

## INFLUÊNCIA TEMPORAL NO POTENCIAL FITORREMEIADOR DA *EICHHORNIA CRASSIPES* EM AMBIENTE NATURAL

Myrelle Yasmine de Freitas Câmara<sup>1\*</sup>; Layane Érica da Silva Pinto<sup>1</sup>; Fernanda Beatriz Aires de Freitas<sup>1</sup>; Francisco Gustavo Hayala S. Pinto<sup>2</sup>; Daniel Freitas Freire Martins<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Câmpus Caraúbas.

<sup>2</sup>Departamento de Química, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Câmpus Central.

### RESUMO

Com o aumento desenfreado da poluição no meio ambiente, a fitorremediação vem se destacando bastante na área de recuperação ambiental, por ser um processo promissor de descontaminação. Por este motivo, o presente trabalho teve como objetivo determinar o potencial fitorremediador da macrófita aquática da espécie *Eichhornia crassipes* presente no Rio Apodi/Mossoró em um ponto específico da cidade de Mossoró-RN em relação aos teores de alguns elementos químicos utilizando a técnica de Fluorescência de Raio-X e ainda verificar a influência temporal nos resultados obtidos. Foram realizadas três coletas, nos meses de setembro, outubro e novembro do ano de 2015, contendo amostras de água da bacia hidrográfica do Rio Apodi/Mossoró e de macrófitas aquáticas, no trecho do rio que corta a cidade de Mossoró. A partir dos resultados obtidos, foram quantificados 24 elementos, e destes, apenas 16 foram possíveis calcular os fatores de translocação e bioacumulação. Deste modo, com base nos fatores de translocação e bioacumulação a espécie estudada apresentou um grande potencial para ser utilizada como agente fitorremediador em ambientes eutrofizados de todos os elementos quantificados, em função das concentrações acumuladas no seu tecido, o qual é influenciado significativamente pela temporalidade.

**Palavras-Chave:** Fitorremediação, Descontaminação, Macrófitas aquáticas, Fator de translocação, Fator de bioacumulação.

\*E-mail: [myrelleyasmine@hotmail.com](mailto:myrelleyasmine@hotmail.com)

---

## TEMPORAL INFLUENCE IN THE PHYTOREMEDIATION POTENTIAL OF EICHHORNIA CRASSIPES IN NATURAL ENVIRONMENT

### ABSTRACT

With the unrestrained increase of pollution in the environment, phytoremediation has been prominent in the area of environmental recovery, as it is a promising process of decontamination. For this reason, the objective of this work was to determine the phytoremediate potential of the aquatic macrophyte of the *Eichhornia crassipes* species present in the Apodi/Mossoró river at a specific point in the city of Mossoró-RN in relation to the contents of some chemical elements using the Fluorescence technique of X-ray and also to verify the temporal influence in the obtained results. Three collections were carried out in the months of September, October, and November of the year 2015, containing samples of water from the Apodi/Mossoró river basin and aquatic macrophytes, in the section of the river that crosses the city of Mossoró. From the obtained results, 24 elements were quantified, of which only 16 were possible to calculate the translocation and bioaccumulation factors. Thus, based on the factors of translocation and bioaccumulation, the species studied presented a great potential to be used as phytoremediation agent in eutrophic environments of all the elements quantified, as a function of the accumulated concentrations in their tissue, which is influenced significantly by the temporality.

**Keywords:** Phytoremediation, Decontamination, Aquatic macrophytes, Translocation factor, Bioaccumulation factor.

## INTRODUÇÃO

A crescente poluição do solo e de águas superficiais e subterrâneas, provocado pelos elementos tóxicos que vem sendo acumulados no meio ambiente, passou a serem motivos de uma grande preocupação e um aumento na quantidade de pesquisas relacionadas à descontaminação do solo e ambientes aquáticos em todo o mundo, principalmente nos países mais industrializados (AZEVEDO e LEA, 2005). No meio dessas atividades poluidoras podem-se destacar as indústrias e as agrícolas, que com a pouca fiscalização, infelizmente, ainda descartam seus resíduos de forma incorreta, podendo vir a comprometer a saúde humana e a qualidade de todo o ecossistema.

Com essa problemática, é necessário fazer uso de técnicas que agrupe eficiência, simplicidade nas manutenções, menor tempo demandado e um baixo custo. Surgindo 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).

