresentou o maior teor dos elementos, com valores de 12,925 e 17,969%, respectivamente. Nesses meses, de acordo com EMPARN (2016), apresentaram maiores índices pluviométricos, aumentando o volume do rio, e consequentemente alterando suas concentrações presentes nele. Já nos outros meses de coleta (agosto, setembro, outubro e novembro) houve um aumento na quantidade do Cloro quando comparada as colheitas anteriores, devido, provavelmente, ao aumento da concentração deste elemento no meio, provocado pelo regime do rio Apodi/Mossoró. O ferro apresentou um teor baixo, porém mais alto de que o zinco, níquel e molibdênio. O molibdênio (que não foi quantificado na água do rio) quase não apresentou teores nas raízes, só foi

⁸ As médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna do gráfico não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

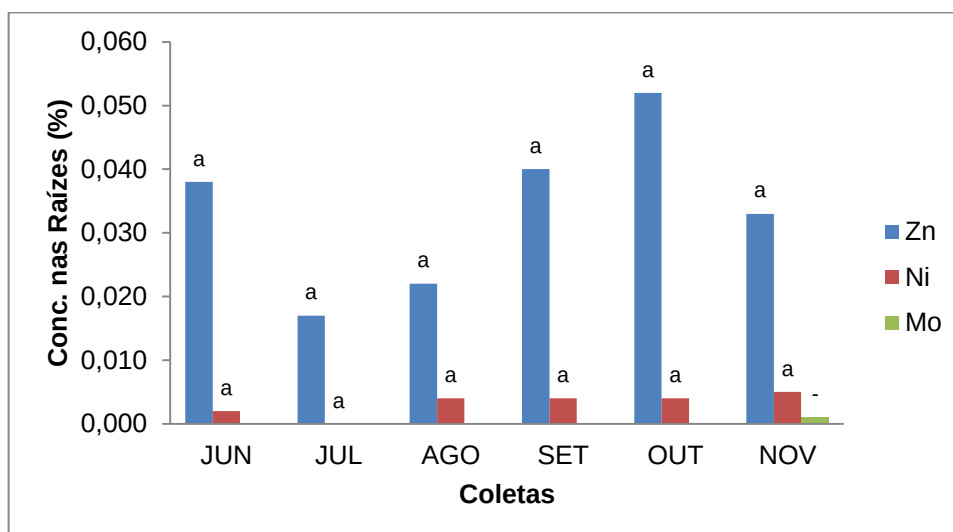
quantificado no ultimo mês e com um valor de 0,001%, ou seja, quase imperceptível. Com relação ao Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade (análise estatística) elementos como Fe, Zn e Cu não tiveram diferenças ao longo do período de coleta entre seus valores.

Figura 16 - Teores dos micronutrientes presentes nas raízes da *Eichhornia crassipes*⁹.



Fonte: A autora.

Figura 17 - Teores dos micronutrientes presentes nas raízes da *Eichhornia crassipes*¹⁰.



Fonte: A autora.

A presença em menor quantidade de ferro e manganês nas folhas em relação às raízes é aceitável, indo de acordo com o disposto na literatura (KIRKBY, 2007; MARTINS, 2014;

⁹ As médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna do gráfico não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

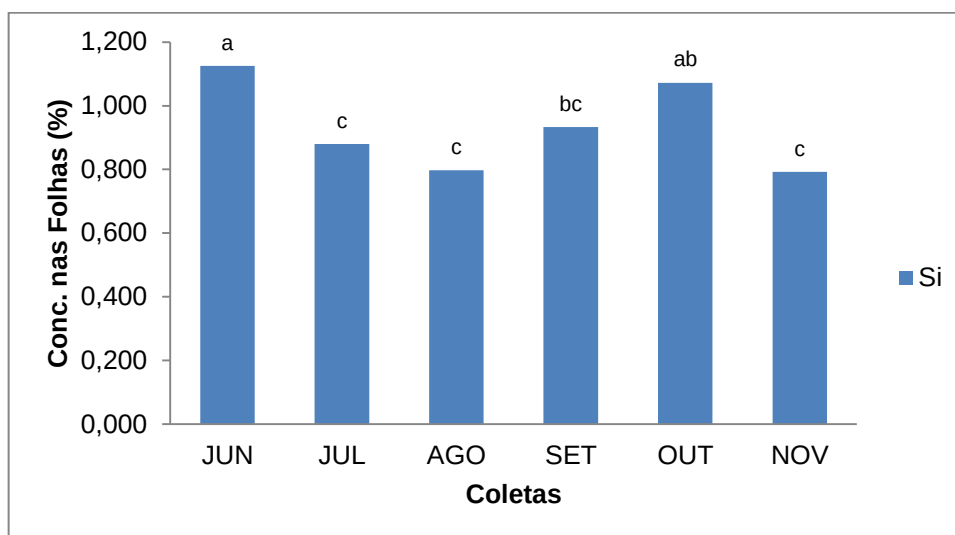
¹⁰ As médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna do gráfico não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

MARTINS et al., 2007). Este fato é explicado quanto à essencialidade do mesmo ao desenvolvimento da planta, e ainda, em função das quantidades encontradas na água e sua variabilidade temporal.

Em outro trabalho semelhante de Vesik et al. (1999) foi encontrado a presença de Ferro sobre a epiderme radicular do aguapé. Um elemento essencial para o desenvolvimento da planta.

Nas figuras 18 e 19 estão apresentadas as quantidades das concentrações dos teores dos elementos benéficos nos seis meses de coleta. Nas folhas, apenas foi identificado os teores de Silício, enquanto nas raízes, foram identificados o Silício e o Alumínio.

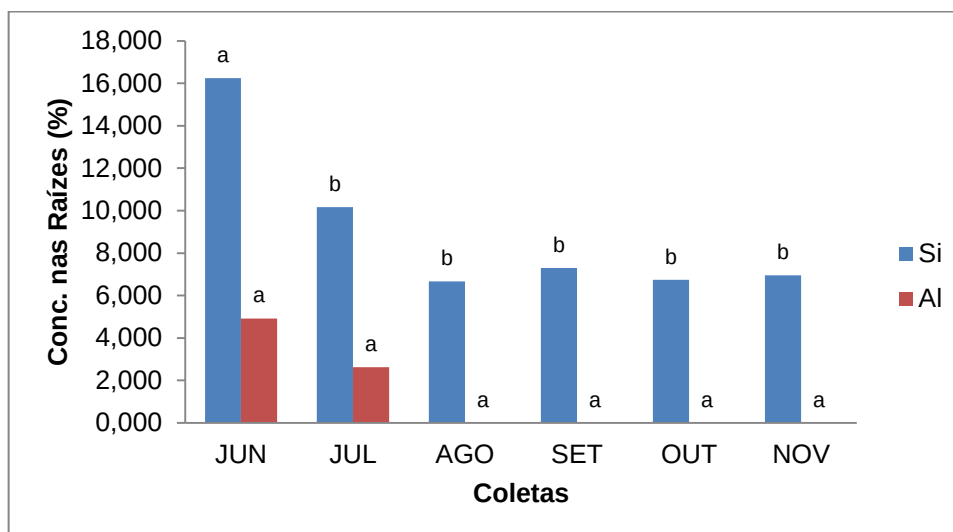
Figura 18 - Teor do elemento benéfico presente nas folhas da *Eichhornia crassipes*¹¹.



Fonte: A autora.

¹¹ As médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna do gráfico não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Figura 19 - Teores dos elementos benéficos presentes nas raízes da *Eichhornia crassipes*¹².



Fonte: A autora.

A concentração do Silício nas folhas foi bem pequena com relação à das raízes. Este elemento também foi influenciado pela variabilidade temporal, visto que não permaneceu estável dentre os meses de coleta. Este elemento apresentou uma maior concentração no primeiro mês de coleta com 16,244% nas raízes e foi decrescendo até o mês de agosto, o mesmo ocorreu com o alumínio, que em junho apresentou um teor 4,911% decrescendo até julho, onde depois da segunda coleta não apresentou teor algum. De acordo com a análise estatística desses elementos nas raízes, apresentaram todos os valores iguais no decorrer dos meses, com exceção do Si no mês de junho.

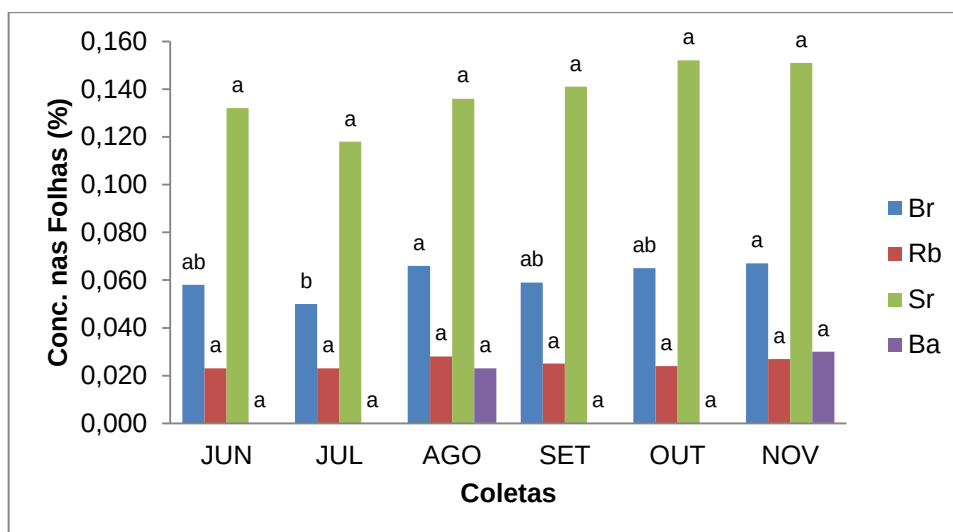
Resultados semelhantes foram identificados no trabalho de Klumpp et al. (2002) ele determinou a concentração do alumínio maiores nas raízes do que nas folhas da espécie *Eichhornia crassipes*. No seu trabalho ele analisou sete localidades ao longo do Rio Cachoeira na Bahia – Brasil, e em todos os pontos de coleta, este elemento teve o mesmo comportamento.