Dentro da biorremediação, destaca-se a fitorremediação, que objetiva a descontaminação do solo e da água, por meio de plantas. Esta técnica quando comparada com técnicas tradicionais como bombeamento e tratamento, ou remoção física da camada contaminada, tem sido considerada vantajosa, principalmente por sua eficiência na descontaminação e pelo baixo custo (PIRES et al., 2003).

As plantas são capazes de desenvolver em diferentes ambientes sujeitos aos mais variados tipos de estresse e de pressões ambientais (PUGNAIRE e VALLADARES, 2007). A fitorremediação utilizando macrófitas aquáticas é uma escolha que advém da adaptabilidade dessas plantas aos variados ambientes, da grande capacidade de absorção de elementos e intenso crescimento populacional com enorme produção de biomassa. Tais características produziram indícios da capacidade dessas espécies, em especial o aguapé (*Eichhornia crassipes*) como uma alternativa para o tratamento de ambientes aquáticos contaminados (THOMAZ e BINI, 2004; RUBIO, 2004). Devido esta espécie possuir um alto potencial fitorremediador, que é a capacidade em que a planta apresenta de tolerar, absorver e até acumular elementos não essenciais, ou mesmo metais essenciais que se acumulam no ambiente em quantidades tóxicas (MARTINS, 2014).

A *Eichhornia crassipes* é 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). O seu sistema radicular 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 e MAHLER, 1998).

A capacidade de tolerância dessa espécie a esses ambientes contaminados é atribuída por modificações na fisiologia e na anatomia dessas plantas às adversidades do ambiente (CASTRO, PEREIRA e PAIVA, 2009). Apesar de diversos trabalhos relatarem a alta capacidade do aguapé na fitorremediação de ambientes aquáticos contaminados por diferentes elementos tóxicos, não se conhece os mecanismos anatômicos e fisiológicos que atribuem a tolerância dessa espécie aos diferentes elementos tóxicos, alvos da fitorremediação (PEREIRA, 2010).

Segundo Martins (2014), um fator importante que pode vir a influenciar na absorção de elementos pelas plantas é a concentração de nutrientes no ambiente onde elas estão presentes. As macrófitas aquáticas realizam a fitorremediação devido à maneira que são atribuídas, ou seja, à medida que existem poucos nutrientes e grandes elementos não essenciais, a planta acaba absorvendo esses últimos, o que pode se levar em consideração quando o objetivo é recuperar algum ambiente. Com isso, o ambiente a qual a planta está inserida irá ser levado em consideração para a determinação do seu potencial fitorremediador (PINTO, 2015).

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo determinar o potencial fitorremediador da macrófita aquática da espécie *Eichhornia crassipes* presente no Rio Apodi/Mossoró em um ponto específico da cidade de Mossoró-RN em relação aos teores de alguns elementos químicos, utilizando a técnica de Fluorescência de Raio-X e também verificar a influência temporal nos resultados obtidos durante os meses de setembro, outubro e novembro do ano de 2015.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os métodos de análises utilizados seguiram a recomendação da metodologia descrita do Manual de análise química de solos, plantas e fertilizantes da EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) e Standard Methods of APHA, os quais são descritos a seguir.

Foram realizadas três coletas, durante os meses de setembro, outubro e novembro do ano de 2015, em um ponto estrategicamente escolhido, devido a maior presença de macrófitas aquáticas naquela região, localizado no trecho do Rio Apodi/Mossoró que corta a cidade de Mossoró - RN. Foram coletadas água e macrófitas aquáticas da espécie *Eichhornia crassipes*. As amostras de água foram coletadas nas proximidades das margens do rio, devidamente etiquetadas, acidificadas com 1,0 mL de ácido nítrico P.A/L, colocadas em uma caixa de isopor e conduzidas para o laboratório de Química Geral da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, Câmpus Caraúbas para posterior análise. As plantas aquáticas foram coletadas aleatoriamente, independente da idade ou tamanho e foram armazenadas em sacos plásticos e conduzidas para o mesmo laboratório da UFERSA para a limpeza e o tratamento prévio.