Nas figuras 20 e 21 abaixo, mostram as concentrações dos elementos não-essenciais nas folhas da espécie *Eichhornia crassipes*. Apesar de serem bastantes elementos, suas concentrações não apresentaram altos teores. A maior concentração é de estrôncio no mês de outubro de 2015. E a menor concentração foi a do paládio, que só foi quantizada no mês de outubro com apenas 0,009%. Foi observado que geralmente esses elementos que apresentam

¹² As médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna do gráfico não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

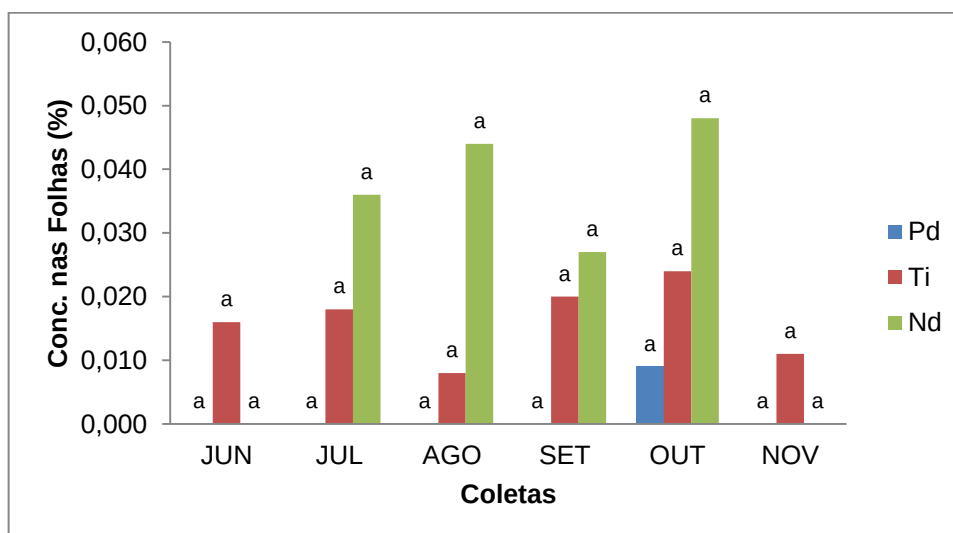
uma menor concentração, têm a facilidade de apresentar valores iguais quando submetidos à análise estatística de diferenciação de médias.

Figura 20 - Teores dos elementos não-essenciais presentes nas folhas da *Eichhornia crassipes*¹³.



Fonte: A autora.

Figura 21 - Teores dos elementos não-essenciais presentes nas folhas da *Eichhornia crassipes*¹⁴.



Fonte: A autora.

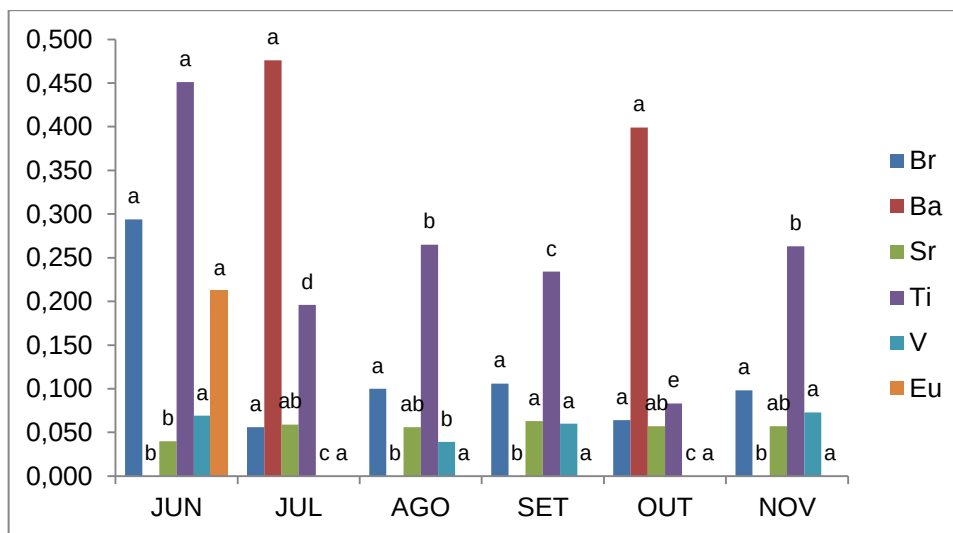
Os gráficos das concentrações dos elementos não-essenciais nas raízes da espécie analisada, estão apresentados nas figuras 22 e 23. Foram quantificados elementos como

¹³ As médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna do gráfico não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

¹⁴ As médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna do gráfico não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

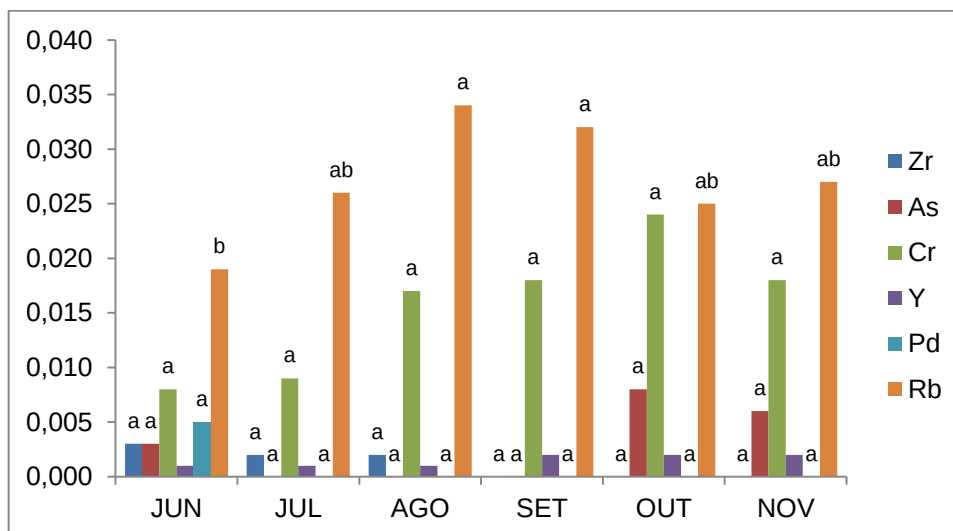
bromo, bário, estrôncio, titânio, vanádio, európio, zircônio, arsênio, cromo, ítrio, paládio e rubídio.

Figura 22 - Teores dos elementos não-essenciais presentes nas raízes da *Eichhornia crassipes*¹⁵.



Fonte: A autora.

Figura 23 - Teores dos elementos não-essenciais presentes nas raízes da *Eichhornia crassipes*¹⁶.



Fonte: A autora.

O elemento que apresentou maiores concentrações foi o bário nos meses de julho e outubro, nos outros meses este elemento não foi quantificado, o que seria uma grande

¹⁵ As médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna do gráfico não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

¹⁶ As médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna do gráfico não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

influência da variabilidade temporal. Em seguida, o maior foi o titânio, que foi quantificado em todos os meses, apresentando altos e baixos em suas concentrações. Alguns elementos como európio e paládio, apenas foram quantificados em um mês, durante todo o período do estudo. Estes elementos não foram quantificados na água do rio, devido suas baixas concentrações, provavelmente. Elementos como Br, Zr, As, Cr e Pd não diferenciaram suas médias ao longo do período de colheita, de acordo com a análise estatística de diferenciação de médias, e o elemento como ítrio, não foi possível de ser calculado por apresentar valores próximos de zero.

No geral, vimos que os elementos que são classificados como não essenciais, ou seja, elementos tóxicos são quantificados com maiores teores nas raízes do que nas folhas. Assim, temos que dependendo da sua concentração no ambiente em que a macrófita utilizada no trabalho se encontra, eles acabam competindo com os nutrientes essenciais ao desenvolvimento da planta e são absorvidos e transportados no tecido vegetal.

5.3 INFLUÊNCIA NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA *EICHHORNIA CRASSIPES*

As tabelas 6 e 7 abaixo apresentam os resultados das concentrações dos elementos no tecido vegetal da *Eichhornia crassipes* nas folhas e raízes, respectivamente. Foram encontrados 28 elementos nos seis meses de coleta, dentre eles temos, bromo, cálcio, ferro, manganês, potássio, rubídio, enxofre, silício, estrôncio, cloro, fosforo, titânio, zinco, alumínio, cobre, vanádio, ítrio, zircônio, arsênio, cromo, európio, níquel, paládio, bário, prata, neodímio, lutécio e molibdênio.

Tabela 6 - Médias e Desvios padrões dos elementos quantificados nas folhas da *Eichhornia crassipes* presentes no Rio Apodi/Mossoró.

ANALITO	MESES DAS COLETAS					
	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO
Br	0,058 ± 0,008	0,050 ± 0,003	0,066 ± 0,001	0,059 ± 0,003	0,572 ± 0,006	0,067 ± 0,003
Ca	31,407 ± 1,622	26,202 ± 0,086	25,652 ± 0,585	25,287 ± 0,247	64,034 ± 0,069	25,312 ± 0,319
Fe	0,138 ± 0,153	0,123 ± 0,001	0,108 ± 0,002	0,139 ± 0,001	2,226 ± 0,001	0,122 ± 0,007
K	30,904 ± 0,239	35,368 ± 0,192	33,854 ± 0,470	31,699 ± 0,115	14,401 ± 0,021	32,864 ± 0,200
Mn	0,499 ± 0,018	0,487 ± 0,020	0,399 ± 0,006	0,404 ± 0,004	0,427 ± 0,011	0,288 ± 0,011
Rb	0,023 ± 0,004	0,023 ± 0,003	0,028 ± 0,001	0,025 ± 0,001	0,065 ± 0,005	0,027 ± 0,001
S	0,694 ± 0,035	0,703 ± 0,001	0,733 ± 0,026	0,737 ± 0,049	12,555 ± 0,086	0,913 ± 0,031
Si	1,125 ± 0,052	0,880 ± 0,023	0,797 ± 0,064	0,933 ± 0,028	3,278 ± 0,142	0,792 ± 0,064
Sr	0,132 ± 0,021	0,118 ± 0,013	0,136 ± 0,001	0,141 ± 0,010	1,532 ± 0,064	0,151 ± 0,006

Cl	29,980 ± 0,308	30,566 ± 0,255	32,372 ± 0,454	36,588 ± 0,008	0,000 ± 0,000	35,953 ± 0,323
P	4,741 ± 1,467	5,394 ± 0,564	5,738 ± 0,279	3,905 ± 0,426	0,000 ± 0,000	3,429 ± 0,345
Ti	0,016 ± 0,022	0,018 ± 0,002	0,008 ± 0,011	0,020 ± 0,001	0,000 ± 0,000	0,011 ± 0,015
Zn	0,010 ± 0,014	0,020 ± 0,001	0,017 ± 0,001	0,015 ± 0,001	0,407 ± 0,012	0,017 ± 0,000
Al	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000
Cu	0,033 ± 0,001	0,015 ± 0,021	0,028 ± 0,001	0,026 ± 0,002	0,347 ± 0,004	0,028 ± 0,000
V	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000
Y	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000
Zr	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000
As	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000
Cr	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000
Eu	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000
Ni	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,050 ± 0,070	0,000 ± 0,000
Pd	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000
Ba	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,023 ± 0,032	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,030 ± 0,042
Ag	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,109 ± 0,154	0,000 ± 0,000
Nd	0,000 ± 0,000	0,036 ± 0,005	0,044 ± 0,004	0,027 ± 0,037	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000
Lu	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000
Mo	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000

Fonte: A autora.

Tabela 7 - Médias e Desvios padrões dos elementos quantificados nas raízes da *Eichhornia crassipes* presentes no Rio Apodi/Mossoró.