Para as amostras de macrófitas aquáticas, fez-se uma separação entre as folhas (limbo + pecíolo) e as raízes, lavadas com água da torneira e enxaguadas com água deionizada. Após este processo, elas foram colocadas em bandejas separadas e levadas para a estufa com circulação forçada de ar a 70°C para o processo de desidratação até atingirem peso constante, as mesmas passaram cerca de dois dias para a secagem completa. Depois de secas, foram trituradas separadamente, usando um liquidificador com lâminas de aço inoxidável e peneiradas para a homogeneização dos tamanhos das partículas. Em seguida, pesou cerca de 5 gramas de folhas e raízes, separadamente, onde foram calcinadas em uma mufla, por 3 horas à temperatura de 550°C. Após isso, as cinzas foram armazenadas em frascos plásticos tampados, devidamente limpos e secos, e encaminhadas para a análise de metais por Fluorescência de Raios-X.

Para a análise de metais na água, a mesma foi submetida ao processo de digestão ácida de acordo com o método 3005 A da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA). Na ocasião deste método, a água foi submetida ao aquecimento de 90/95°C na

presença de ácido ( $\text{HNO}_3$ ), a fim de gerar uma redução em seu volume, obtendo-se cerca de 15 a 20 mL. Depois de feita a digestão, o digerido foi filtrado e diluído com água deionizada, a um volume conhecido para posterior análise. Preparado 100 mL da solução, a mesma foi levada à estufa, à  $105^\circ\text{C}$ , para a secagem completa da água e obtenção dos sais sólidos. Estes, por sua vez, foram encaminhados para a análise de metais por Fluorescência de Raio-X.

Os fatores de Translocação e Bioacumulação foram calculados através das Equações 01 e 02 descritas a seguir.

$$FT=CF/CR \quad (01)$$

Onde: FT= Fator de translocação; CF= Concentração dos elementos nas folhas; CR= Concentração dos elementos nas raízes.

$$FB=CT/CA \quad (02)$$

Onde: FB= Fator de bioacumulação; CT= Concentração total dos elementos nas plantas (folhas+ raízes); CA= Concentração dos elementos na água.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise feita pela técnica de Fluorescência de Raio-X (FRX), nas amostras de água, folha e raiz, foram quantificados cerca de 24 elementos que estão dispostos na Tabela 1. Diversos fatores podem ter colaborado para esses resultados, como ações antropogênicas, geologia local, estações climáticas e variáveis ambientais da água.

Os elementos quantificados 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 realizada a coleta). Segundo dados da EMPARN (Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio do Grande do Norte) não houve precipitação de chuvas nos meses das coletas no ano de 2015 (EMPARN, 2016).

Podemos verificar que para a água do rio nos três meses considerados, apenas os elementos Ba, Cl, Mo, Nd, P, Pd, Ti, V, Y não foram quantificados em nenhum dos meses,

enquanto que outros elementos, foram quantificados em todos os meses e alguns em apenas um dos meses analisados. Dentre esses elementos que não foram quantificados em nenhum dos meses destacamos que a maioria se encontra classificado como elementos não essenciais. Ainda é possível observar que houve uma modificação nos valores de cada mês, mostrando que há uma influência sazonal em cada um dos parâmetros medidos. Isso ocorre, especialmente, em função da dinamicidade na composição de ambientes naturais influenciados por questões climáticas e antropogênicas características da região (MARTINS, 2011).

**Tabela 1 - Concentração dos elementos nas amostras (%).**

ANALITO	ÁGUA DO RIO (%)			FOLHA (%)			RAÍZ (%)		
	SET	OUT	NOV	SET	OUT	NOV	SET	OUT	NOV
<b>Ag</b>	0,000	0,109	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Ba</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,030	0,000	0,399	0,000
<b>Br</b>	0,767	0,572	0,697	0,059	0,065	0,067	0,106	0,063	0,098
<b>Ca</b>	64,679	64,034	61,759	25,287	28,333	25,312	19,955	19,445	22,091
<b>Cl</b>	0,000	0,000	0,000	36,588	38,376	35,953	19,751	20,969	19,327
<b>Cr</b>	0,000	0,000	0,076	0,000	0,000	0,000	0,018	0,024	0,018
<b>Cu</b>	0,163	0,347	0,000	0,026	0,029	0,028	0,000	0,000	0,000
<b>Fe</b>	2,260	2,226	2,656	0,139	0,179	0,122	4,864	4,596	5,734
<b>K</b>	10,372	14,401	12,995	31,699	26,776	32,864	23,773	22,519	21,565
<b>Lu</b>	0,332	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Mn</b>	0,333	0,427	0,310	0,404	0,449	0,288	13,785	14,956	13,335
<b>Mo</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
<b>Nd</b>	0,000	0,000	0,000	0,027	0,048	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Ni</b>	0,000	0,050	0,040	0,000	0,000	0,000	0,004	0,004	0,005
<b>P</b>	0,000	0,000	0,000	3,905	3,146	3,429	3,516	3,739	3,323
<b>Pd</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Rb</b>	0,050	0,065	0,047	0,025	0,024	0,027	0,032	0,025	0,027
<b>S</b>	11,762	12,555	13,203	0,737	1,303	0,913	6,499	6,327	7,087
<b>Si</b>	7,249	3,278	6,487	0,933	1,072	0,792	7,300	6,739	6,960
<b>Sr</b>	1,692	1,532	1,386	0,141	0,152	0,151	0,063	0,057	0,057
<b>Ti</b>	0,000	0,000	0,000	0,020	0,024	0,011	0,234	0,083	0,263
<b>V</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,060	0,000	0,073
<b>Y</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,002
<b>Zn</b>	0,119	0,407	0,348	0,015	0,018	0,017	0,040	0,052	0,033

\*Os elementos na tabela seguem em ordem alfabética.

A figura 1 apresenta as concentrações dos macronutrientes presentes nas amostras de folhas e raízes da macrófita *Eichhornia crassipes* em estudo. É possível observar que os

elementos Ca e K apresentaram-se em maiores concentrações nas folhas, enquanto que os elementos como S e P apresentaram maiores concentrações nas raízes. Este comportamento é totalmente explicado devido à função da essencialidade dos mesmos para o desenvolvimento da planta (MARTINS, 2011). Todos esses elementos apresentaram concentrações significativas na água do rio, exceto o fósforo, que não apresentou nenhum valor, porém, como a planta apresenta um alto potencial de acumular, este elemento pode estar no seu tecido vegetal já que não obteve concentrações com muitas variações.

Em geral, os macronutrientes tendem a se acumular mais nas folhas, um comportamento totalmente observado de acordo com os elementos citados, exceto o enxofre, onde suas concentrações apresentaram maiores valores nas raízes. Segundo Malavolta (1980) e Raij (1991) este comportamento pode ser explicado devido à forma do enxofre ser absorvido da solução do solo pelas raízes ser altamente oxidada - o sulfato. O sulfato é transportado na direção acrópeta, ou seja, da base da planta para cima, então a capacidade da planta para mover o enxofre na direção basípeta é muito pequena.

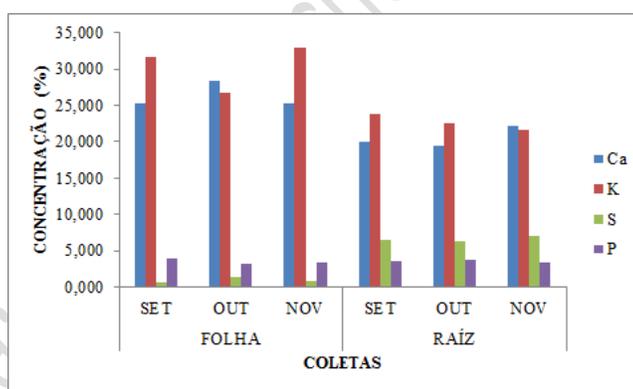


Figura 1 - Concentrações dos macronutrientes no tecido vegetal da *E. crassipes*.

Também foram encontrados, resultados semelhantes na literatura que analisaram os teores dos macronutrientes presentes na macrófita estudada. No trabalho de Henri-Silva e Camargo (2002) constaram valores de Cálcio e Fosforo total no tecido vegetal da macrófita, coletadas no Centro de Aquicultura da UNESP. E no trabalho de Zhu (1999) foi determinada uma taxa de remoção e recuperação de potássio pela mesma espécie.

A figura 2 apresenta os teores dos micronutrientes contidos na *Eichhornia crassipes*. De acordo com Malavolta (2008) os micronutrientes apresentam-se em menores quantidades,

não sendo menos eficientes que os macronutrientes, já que estes apresentam em maiores quantidades. Estes elementos tendem a se acumular mais nas raízes, comportamento totalmente observado pelos elementos como Fe, Mn, Zn, Ni e Mo. O Cobre (Cu) apresentou apenas concentração nas folhas, porém foram concentrações baixas com relação aos demais, este comportamento é explicado em função da quantidade do mesmo no ambiente de cultivo das plantas e da própria necessidade dos elementos para o desenvolvimento das mesmas.