ANALITO	MESES DE COLETA					
	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO
Br	0,294 ± 0,305	0,056 ± 0,008	0,100 ± 0,006	0,106 ± 0,010	0,063 ± 0,002	0,098 ± 0,008
Ca	23,924 ± 0,629	21,091 ± 1,114	19,775 ± 0,241	19,955 ± 1,059	19,445 ± 1,087	22,091 ± 0,989
Fe	7,691 ± 0,257	6,674 ± 0,500	4,396 ± 0,091	4,864 ± 0,025	4,596 ± 0,023	5,734 ± 0,040
K	11,991 ± 0,423	16,223 ± 0,144	24,249 ± 0,326	23,773 ± 0,741	22,519 ± 0,845	21,565 ± 0,460
Mn	12,925 ± 0,143	17,969 ± 2,126	12,598 ± 0,160	13,785 ± 0,073	14,956 ± 0,054	13,335 ± 0,070
Rb	0,019 ± 0,002	0,026 ± 0,004	0,034 ± 0,002	0,032 ± 0,004	0,025 ± 0,002	0,027 ± 0,002
S	5,329 ± 0,095	5,350 ± 0,100	5,582 ± 0,091	6,499 ± 0,037	6,327 ± 0,179	7,087 ± 0,029
Si	16,244 ± 0,211	10,170 ± 0,635	6,666 ± 2,519	7,300 ± 0,425	6,739 ± 0,376	6,960 ± 0,011
Sr	0,040 ± 0,006	0,059 ± 0,006	0,056 ± 0,003	0,063 ± 0,008	0,057 ± 0,002	0,057 ± 0,003
Cl	11,572 ± 0,028	14,832 ± 0,399	19,600 ± 0,246	19,751 ± 0,451	20,969 ± 0,593	19,327 ± 0,250
P	4,717 ± 0,578	4,236 ± 0,081	4,559 ± 0,460	3,516 ± 0,246	3,739 ± 0,054	3,323 ± 0,267
Ti	0,451 ± 0,010	0,196 ± 0,011	0,265 ± 0,003	0,234 ± 0,001	0,083 ± 0,004	0,263 ± 0,005
Zn	0,038 ± 0,002	0,017 ± 0,023	0,022 ± 0,029	0,040 ± 0,000	0,052 ± 0,001	0,033 ± 0,029
Al	4,911 ± 0,661	2,618 ± 3,702	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000
Cu	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000
V	0,069 ± 0,008	0,000 ± 0,000	0,039 ± 0,001	0,060 ± 0,004	0,000 ± 0,000	0,073 ± 0,008
Y	0,001 ± 0,000	0,001 ± 0,000	0,001 ± 0,000	0,002 ± 0,001	0,002 ± 0,001	0,002 ± 0,000
Zr	0,003 ± 0,004	0,002 ± 0,003	0,002 ± 0,003	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000

As	0,003 ± 0,004	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,008 ± 0,001	0,006 ± 0,008
Cr	0,008 ± 0,011	0,009 ± 0,012	0,017 ± 0,001	0,018 ± 0,001	0,024 ± 0,011	0,018 ± 0,004
Eu	0,212 ± 0,300	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000
Ni	0,002 ± 0,002	0,000 ± 0,000	0,004 ± 0,006	0,004 ± 0,006	0,004 ± 0,006	0,005 ± 0,006
Pd	0,005 ± 0,007	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000
Ba	0,000 ± 0,000	0,476 ± 0,067	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,399 ± 0,010	0,000 ± 0,000
Ag	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000
Nd	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000
Lu	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000
Mo	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	0,001 ± 0,001

Fonte: A autora.

Com relação aos elementos quantificados no tecido vegetal da macrófita utilizada neste trabalho, pode-se identificar uma influência fisiológica nas concentrações de macronutrientes, micronutrientes, elementos benéficos e elementos não-essenciais presentes na mesma.

Elementos como o cálcio, potássio e fósforo (macronutrientes) tenderam a se acumular mais nas folhas. Este comportamento é totalmente explicado em função da essencialidade dos mesmos para o desenvolvimento das plantas (MARTINS et al., 2011). Enquanto que o enxofre, também um macronutriente, apresentou sua concentração nas raízes em maior quantidade, devido à macrófita não apresentar alta capacidade em translocá-lo. De acordo com Malavolta (1980) e Raji (1991), a forma de S absorvida da solução do solo pelas raízes é a altamente oxidada - o sulfato. O sulfato é transportado na direção acrópeta, ou seja, da base da planta para cima; a capacidade da planta para mover o enxofre na direção basípeta é muito pequena; Esse elemento (S) constitui uma fonte significativa de poluição atmosférica biogênica e antrópica e, conseqüentemente, podem ser culpados por danos ambientais, incluindo participação na deposição ácida (CRUZ e CAMPOS, 2008). O cálcio por sua vez, como teve uma grande concentração na água do rio Apodi/Mossoró, também apresentou altas concentrações no tecido vegetal da *Eichhornia crassipes* nos seis meses de coleta.

Os micronutrientes em comparação com os macronutrientes são absorvidos em pequenas quantidades. Contudo, deve-se lembrar que, apesar desses elementos terem baixas concentrações, são tão importantes quanto os macronutrientes, evidentemente à depender do estágio fenológico da planta, para o desenvolvimento das macrófitas (KIRKBY; ROMHELD, 2007).

Neste trabalho, micronutrientes como o Fe, Mn, Ni, Zn, tiveram maiores concentrações nas raízes, enquanto Cl nas folhas. O Mo foi quantificado somente no último

mês, nas raízes. Já o cobre, foi quantificado somente nas folhas, detectado durante os seis meses de estudo.

Os elementos benéficos quantificados (Si e Al) tenderam a se acumular mais nas raízes do que nas folhas, vale ressaltar que o alumínio só apresentou teor nos dois primeiros meses de coleta. O alumínio não apresentou teor na água durante o período de coleta, mas nas raízes teve uma quantidade significativa, esse valor já era esperado, pois esse elemento é o cátion mais abundante na crosta terrestre, com participação na estrutura de vários minerais primários (FAQUIN, 2005). Destaca-se ainda que o comportamento dos teores serem maiores nas raízes é função da pequena necessidade para o desenvolvimento das plantas. Desta forma, o processo de translocação das raízes para as folhas é dificultado.

Os elementos não-essenciais, que são caracterizados os que não se enquadram como um nutriente ou elemento benéfico, e mesmo em concentrações baixas no meio, podem proporcionar um alto potencial maléfico, acumulando-se na cadeia trófica e diminuindo o crescimento podendo levar à morte do vegetal (FREITAS et al., 2001). Esses elementos apresentaram diferenças no seu comportamento, alguns se acumularam em maior quantidade nas raízes como o Br, Rb, Ti, V, Y, Zr, As, Cr e outros nas folhas como Sr, Nd e Ag. Alguns desses elementos só foram quantificados em apenas um mês de coleta como o Pd e Eu, que só apresentaram teores no mês de junho, ou seja, apenas no primeiro mês de coleta.

Alguns dos valores, o desvio padrão apresentou-se maior do que a média das folhas ou raízes, isso pode ser explicado quanto ao fato de que algumas concentrações são muito pequenas para o limite da técnica de FRX (Fluorescência de Raios-X).

Resultados semelhantes foram encontrados na literatura de Martins (2014) que analisou a macrófita aquática *Eichhornia crassipes*. Quanto à questão fisiológica dessa espécie, ele mostrou que Fe, Mn e Al (micronutrientes e elementos benéficos) apresentaram concentrações maiores nas raízes, enquanto o Ca e K, com níveis mais elevados nas folhas.

O fato desses elementos se acumularem nas raízes e/ou nas folhas explica-se em função da necessidade que a espécie utilizada tem de absorver esses nutrientes para seu desenvolvimento.

Comportamento equivalente temos na literatura de Mangabeira et al. (2006) feitos na Universidade de Chicago que apresentou concentrações maiores nas raízes da planta de espécie *Borreria scabiosoides* em função do cromo, um elemento tóxico, do que nas folhas da mesma.

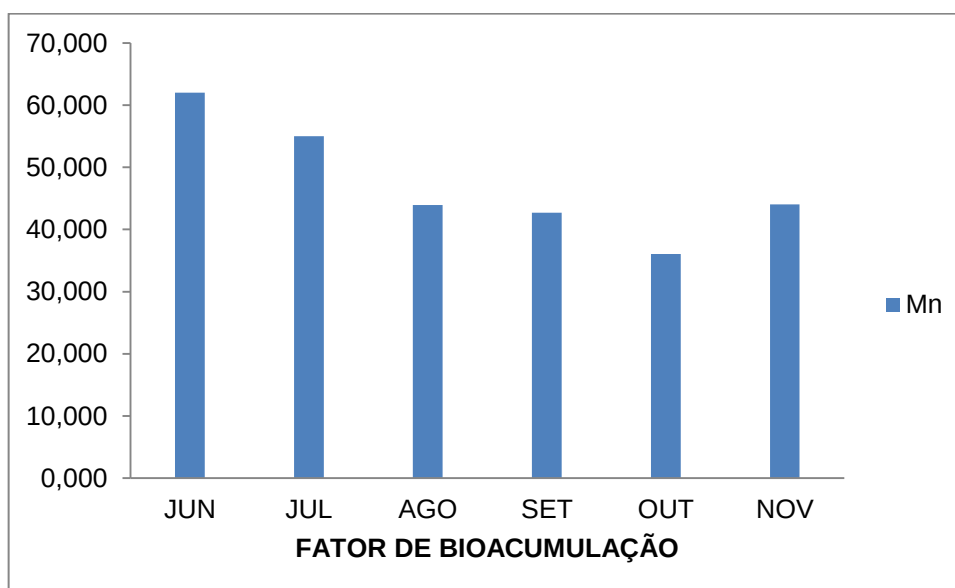
Na literatura de Lima et al. (2003) também apresentou resultados semelhantes, foram encontradas concentrações de Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn e Al nos tecidos vegetais do aguapé (*Eichhornia crassipes*) e alface d'água (*Pistia stratiotes*) na localidade da bacia hidrográfica do Rio Canguiri. Na parte radicular das espécies observou-se concentrações de Na, Mg, Fe, Cu e Al e na parte aérea de Ca e K. De acordo com Wolverton e McDonald (1979) essa diferença pode ser atribuída, em parte, ao fato de que o aguapé acumula sódio e magnésio nos estômatos e raízes, e cálcio, potássio, fósforo e nitrogênio nas folhas.

5.4 FATOR DE TRANSLOCAÇÃO E FATOR DE BIOACUMULAÇÃO

Com relação aos fatores de translocação e bioacumulação, quando esses parâmetros apresentam valores maiores que a unidade, há uma indicação da elevada taxa de absorção do elemento, no caso do fator de bioacumulação, e sua preferência em se acumular na parte aérea, quando se trata do fator de translocação.