Os elementos como o Cl e o Mo não apresentaram concentrações na água, o que torna um valor incoerente, visto que o Cl, por exemplo, apresentou altas concentrações tanto nas folhas quanto nas raízes, já o Mo apenas foi quantificado no último mês de coleta e somente nas raízes. Não houve a identificação deste elemento na água, entretanto ele pode estar no tecido vegetal da planta devido o seu potencial de bioacumulação. Os pesquisadores Kerbauy (2004) e Kirkby (2007) afirmam que mesmo o cloro sendo um micronutriente, ele apresenta-se com uma característica de ser facilmente absorvido pelas plantas, estando presente no tecido vegetal das plantas em concentrações muito maiores do que as requeridas.

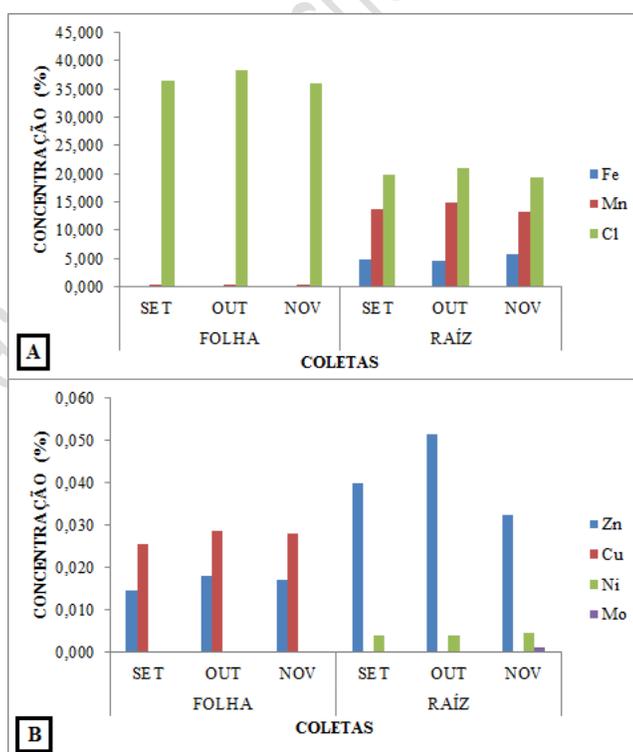


Figura 2 - Concentrações dos micronutrientes no tecido vegetal da *E. crassipes*.

Na literatura de Kirkby (2007) e Martins (2014) também foi encontrado elementos como ferro e manganês no tecido vegetal da *Eichhornia crassipes*, um fato explicado quanto à essencialidade do mesmo ao desenvolvimento da planta, e ainda, em função das quantidades encontradas na água e sua variabilidade temporal.

As concentrações dos elementos benéficos nos meses coletados estão dispostas na figura 3, entre os meses de coleta apenas foi quantificado o Silício (Si). Este elemento apresentou maiores concentrações nas raízes, do que nas folhas, este fato é função da pequena necessidade para o desenvolvimento das plantas. Desta forma, o processo de translocação das raízes para as folhas é dificultado. Este elemento também foi influenciado pela variabilidade temporal, visto que não permaneceu estável dentre os meses de coleta. Quanto a grande quantidade deste elemento na água do rio, pode ser explicado devido às águas superficiais e as de aquíferos rasos possuem concentrações do teor de silício influenciado pela temperatura atmosférica, presença de CO<sub>2</sub>, sílica livre nos solos, salinidade, matéria orgânica, tempo de contato e distância percorrida (LAZZERINI e BONOTTO, 2014).

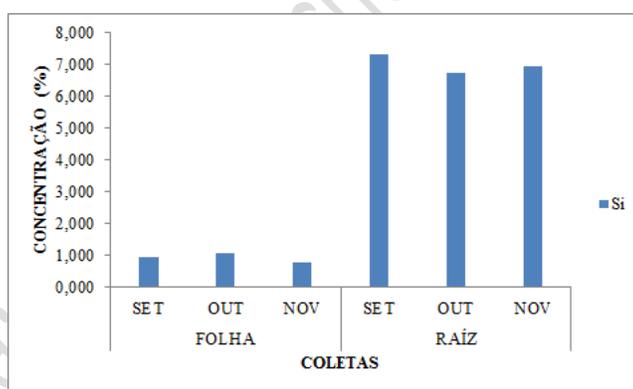


Figura 3 – Concentração do elemento benéfico no tecido vegetal da *E. crassipes*.