Os resultados dos fatores de translocação e bioacumulação dos elementos contidos nas plantas estão descritos a seguir. Na figura 24, o manganês apresenta o maior fator de bioacumulação com valores que chegaram até 62,005 % no primeiro mês de coleta. Ou seja, a *Eichhornia crassipes* tem alta capacidade de bioacumular o manganês em seu tecido vegetal.

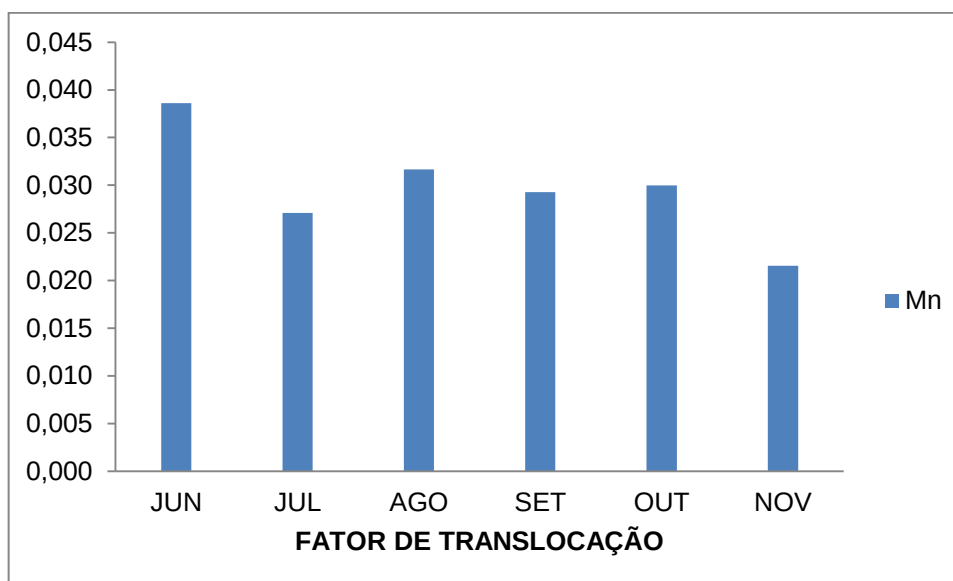
Figura 24 - Fator de bioacumulação do Mn.



Fonte: A autora.

Na figura 25 esta representado o fator de translocação do Manganês, que não passou de 0,050%. De acordo com Malavolta (1980) este fator de translocação baixo pode ser explicado quanto ao fato deste elemento proporcionar pouca mobilidade nas plantas, não apresentando capacidade em translocar das folhas para as raízes. Também pode ser considerado que o metabolismo das macrófitas, consomem parte dos elementos presentes.

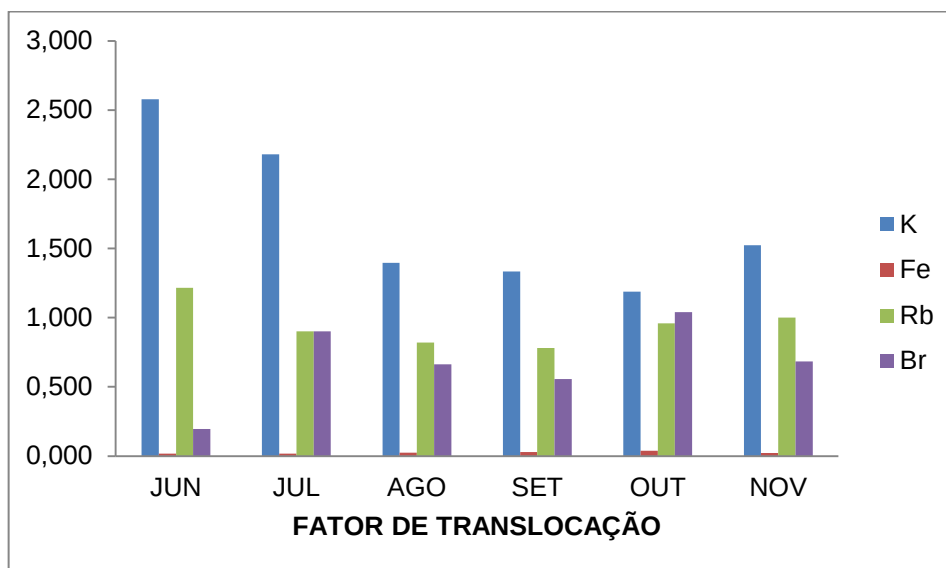
Figura 25 - Fator de translocação do Mn.



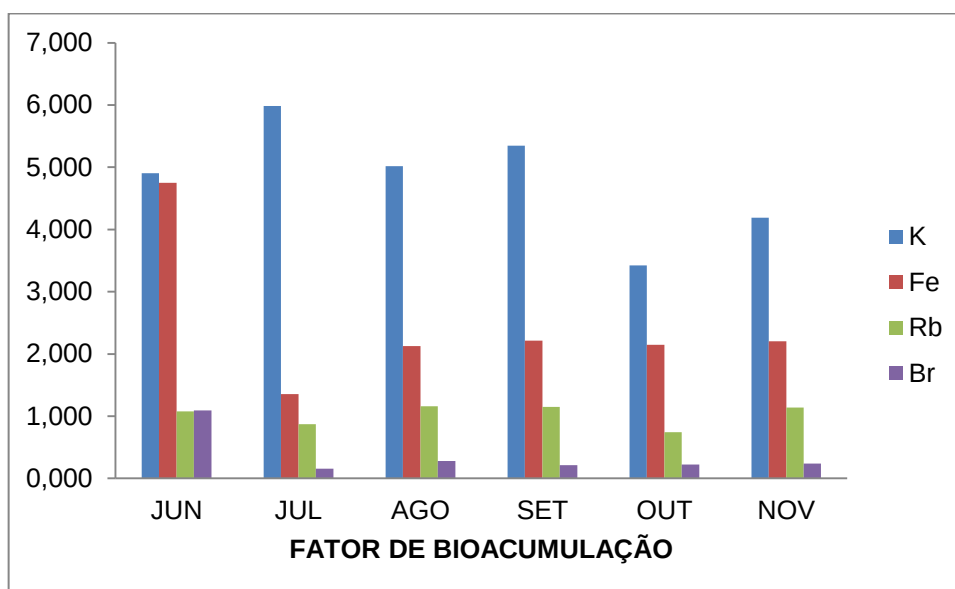
Fonte: A autora.

Deve-se destacar ainda que, embora o manganês seja um micronutriente, a *Eichhornia crassipes* apresentou um elevado fator de bioacumulação no seu tecido vegetal. Torna-se bastante evidente ainda a influência temporal nos fatores de translocação e bioacumulação calculados.

Na figura 26 são apresentados os fatores de translocação e na figura 27 de bioacumulação do potássio, ferro, rubídio e Bromo. O potássio exibiu nos seis meses de coleta valores acima de um, tanto no fator de translocação (FT), quanto no fator de bioacumulação (FB). Já o ferro, não conseguiu valores de fator de translocação elevados e maiores do que a unidade, apenas no fator de bioacumulação, evidenciado a capacidade que a planta apresenta em acumular este elemento. O rubídio apresentou concentrações diferentes entre os meses, apenas no primeiro mês (junho) e no último mês (novembro) obteve valores de fator de translocação e bioacumulação maior que a unidade. O Bromo só apresentou tendência em se acumular na planta no primeiro mês e de translocar no quinto mês de coleta.

Figura 26 - Fator de Translocação (K, Fe, Rb e Br).

Fonte: A autora.

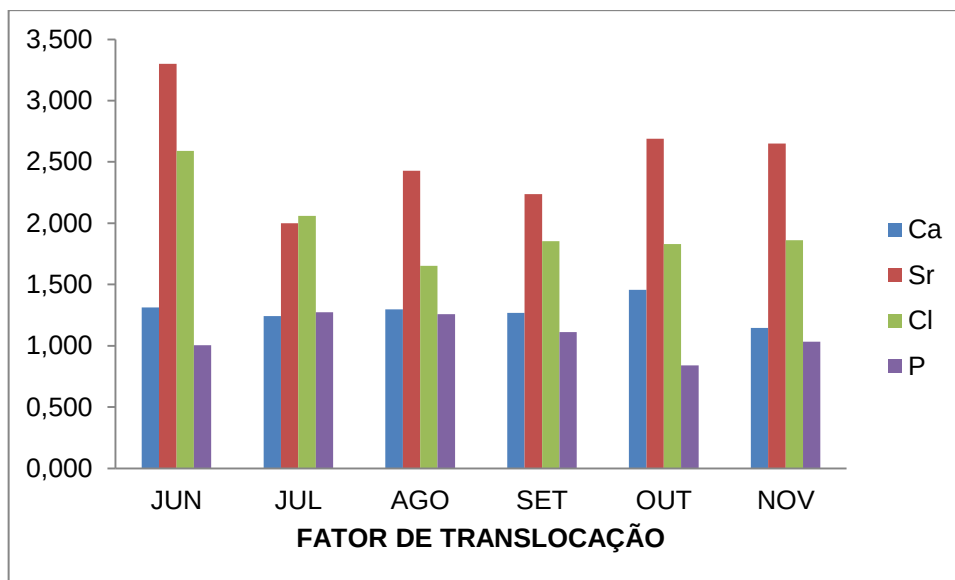
Figura 27 - Fator de Bioacumulação (K, Fe, Rb e Br).

Fonte: A autora.

Os elementos como cálcio, estrôncio, cloro e fósforo estão descritos na figura 28 com relação ao fator de translocação e na figura 29 de bioacumulação. Com relação ao Ca, Sr e Cl obtiveram um fator de translocação maiores do que um, evidenciando a capacidade em que a planta apresenta em translocar estes elementos. O fósforo apresentou FT maior do que um em todos os meses de coleta, com exceção do mês de outubro, o FB desse elemento não foi

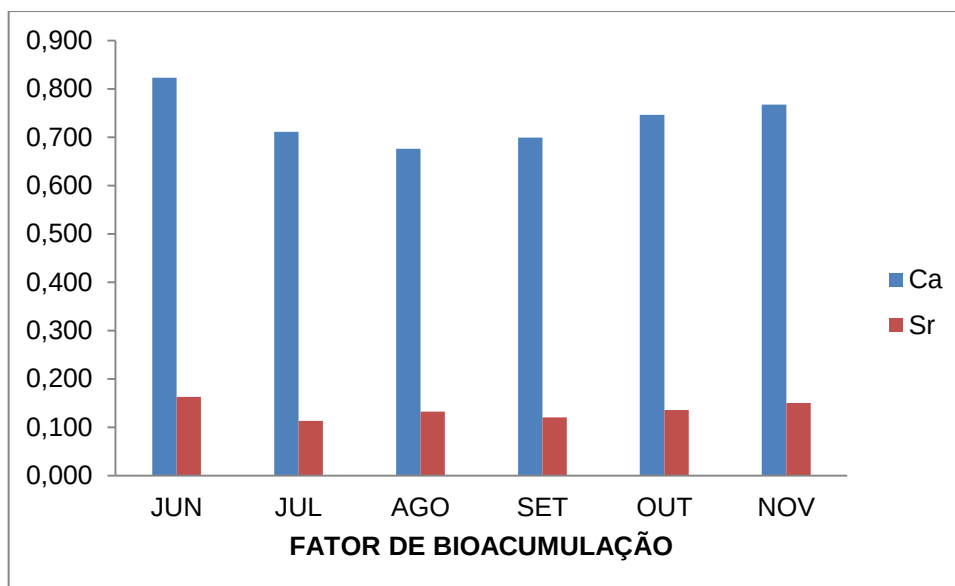
possível de ser calculado devido não apresentar teores na água, impossibilitando o cálculo (não existe divisão por zero).

Figura 28 - Fator de Translocação (Ca, Sr).



Fonte: A autora.

Figura 29 - Fator de bioacumulação (Ca, Sr).

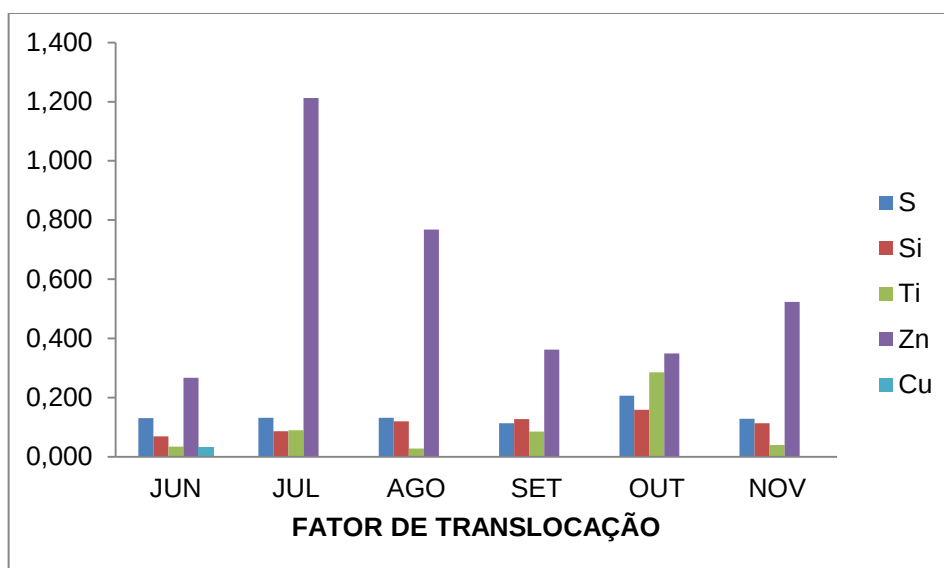


Fonte: A autora.

Nas figuras 30 e 31 estão representados os valores dos fatores de translocação e bioacumulação de seis elementos, no decorrer dos meses de coleta. Os elementos que apresentaram fator de translocação maiores que um foi o zinco no segundo mês de coleta.

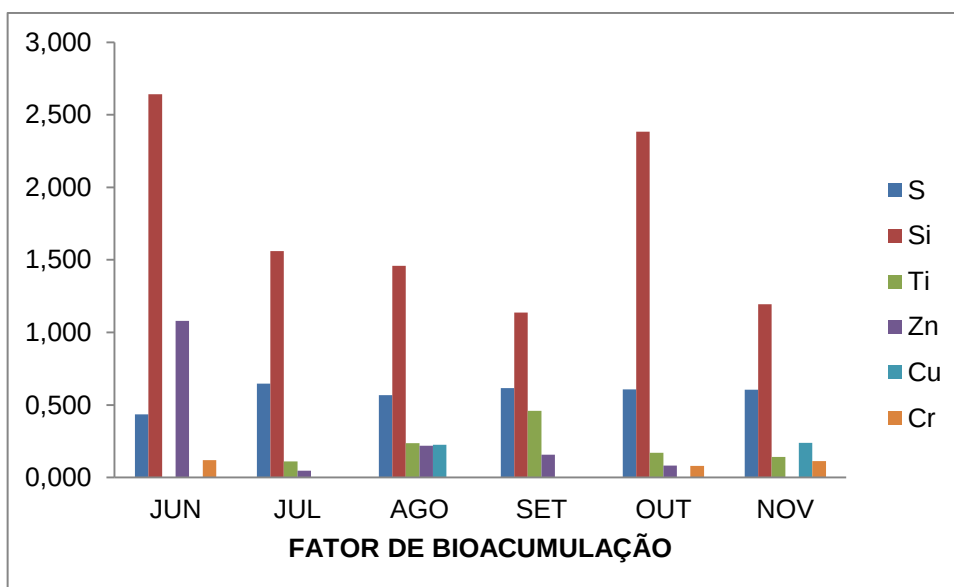
Com relação ao fator de bioacumulação o silício apresentou valores significativos para a pesquisa, ou seja, maiores que um, mostrando a capacidade em que a planta tem de acumular este elemento no seu tecido vegetal, o zinco, no primeiro mês de coleta, também apresentou um FB maior do que um. Com relação aos demais, seus fatores de bioacumulação e translocação foram menores do que um.

Figura 30 - Fator de translocação (S, Si, Ti, Zn, Cu).



Fonte: A autora

Figura 31 - Fator de Bioacumulação (S, Si, Ti, Zn, Cu, Cr).



Fonte: A autora.

Em relação ao fator de translocação, pode-se examinar que as macrófitas aquáticas da espécie *Eichhornia crassipes* presentes no Rio Apodi/Mossoró possuem alta capacidade de translocar K, Rb, Ca, Sr, Cl e P. tendo em vista que para esse fator, todos os valores apresentam maiores do que a unidade.

Assim, temos que em um espaço temporal de 6 meses, é possível constatar mudanças significativas nos valores calculados. Fatores como a ação antropogênica e a dinamicidade natural na composição de ambientes aquáticos, provavelmente, exerceram influência significativa no comportamento apresentado.

Na tabela 7 a seguir, podemos visualizar melhor todos esses dados obtidos, dos fatores de translocação (FT) e bioacumulação (FB) dos elementos encontrados na espécie *Eichhornia crassipes*.

Tabela 8 - Resultados obtidos para os fatores de translocação e bioacumulação para a *Eichhornia crassipes* presente no Rio Apodi/Mossoró.

ANALITO	JUNHO		JULHO		AGOSTO		SETEMBRO		OUTUBRO		NOVEMBRO	
	FT	FB	FT	FB	FT	FB	FT	FB	FT	FB	FT	FB
Mn	0,039	62,005	0,027	55,010	0,032	43,909	0,029	42,671	0,030	36,075	0,022	44,013
K	2,577	4,906	2,180	5,983	1,396	5,017	1,333	5,348	1,189	3,423	1,524	4,189
Fe	0,018	4,752	0,018	1,353	0,024	2,126	0,028	2,213	0,039	2,145	0,021	2,205
Rb	1,216	1,079	0,902	0,874	0,821	1,162	0,781	1,152	0,959	0,744	1,000	1,140
Ca	1,313	0,823	1,242	0,711	1,297	0,676	1,267	0,699	1,457	0,746	1,146	0,768
Sr	3,300	0,163	2,000	0,113	2,429	0,133	2,238	0,121	2,690	0,136	2,649	0,150
Cl	2,591	-	2,061	-	1,652	-	1,852	-	1,830	-	1,860	-
P	1,005	-	1,274	-	1,259	-	1,110	-	0,841	-	1,032	-
Br	0,196	1,095	0,901	0,157	0,663	0,282	0,557	0,215	1,040	0,223	0,684	0,237
S	0,130	0,434	0,131	0,648	0,131	0,567	0,113	0,615	0,206	0,608	0,129	0,606
Si	0,069	2,642	0,087	1,560	0,119	1,460	0,128	1,136	0,159	2,383	0,114	1,195
Ti	0,034	-	0,090	-	0,028	-	0,085	-	0,285	-	0,040	-
Zn	0,267	1,080	1,212	0,111	0,767	0,236	0,363	0,460	0,350	0,171	0,523	0,142
Cu	0,033	-	-	0,047	-	0,218	-	0,157	-	0,082	-	-
Cr	0,000	0,119	0,000	-	0,000	0,224	0,000	-	0,000	-	0,000	0,238
Ni	0,000	-	-	-	0,000	-	0,000	-	0,000	0,081	0,000	0,114

Fonte: A autora.

Analisando o FT e FB para cada elemento, temos que os elementos que apresentaram valores maiores que a unidade, estão aptos a serem retirados do meio ambiente, com a ajuda da fitorremediação.

Para os macronutrientes analisados no trabalho (Ca, K, P e S), apenas o cálcio, fósforo e potássio apresentaram valores de fator de translocação maiores que um. Um comportamento esperado devido à essencialidade nas plantas. Nos micronutrientes analisados (Fe, Mn, Cl, Zn, Ni) apenas o cloro apresentou valores do fator de translocação maiores do que um em todos os meses analisados, e o zinco apenas no mês de julho. Nos elementos benéficos (Al, Si) só foi possível ser calculado o silício, e o mesmo apresentou parâmetros menores que a unidade. Nos elementos não-essenciais o Rb apresentou valores maiores que a unidade no primeiro e último mês, o Br apenas no mês de outubro e o Sr apresentou em todos os meses. Ou seja, para esses elementos, a planta oferece uma maior preferência em se acumular na parte aérea.

Com relação ao fator de bioacumulação estes apresentaram, em alguns casos, valores maiores do que a unidade, evidenciando a alta tendência que a macrófita aquática da espécie *Eichhornia crassipes* tem em bioacumular devidos elementos em seu tecido vegetal. Dentre os elementos quantificados temos Mn, K, Fe, Rb, Si que apresentaram valores maiores do que um.

Em meio essa discussão, pode-se destacar elementos que não foram possíveis de serem calculados o fator de bioacumulação, que estão expressos na tabela I. Esse parâmetro é determinado a partir da relação entre os valores da concentração no tecido vegetal e da água. Assim, os que apresentam concentração igual à zero na água, impossibilitou a realização do cálculo, por não ser possível uma divisão por zero.

Todos esses resultados se tornam de extrema importância quando se pretende analisar o potencial fitorremediador da *Eichhornia crassipes* em um ambiente natural como o rio Apodi/Mossoró. Essa espécie apresenta um grande potencial para ser usada como agente fitorremediador nesses ambientes naturais, tendo em vista a quantidade acumulada de cada elemento em seu tecido vegetal.

Vardanyan e Ingole (2006) analisaram o potencial fitorremediador de várias espécies de macrófitas aquáticas. Determinaram a habilidade de absorção de 14 metais pesados por 45 plantas aquáticas pertencentes a oito famílias, em duas localidades, mas especificamente 36 no lago Sevan, Armênia e nove no lago Carambolim, Old Goa, Índia. Assim, de acordo com eles, a maior parte dos metais se acumulou nas raízes, o que é de se esperar devido a não essencialidade dos mesmos ao crescimento das plantas. Também foi observada a ocorrência das espécies metálicas nas plantas foi maior na localidade do lago Sevan, o que mostrou que a variabilidade na capacidade de remoção e recuperação de ambientes poluídos com diferentes características.