Na figura 4 são apresentados os valores das concentrações dos elementos não essenciais. Esta classe é caracterizada por aqueles que não se enquadram como 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., 2006).

Dos doze metais identificados pela técnica de FRX, apenas dez foram quantificados no tecido vegetal das plantas. Todos estes apresentando concentrações baixas, sendo menores que

1%. Portanto, a presença desses elementos nas plantas não comprometeu o desenvolvimento da mesma, contudo deve-se observar que as baixas concentrações desses elementos na água também tiveram influência na absorção, ressaltando que a toxidez dos mesmos não significa uma barreira para a absorção em maiores quantidades e que é comum a bioacumulação no tecido vegetal.

Devido a grande poluição em que o meio ambiente se encontra, os rios que são apresentados na literatura apresentam-se alguns desses elementos não essenciais no seu leito. No trabalho de Queiroz (2006), por exemplo, encontrou resquícios de estrôncio nas águas brancas (ricas de sedimentos em suspensão) do rio Solimões.

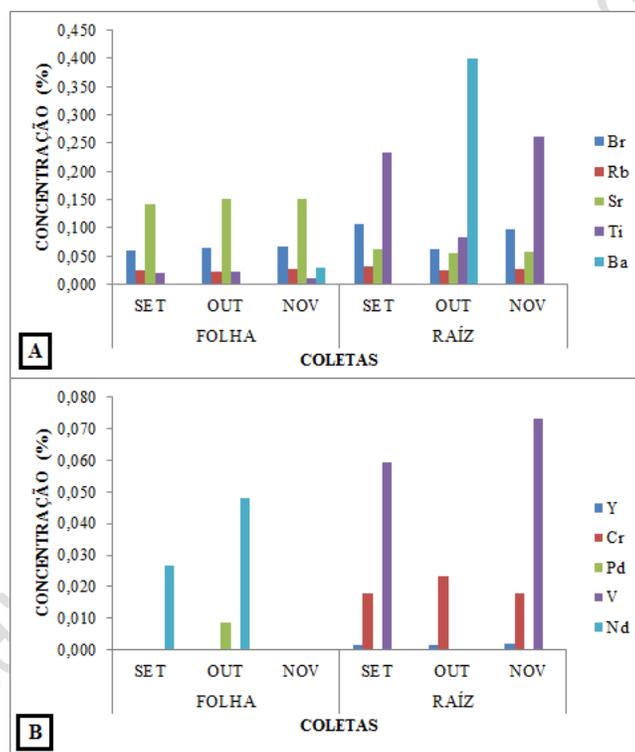


Figura 4 - Concentrações dos elementos não essenciais no tecido vegetal da *E. crassipes*.

Com relação aos fatores de translocação e bioacumulação, os mesmos estão descritos na Tabela 2. 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. Devido nem todos apresentar valores na água do rio, alguns não tiveram como serem calculados.

Tabela 2 - Fator de translocação e bioacumulação.

ANALITO	FATOR DE TRANSLOCAÇÃO			FATOR DE BIOACUMULAÇÃO		
	SET	OUT	NOV	SET	OUT	NOV
<b>Br</b>	0,557	0,225	0,684	0,215	0,223	0,237
<b>Ca</b>	1,267	0,738	1,146	0,699	0,746	0,768
<b>Cl</b>	1,852	-	1,860	-	-	-
<b>Cr</b>	0,000	-	0,000	-	-	0,238
<b>Cu</b>	-	0,087	-	0,157	0,082	-
<b>Fe</b>	0,028	2,136	0,021	2,213	2,145	2,205
<b>K</b>	1,333	3,463	1,524	5,348	3,423	4,189
<b>Mn</b>	0,029	36,661	0,022	42,671	36,075	44,013
<b>Ni</b>	0,000	0,000	0,000	-	0,081	0,114
<b>P</b>	1,110	-	1,032	-	-	-
<b>Rb</b>	0,781	0,803	1,000	1,152	0,744	1,140
<b>S</b>	0,113	0,622	0,129	0,615	0,608	0,606
<b>Si</b>	0,128	2,382	0,114	1,136	2,383	1,195
<b>Sr</b>	2,238	0,137	2,649	0,121	0,136	0,150
<b>Ti</b>	0,085	-	0,040	-	-	-
<b>Zn</b>	0,363	0,169	0,523	0,460	0,171	0,142

\*Os elementos na tabela seguem em ordem alfabética.