Muitos autores têm divulgado resultados positivos quanto à utilização da espécie *Eichhornia crassipes* em vários tipos de aplicações. Palma-Silva et al. (2012) mostrou que a espécie apresenta um potencial fitorremediador em ambientes eutrofizados no sul do Brasil. Também foi observado que apresentaram um maior desenvolvimento conforme o tempo de permanência no lago para dois nutrientes (N, P) analisados. Kumar (2012) mostrou a eficiência da *Eichhornia* quanto à taxa de remoção do Cu e Ni, dentre cinco espécies analisadas, o que leva a ter um potencial fitorremediador para estes elementos. Já o trabalho de Fox et al. (2008) mostrou que o aguapé foi responsável por 60-85% do N removido a partir da solução, tornando-o um agente fitorremediador para esse elemento.

6. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo a determinação da influência temporal na composição química e potencial fitorremediador de macrófitas aquáticas da espécie *Eichhornia crassipes* presentes no rio Apodi/Mossoró. Assim, com base nas informações obtidas nos experimentos realizados, pode-se aferir que os resultados encontrados seguem alguns preceitos:

- Os níveis de macronutrientes, micronutrientes, elementos benéficos e elementos não-essenciais presentes no tecido vegetal da *Eichhornia crassipes* foram influenciados pela variabilidade temporal e fisiológica. Neste sentido, puderam-se constatar valores diferentes no decorrer nos meses de coleta, influenciadas pelas características da região, da macrófita e do clima.
- Em relação à influência na composição química, a *Eichhornia crassipes* apresentou altas concentrações de elementos em sua biomassa, quando coletada em ambientes naturais. Em geral, os macronutrientes apresentaram em maiores concentrações nas folhas, enquanto os micronutrientes apresentaram em maiores quantidades nas raízes, um comportamento já esperado devido à essencialidade dos mesmos ao desenvolvimento das plantas e devido à mobilidade dos mesmos.
- Com base nos fatores de translocação e bioacumulação, a macrófita aquática estudada apresentou um grande potencial fitorremediador em ambientes eutrofizados de todos os elementos quantificados, em função das concentrações acumuladas em seu tecido vegetal, o qual é influenciado pela temporalidade.
- Assim, torna-se possível a utilização de macrófitas da espécie *Eichhornia crassipes* presentes no Rio Apodi/Mossoró, para a despoluição de ambientes, desde que tenha um controle contínuo dos níveis das substâncias no tecido vegetal. Isso é importante para se verificar possíveis formas de utilização da biomassa produzida, como, por exemplo, na alimentação animal.

Observa-se ainda que esta área da fitorremediação necessita de estudos específicos sobre plantas que possuem a habilidade de fitorremediar ambientes. Uma técnica de baixo custo que irá melhorar o meio ambiente em que vivemos. Como sugestão para futuros trabalhos, recomenda-se pesquisar sobre o potencial fitorremediador de outras espécies nativas, que não apresentem a capacidade de comprometer o ambiente com o problema da invasão biológica.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. Contaminação Química e Biorremediação do Solo. In: NOVAIS, R. F., ALVAREZ V.; V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 1. p. 299-352, 2000.
- ANDRADE, C. M., TAVARES, S. R. L., MAHLER, C. F. Fitorremediação: O uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental. In: FLATHMAN, P. E.; LANZA, G. R. Phytoremediation: current views on na emerging Green technology. **J. Soil Contam.**, [s.l.], v.7, p. 415-432, 1998.
- ARAÚJO, J. B. S.; PINTO FILHO, J. L. de O. Identificação de fontes poluidoras de metais pesados nos solos da Bacia Hidrográfica do Rio Apodi/Mossoró/RN, na área urbana de Mossoró-RN. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v.5, n. 2, p. 80-94, 2010.
- BAIRD, Colin. **Química Ambiental**. 2. ed. São Paulo: Bookman, 2002.
- BAKER, A. J. M.. Accumulators and excluders strategies in the response of plants to heavy metals. **Journal Of Plant Nutrition**, [s.l.], v. 3, n. 1-4, p.643-654, 1981.
- BARBOZA, G. C.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M.; MORAES J. F. L.; SILVA, P. T. P. **Concentração de ferro na água para irrigação na microbacia do coqueiro**, Estado de São Paulo. III WINOTEC - Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação, 2010.
- BATISTA, A.A. **Seleção de espécies com potencial fitorremediador de chumbo**. 2013. 57 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Qualidade de Ecossistemas) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas - BAHIA - 2013.
- BERNARDI, J. V. E.; LACERDA, L. D.; DÓREA, J. G.; LANDIM, P. M. B.; GOMES, J. P. O.; ALMEIDA, R.; MANZATTO, A. G.; BASTOS, W. R. Aplicação da análise das componentes principais na ordenação dos parâmetros físico-químicos no alto Rio Madeira e afluentes, Amazônia Ocidental. **Geochimica Brasiliensis**, [s.l.], v. 23, n. 1, p. 79-90, 2009.
- BIANCHINI JR., I.; PACOBAHYBA, L. D.; CUNHA-SANTINO, M. B. Aerobic and anaerobic decomposition of *Montrichardia arborescens* (L.) Schott. **Acta Limnol. Bras**, [s.l.], v. 14, n.3, p. 27-34, 2002.

BIDONE, F. R. A; PAVINELLI, J. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos: EESC/USP, 1999, 120 p.

BIOLOGIA INTERATIVA. **Plantas Aquáticas**: O que são Macrófitas Aquáticas? Disponível em: <<http://biologiainterativa.webnode.com.br/bio-vegetal/plantas-aquaticas/>>. Acesso em: 10 ago. 2015.

BROOKS, R.R.; LEE, J.; REEVES, R.D.; JAFFRE, T. Detection of nickeliferous rocks by analysis of herbarium specimens of indicator plants. **Journal of Geochemical Exploration**, [s.l.], v.7, p.49-57, 1977.

BROWN, P.H.; WELCH, R.M.; CARY, E.E. Nickel: a micronutrient essential for all higher plants. **Plant Physiology**, [s.l.], v. 85, n. 3, p. 801-803, 1987.

CAMARGO, A. F. M.; PEZZATO, M. M.; HENRY-SILVA, G. G. Fatores limitantes à produção primária de macrófitas aquáticas. In: THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. **Ecologia e Manejo de Macrófitas Aquáticas**. Maringá: UEM, 2003. p. 59-83.

CARNEIRO, M. A. C.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Estabelecimento de plantas herbáceas em solo com contaminação de metais pesados e inoculação de fungos micorrízicos arbusculares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s.l.], v. 36, n. 12, p.1443-1452, 2001.

CASTRO, R. M. **Estudo comparativo das perdas d'água em mesocosmos colonizados ou não por aguapé (Eichhornia crassipes (Mart.) Solms-Laubach)**. 2008. 77 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2008.

CLEMENS, S. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. **Biochimie**, [s.l.], v. 88, p. 1707-1719, 2006.

COELHO, T. Aguapé: bom, bonito e barato. **Ecologia e Desenvolvimento**, [s.l.], v.38, p. 2-4, 1994.

CRUZ, L. P. S.; CAMPOS, V. P. Métodos de amostragem e análise para compostos reduzidos de enxofre atmosférico. **Química Nova**, [s.l.], v. 31, n. 5, p. 1180-1189, 2008.

CRUZ, M. B. **Macrófitas Aquáticas Cultivadas Em Águas De Drenagem Ácida De Mina**. 2011. 90 f. Tese (Doutorado) - Curso de Botânica, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2011.

CUNNINGHAM, S. D.; ANDERSON, T. A.; SCHWAB, P.; HSU, F. C. Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. **Adv. Agron.**, [s.l.], v. 56, p. 55, 1996.

DINARDI, A. L. et al. Fitorremediação: **III Fórum de Estudos Contábeis, Faculdades Integradas Claretianas**. Anais. Rio Claro, São Paulo, 2003.

EL-SHAFAI, S. A. et al. Nutrient recovery from domestic wastewater using a UASB duckweed ponds system. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 98, p. 798-807, 2007.

EMPARN. **Monitoramento Pluviométrico**: Mossoró-RN (Ano 2015). Disponível em: <<http://189.124.135.176/monitoramento/2015/graficos/qmes8007.htm>>. Acesso em: 11 mai. 2016.

ESPINOZA-QUIÑONES, F. R.; ZACARKIM, C. E.; PALACIO, S. M.; OBREGÓN, C. L.; ZENATTI, D. C.; GALANTE, R. M.; ROSSI, N.; ROSSI, F. L.; PEREIRA, I. R. A.; WELTER, R. A. Removal of heavy metal from polluted river water using aquatic macrophytes *Salvinia* sp. **Brazilian Journal of Physics**, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 744-746, 2005.

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

FAQUIN, Valdemar. **Nutrição mineral das plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005.

FOX, L. J.; STRUIK, P. C.; APPLETON, B. L.; RULE, J. H. Nitrogen Phytoremediation by water Hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms). **Water Air Soil Pollut**, [s.l.], v. 194, p. 199-207, 2008.

FREITAS, F. A.; KOPP, M. M.; SOUSA, R.O.; ZIMMER, P. D.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A. C. Absorção de P, Mg, Ca e K e tolerância de genótipos de arroz submetidos a estresse por alumínio em sistemas hidropônicos. **Ciência Rural**, [s.l.], v.36, n.1, p.72-79, 2006.

FREITAS, M. B.; BRILHANTE, O. M.; ALMEIDA, L. M. Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio. **Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 3, p. 651-660, 2001.

FRIZZO, S.J. Elementos químicos (Metais pesados) em águas de abastecimento público no estado do Ceará. **Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral**. CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2006.

GAYLARDE, C. C.; BELLINASSO, M. L.; MANFIO, G. P. Biorremediação: Aspectos biológicos e técnicos da biorremediação de xenobióticos. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, [s.l.], n.34, p.36-43, 2005.

GOPAL, B.; SHARMA, K. P. **Water-hyacinth (Eichhornia crassipes) most troublesome weed of the world**. Delhi (India): Hindasia Publishers, C.C. Colony, 1981. 219 p.

HENRY, R. **Écotonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos**. São Carlos: Rima, 2003. p. 1-28.

HOLM, L. G., PLUCKNETT, D. L., PANCHO, J. V. & HERBERGER, J. P. **The World's Worst Weeds, Distribution and Biology**. Honolulu: The Univ. Press of Hawaii, 1977. 609 p.

JOLY, A. B. **Botânica: Introdução à taxonomia vegetal**. 2.ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2002.

KAWAI, H.; GRIECO, V. M. Utilização do aguapé para tratamentos de esgoto doméstico. Estabelecimento de critérios de dimensionamento de lagoa de aguapé e abordagem de alguns problemas operacionais. **Revista DAE**, São Paulo, n. 135, p. 79-90, 1983.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. 452 p.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem**: maturação e qualidade do composto. Piracicaba: E. J. Kiehl, 1998, 171 p.

KIRKBY, E. A.; ROMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. **International Plant Nutrition institute**, [s.l.], n. 118, 2007.

KLUMPP, A. et al. Variation of nutrient and metal concentrations in aquatic acrophytes along the Rio Cachoeira in Bahia (Brazil). **Environment International**, [s.l.], v. 28, p. 165-171, 2002.

KUMAR, N.; BAUDDH, K.; DWIVEDI, N.; BARMAN, S. C.; SINGH, D. P. Accumulation of metals in selected macrophytes grown in mixture of drain water and tannery effluent and

their phytoremediation potential. **Journal of Environmental Biology**, [s.l.], v. 33, p. 923-927, 2012.

LAZZERINI, F. T.; BONOTTO, D. M. O silício em águas subterrâneas do Brasil. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM**. Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 159-168, 2014.

LIMA, M. R.; TAFFAREL, A. D.; REISSMANN, C. B.; SILVA, A. G. Crescimento e absorção de alguns elementos químicos em aguapé, alface da água e lentilha da água, no período de inverno, em Pinhais-PR. **In: IV Seminário do Projeto Interdisciplinar sobre Eutrofização de águas de abastecimento público na Bacia do Altíssimo**, 2003, Curitiba. Anais. 2003.

LOPES, B. A. **Aspectos importantes da fisiologia vegetal para o manejo**. 2003. 55 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

MA, L. Q.; KOMAR, K. M.; TU, C.; ZHANG, W.; CAI, Y.; KENNELLEY, E. D. A fern that hyperaccumulates arsenic. **Nature**, [s.l.], v. 409, p. 579, 2001.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Edição Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MALAVOLTA, E. O futuro de plantas tendo em vista aspectos agronômicos, econômicos e ambientais. **Informações agronômicas**, [s.l.], n. 121, p. 1- 10, 2008.

MANGABEIRA, P. A.; MIELKE, M. S.; ARANTES, I.; DUTRUCH, L.; SILVA, D. C.; BARBIER, F.; ALMEIDA, A. A-F.; OLIVEIRA, A. H.; SEVERO, M. I. G.; LABEJOF, L.; ROCHA, D. C.; ROSA, T. S.; SANTANA, K. B.; GAVRILOV, K. L.; GALLE, P.; LEVISETTI, R.; GRENIER-LOUSTAALOT, M. F. Bioaccumulation of chromium in aquatic macrophyte *Borreria scabiosoides* Cham. & Schltdl. **Applied Surface Science**, [s.l.], n. 252, p. 6816-6819, 2006.

MARTINS, A. P. L.; REISSMANN, C. B.; FAVARETTO, N.; BOEGER, M. R. T.; OLIVEIRAS, E. B. Capacidade da *Typha dominguensis* na fitorremediação de efluentes de tanques de piscicultura na Bacia do Iraí – Paraná. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Paraná, v. 11, n. 3, 2007.

MARTINS, D. F. F. **Estudo integrado do potencial fitorremediador da *Eichhornia crassipes* em ambientes naturais e sua utilização para obtenção de extratos proteicos.**

2014. 162 f. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN, 2014.

MARTINS, D. F. F. et al. Qualidade físico-química das águas da bacia do Rio Apodi/Mossoró: I - Variabilidade espacial. **Química no Brasil**, [s.l.], v. 2, n. 1, p. 61 – 74, 2008a.

MARTINS, D. F. F. et al. Temporal and physiological influence of the absorption of nutrients and toxic elements by *Eichhornia crassipes*. **Journal of Environmental Monitoring**, [s.l.], v. 13, n. 2, p. 274-279, 2011.

MARTINS, D. F. F.; SOUZA, L. D.; CASTRO, S. S. L. Qualidade físico-química das águas da bacia do Rio Apodi/Mossoró: II – Variabilidade temporal. **Química no Brasil**, [s.l.], v. 2, n. 2, p.9 - 23, 2008b.

MARTINS, D.; VELINI, E. D.; NEGRISOLI, E.; TOFOLO, G. R. Controle químico de *Pistia stratiotes*, *E. crassipes* e *Salvinia molesta* em caixas d'água. **Planta Daninha**, [s.l.], v.20, p. 83-88, 2002.

MAURO, J. B. N.; GUIMARÃES, J. R. D. Aguapé agrava contaminação por mercúrio. **Ciência Hoje**, [s.l.], v. 35, n. 150, p.68-71, 1999.

MCGRATH, S. P. Phytoextraction for soil remediation. In: BROOKS, R. R. Plants that Hyperaccumulate Heavy Metals, **CAB International**, Wallingford, p.261, 1998.

MEERS, W.E.; HOPGOOD, M.; LESAGE, E.; VERVAEKE, P.; TACK, F.M.G.; VERLOO, M.G. Enhanced phytoextraction. In: search of EDTA alternatives. **Intern. J. Phytol.**, [s.l.], v. 6, p. 95-109, 2004.

MEHARG, A.A.; HARTLEY-WHITAKER, J. Arsenic uptake and metabolism in arsenic resistant and non-resistant plant species: Tansley review. **New Phytol.**, [s.l.], v. 154, p. 29-43, 2002.

MELO, A. A. M.; **Fisiologia Vegetal**. [s.ed.]. Lavras: UFLA, 2007.

MELO, E.E.C.; NASCIMENTO, C.W. A.; SANTOS, A.C.Q. Solubilidade, fracionamento e fitoextração de metais pesados após aplicação de agentes quelantes. **R. Bras. Ci. Solo**, [s.l.], v. 30, p. 1051-1060, 2006.

MENDES, A. M. S. **Introdução A Fertilidade Do Solo**: Aula ministrada no Curso de Manejo e Conservação do Solo e da Água. [s.ed.]. Barreiras: UFBA, 2007. 64 p.

MISHRA, V. K.; TRIPATHI, B. D. Concurrent removal and accumulation of heavy metals by the tree aquatic macrophytes. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 99, p. 7091-7097, 2008.

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI. Effect of silicon on the growth of soybean plants in solution culture. **Soil Science and Plant Nutrition**, [s.l.], v. 31, p. 625-636, 1985.

MIZUSAKI, A. N. P. **Comportamento do Rb e Sr em sedimentos recentes: implicações na datação radiométrica de rochas sedimentares**. 1992. 156 f. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

MORAES, A. J.; RODRIGUES, J. B. **Remoção de fósforo com uso de macrófitas em lagoa facultativa de frigorífico**. 2002. 52 f. Monografia (Graduação em Tecnologia Ambiental) - Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Medianeira, 2002.

MORAIS, L. A.; SILVA, L. M.; SOUZA, L. D.; CASTRO, S. S. L. **Monitoramento espaço temporal da qualidade das águas da bacia hidrográfica do rio Apodi/Mossoró RN**. 2008. Disponível em: <<http://www.annq.org/congresso2009/trabalhos/pdf/T41.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2015.

MOTHÉ, G. P. B. **Capacidade Fotossintética E Crescimento De Dois Genótipos De Ricinus Communis L. Em Resposta A Doses De Material Sólido Particulado À Base De Ferro Aplicadas Ao Solo**. 2012. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Genética e Melhoramento de Plantas, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes - RJ, 2012.

NASCIMENTO, R. A. **Desempenho de reator anaeróbico de manta de lodo utilizando efluentes líquidos de indústrias alimentícias**. 1996. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996.

NETO, A. P. V. **Monitoramento da água residuária da UEG Tratada com Thypa Dominguenses para os parâmetros PH e DQO e sugestão de outros tratamentos**

fitorremediativos. 2011. 51 f. Monografia (Graduação) - Curso de Bacharel em Química Industrial, Universidade Estadual do Goiás, Anapólis, 2011.

NEWMAN, L. A.; REYNOLDS, C. M. Phytodegradation of organic compounds. **Current Opinion in Biotechnology**, [s.l.], v. 15, n. 3, p. 225-230, 2004.

NUNES, E. **Geografia Física do Rio Grande do Norte**. Natal-RN: Ed. Imagem gráfica, 2006.

PALMA-SILVA, C.; ALBERTONI, E. F.; TRINDADE, C. R. T.; FURLANETTO, L. M.; ACOSTA, M. C. Uso de *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms para fitorremediação de ambientes eutrofizados subtropicais no sul do Brasil. **Perspectiva**, Erechim, v. 36, n. 133, p. 73-81, 2012.

PERAZZA, M. C. et al. O Aguapé: meios de controle e possibilidades de utilização. **Revista DAE**, São Paulo, n. 125, p. 18-24, 1985.

PILON-SMITS, E. Phytoremediation. **Annual Review of Plant Biology**, [s.l.], v. 56, p. 15-59, 2005.

PROCÓPIO, S.O.; PIRES, F. R.; SANTOS, J. B.; SILVA, A. A. **Fitorremediação de solos com resíduo de herbicidas**: Documentos 156. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2009.

QUEIROZ, M. M. A. **Composição química e isótopos de estrôncio das águas ao longo do rio Solimões na região entre Manacapuru e Alvarães - Amazonas - Brasil**. 2006. 78 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Amazonas, Manaus.

RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1991. 343p.

REEVES, R.D.; BAKER, A.J.M. Metal-accumulating plants. In: RASKIN, I.; ENSLEY, B.D. (Ed.). **Phytoremediation of toxic metals** - Using plants to clean up the environment. New York: John Wiley & Sons, 2000. p.193-229.

RUBIO, J. et al. Plantas Aquáticas: solventes naturais. **Revista Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 35, n. 205, p. 68-71, 2004.

SANTOS, J. B.; SILVA, A. A.; PROCÓPIO, S. O. et al. Fitorremediação de áreas contaminadas por herbicidas. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Ed.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: UFV, 2007. p. 249-278.

SANTOS, P. R. P; OLIVEIRA NETO, F. A; GOMES, Z. L. G. C. **Considerações sobre tecnologias para remediação de solos e águas subterrâneas contaminadas e suas aplicações em pólos industriais na região metropolitana de Salvador e na antiga fábrica da Cobrac em Santo Amaro - Ba.** 1999. 79 f. Monografia (Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1999.

SCHMÖGER, M. E. V.; OVEN, M.; GRILL, E. Detoxification of arsenic by phytochelatin in plants. **Plant Physiol.**, [s.l.], v.122, p. 793-801, 2000.

SILVA, S. S. L. Caracterização ecológica e estrutura de macrófitas em reservatórios no estado de Pernambuco. In: Esteves, F. A. **Fundamentos de Limnologia.** [s.ed.]. Rio de Janeiro: Interciência/FINEP, 1998.

SMITS, E. P. Phytoremediation. **Annual Review of Plant Biology.** [s.l.], v. 56, p. 15 – 40, 2005.

SNELLER, F.E.C.; HEERWAARDEN, L.M.; KRAAIJEVELD-SMIT, F.J.L.; TEN BOOKUM, W.M.; KOEVOETS, P.L.M.; SCHAT, H. & VERKLEIJ, J.A.C. Toxicity of arsenate in *Silene vulgaris*, accumulation and degradation of arsenate-induced phytochelatin. **New Phytol.**, [s.l.], v. 144, p. 223-232, 1999.

SOUZA, J. B. Avaliação do potencial de macrófitas aquáticas na biorremediação de uma lagoa de estabilização biológica de efluente doméstico no município de Minaçu, Goiás. In: CUNNINGHAM, S.; OW, D. W. Promises and prospects of phytoremediations. **Plant Physiology**, [s.l.], v.110, n.3, p. 715- 719, 1996.

SOUZA, M. R. F. **Fitorremediação de solo contaminado por metais pesados.** 2010. 30 f. Monografia (Curso de Ciências Biológicas) - Centro Universitário Metodista Izabela, Belo Horizonte, 2010.

TAVARES, S.R.L. **Fitorremediação em solo e água de áreas contaminadas por metais pesados provenientes da disposição de resíduos perigosos.** 2009. 371 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

VARDANYAN, L. G.; INGOLE, B. S. Studies on heavy metal accumulation in aquatic macrophytes from Sevan (Armenia) and Carambolim (India) lake systems. **Environment International**, v.32, p. 208 - 218, 2006. Disponível em:

<http://drs.nio.org/drs/bitstream/handle/2264/226/Environ_Int_32_208.pdf;jsessionid=12FA885411B48E466F1F1958AE4EC12E?sequence=1>. Acesso em: 16 set 2015.

VESK, P. A.; NOCKOLDS, C. E.; ALLAWAY, W. G. Metal localization in water yacynth root from an urban rainyland. **Plant, Cell & Environmental**, [s.l.], v. 22, p. 149-158, 1999.

WATANABE, M. E. Phytoremediation on the Brink of Commercialization. **Environmental Science & Technology**, [s.l.], v. 31, n. 4, p.182-186, 1997.

WEN, T.N.; C.L.I.; CHIEN, C.S. Ubiquity of selenium containing t RNA in plants. **Plant Science**, [s.l.], v.57, p. 158-193, 1988.

WHYCOS - World Hydrological Cycle Observing System, **2004**. Disponível em: <<http://www.whycos.org>>. Acesso em: 31 mai 2016.

WOLVERTON, B. C.; McDONALD, R. The water hyacinth: From prolific pest to potencial provider. **Ambio**. USA, v. 8, n. 1, p. 2-9, 1979.

WOLVERTON, B.C.; McDONALD, R.C. Upgrading facultative wastewater lagoons with vascular aquatic plants. **J. Wat. Pollut. Control Fed.**, [s.l.], v. 51, p. 305-313, 1971.

ZHU, Y. L. et al. Phytoaccumulation of trace elements by wetland plants: II. Water hyacinth. **Journal of Environmental Quality**, [s.l.], v. 28, p. 339-344, 1999.

8. APÊNDICE

Tabela 9 - Teores dos elementos quantificados na água do Rio Apodi/Mossoró.

ANALITO	JUN (%)	JUL (%)	AGO (%)	SET (%)	OUT (%)	NOV (%)
Br	0,321	0,674	0,587	0,767	0,572	0,697
Ca	67,250	66,518	67,213	64,679	64,034	61,759
Fe	1,648	5,023	2,118	2,260	2,226	2,656
K	8,743	8,623	11,582	10,372	14,401	12,995
Mn	0,217	0,336	0,296	0,333	0,427	0,310
Rb	0,038	0,056	0,053	0,050	0,065	0,047
S	13,875	9,347	11,132	11,762	12,555	13,203
Si	6,574	7,086	5,112	7,249	3,278	6,487
Sr	1,055	1,560	1,447	1,692	1,532	1,386
Cl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
P	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	0,044	0,328	0,161	0,119	0,407	0,348
Al	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cu	0,000	0,320	0,126	0,163	0,347	0,000
V	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Y	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Zr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
As	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cr	0,063	0,000	0,074	0,000	0,000	0,076
Eu	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,050	0,040
Pd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ba	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ag	0,084	0,133	0,101	0,000	0,109	0,000
Nd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Lu	0,000	0,000	0,000	0,332	0,000	0,000
Mo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Fonte: A autora.

Tabela 10 - Teores dos macronutrientes presentes nas folhas da *Eichhornia crassipes*.

ANALITO	JUN (%)	JUL (%)	AGO (%)	SET (%)	OUT (%)	NOV (%)
Ca	0,058	26,202	25,652	25,287	28,333	25,312
K	30,904	35,368	33,854	31,699	26,776	32,864
S	0,694	0,703	0,733	0,737	1,303	0,913
P	4,741	5,394	5,738	3,905	3,146	3,429

Fonte: A autora.

Tabela 11 - Teores dos macronutrientes presentes nas raízes da *Eichhornia crassipes*.

ANALITO	JUN (%)	JUL (%)	AGO (%)	SET (%)	OUT (%)	NOV (%)
Ca	23,924	21,091	19,775	19,955	19,445	22,091
K	11,991	16,223	24,249	23,773	22,519	21,565
S	5,329	5,350	5,582	6,499	6,327	7,087
P	4,717	4,236	4,559	3,516	3,739	3,323

Fonte: A autora.

Tabela 12 - Teores dos micronutrientes presentes nas folhas da *Eichhornia crassipes*.

ANALITO	JUN (%)	JUL (%)	AGO (%)	SET (%)	OUT (%)	NOV (%)
Cl	29,980	30,566	32,372	36,588	38,376	35,953
Fe	0,138	0,123	0,108	0,139	0,179	0,122
Mn	0,499	0,487	0,399	0,404	0,449	0,288
Zn	0,010	0,020	0,017	0,015	0,018	0,017
Cu	0,033	0,015	0,028	0,026	0,029	0,028
Ni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Fonte: A autora.

Tabela 13 - Teores dos micronutrientes presentes nas raízes da *Eichhornia crassipes*.

ANALITO	JUN (%)	JUL (%)	AGO (%)	SET (%)	OUT (%)	NOV (%)
Zn	0,038	0,017	0,022	0,040	0,052	0,033
Ni	0,002	0,000	0,004	0,004	0,004	0,005
Mo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Fe	7,691	6,674	4,396	4,864	4,596	5,734
Mn	12,925	17,969	12,598	13,785	14,956	13,335
Cl	11,572	14,832	19,600	19,751	20,969	19,327
Cu	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Fonte: A autora.

Tabela 14 - Teores dos elementos benéficos presentes nas folhas da *Eichhornia crassipes*.

ANALITO	JUN (%)	JUL (%)	AGO (%)	SET (%)	OUT (%)	NOV (%)
Si	1,125	0,880	0,797	0,933	1,072	0,792
Al	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Fonte: A autora.

Tabela 15 - Teores dos elementos benéficos presentes nas raízes da *Eichhornia crassipes*.

ANALITO	JUN (%)	JUL (%)	AGO (%)	SET (%)	OUT (%)	NOV (%)
Si	16,244	10,170	6,666	7,300	6,739	6,960
Al	4,911	2,618	0,000	0,000	0,000	0,000

Fonte: A autora.

Tabela 16 - Teores dos elementos não-essenciais presentes nas folhas da *Eichhornia crassipes*.

ANALITO	JUN (%)	JUL (%)	AGO (%)	SET (%)	OUT (%)	NOV (%)
Br	0,058	0,050	0,066	0,059	0,065	0,067
Rb	0,023	0,023	0,028	0,025	0,024	0,027
Sr	0,132	0,118	0,136	0,141	0,152	0,151
Ba	0,000	0,000	0,023	0,000	0,000	0,030
Pd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	0,000
Ti	0,016	0,018	0,008	0,020	0,024	0,011
Nd	0,000	0,036	0,044	0,027	0,048	0,000
Lu	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ag	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Eu	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
V	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Y	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Zr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
As	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Fonte: A autora.

Tabela 17 - Teores dos elementos não-essenciais presentes nas raízes da *Eichhornia crassipes*.

ANALITO	JUN (%)	JUL (%)	AGO (%)	SET (%)	OUT (%)	NOV (%)
Br	0,294	0,056	0,100	0,106	0,064	0,098
Ba	0,000	0,476	0,000	0,000	0,399	0,000
Sr	0,040	0,059	0,056	0,063	0,057	0,057
Ti	0,451	0,196	0,265	0,234	0,083	0,263
V	0,069	0,000	0,039	0,060	0,000	0,073
Eu	0,212	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Zr	0,003	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000
As	0,003	0,000	0,000	0,000	0,008	0,006
Cr	0,008	0,009	0,017	0,018	0,024	0,018
Y	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002
Pd	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Rb	0,019	0,026	0,034	0,032	0,025	0,027
Ag	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Nd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Lu	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Fonte: A autora.

Tabela 18 - Fator de Translocação dos elementos encontrados.

ANALITO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV
Mn	0,039	0,027	0,032	0,029	0,030	0,022
K	2,577	2,180	1,396	1,333	1,189	1,524
Fe	0,018	0,018	0,024	0,028	0,039	0,021
Rb	1,216	0,902	0,821	0,781	0,959	1,000
Ca	1,313	1,242	1,297	1,267	1,457	1,146
Sr	3,300	2,000	2,429	2,238	2,690	2,649
Cl	2,591	2,061	1,652	1,852	1,830	1,860
P	1,005	1,274	1,259	1,110	0,841	1,032
Br	0,196	0,901	0,663	0,557	1,040	0,684
S	0,130	0,131	0,131	0,113	0,206	0,129
Si	0,069	0,087	0,119	0,128	0,159	0,114
Ti	0,034	0,090	0,028	0,085	0,285	0,040
Zn	0,267	1,212	0,767	0,363	0,350	0,523
Cu	0,033	-	-	-	-	-
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ni	0,000	-	0,000	0,000	0,000	0,000

Fonte: A autora.

Tabela 19 - Fator de Bioacumulação dos elementos encontrados.

ANALITO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV
Mn	61,297	55,010	43,909	42,671	36,075	44,013
K	4,455	5,983	5,017	5,348	3,423	4,189
Fe	5,719	1,353	2,126	2,213	2,145	2,205
Rb	0,953	0,874	1,162	1,152	0,744	1,140
Ca	0,827	0,711	0,676	0,699	0,746	0,768
Sr	0,159	0,113	0,133	0,121	0,136	0,150
Cl	-	-	-	-	-	-
P	-	-	-	-	-	-
Br	0,897	0,157	0,282	0,215	0,223	0,237
S	0,459	0,648	0,567	0,615	0,608	0,606
Si	2,462	1,560	1,460	1,136	2,383	1,195
Ti	-	-	-	-	-	-
Zn	-	0,111	0,236	0,460	0,171	0,142
Cu	-	0,047	0,218	0,157	0,082	-
Cr	-	-	0,224	-	-	0,238
Ni	-	-	-	-	0,081	0,114

Fonte: A autora.