Os elementos como Br, Cr, Cu, Ni, S, Ti e Zn em nenhum dos meses apresentaram fatores de translocação maiores do que a unidade. Para o enxofre, um macronutriente, esperava-se que apresentasse um comportamento diferente, ou seja, apresentasse em maior quantidade nas folhas, no entanto, pode ser explicado devido ao processo metabólico das plantas.

Com relação ao fator de bioacumulação apenas cinco elementos (Fe, K, Mn, Rb e Si) apresentaram valores maiores do que a unidade, evidenciando que a capacidade da planta em bioacumular esses elementos pode variar de forma bastante significativa. 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 calculado. Em um espaço temporal de três 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.

A partir dos dados obtidos no presente trabalho e pelo que consta na literatura, observa-se que 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.

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 crassipes* 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.

## CONCLUSÕES

Os resultados apresentados nos permitem concluir que com o método de Fluorescência de Raio-X foi possível quantificar diversos elementos presentes tanto na água do Rio Apodi/Mossoró como no tecido vegetal da macrófita aquática *Eichhornia crassipes* nos três meses de coleta. Sendo possível analisar a influência dos elementos no desenvolvimento da planta. Assim, observou que a planta apresentou altas concentrações de elementos em sua biomassa quando coletada em ambiente natural. No geral, os macronutrientes se apresentaram em maiores concentrações nas folhas, enquanto os micronutrientes apresentaram-se em quantidades maiores nas raízes, um comportamento já esperado em função da essencialidade dos mesmos ao desenvolvimento das plantas. Porém, nem sempre isso vai ocorrer, vai depender diretamente com a quantidade que estes elementos apresentam-se no leito do rio. Com base nos fatores de translocação e bioacumulação a espécie estudada apresentou um

grande potencial para ser utilizada como agente fitorremediador em ambientes eutrofizados de todos os elementos quantificados, em função das concentrações acumuladas no seu tecido, o qual é influenciado significativamente pela temporalidade.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ANDRADE, C. M.; TAVARES, S. R. L.; MAHLER, C. F. J. *Soil Contam.* 1998, 7.
- APHA – American Public Health Association. *Standard methods for the examination of water and wastewater.* Washington: APHA, 2005.
- AZEVEDO, R. A.; LEA, P.J. *Braz. J. Plant Physiol.* 2005, 17, 1.
- CASTRO, E. M.; PEREIRA, F.J.; PAIVA, R. *Histologia vegetal: estrutura e função dos órgãos vegetativos.* Lavras: UFLA, 2009. 234p.
- DENÍCULI, W. et al. *REVENG.* 2000, 8, 1.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.* Brasília: Embrapa, 1999.
- EMPARN. <http://189.124.135.176/monitoramento/2015/graficos/qmes8007.htm>, acessada em maio 2016.
- FOX, L. J.; STRUIK, P. C.; APPLETON, B. L.; RULE, J. H. *Water Air Soil Pollut.* 2008, 194.
- FREITAS, F. A.; KOPP, M. M.; SOUSA, R. O.; ZIMMER, P. D.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C. *Ciência Rural.* 2006, 36, 1.
- HENRI-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M. *Acta Scientiarum.* 2002, 24, 2.
- KERBAUY, G. B. *Fisiologia Vegetal.* Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.
- KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. *Informações Agronômicas.* 2007, 118.
- KUMAR, N.; BAUDDH, K.; DWIVEDI, N.; BARMAN, S. C.; SINGH, D. P. *Journal of Environmental Biology.* 2012, 33.
- LAZZERINI, F. T.; BONOTTO, D. M. *Ciências & Natura.* 2014, 36, 2.
- MALAVOLTA, E. *Elementos de nutrição mineral de plantas.* São Paulo: Edição Ceres, 1980. 251p.
- MALAVOLTA, E. *Informações Agronômicas.* 2008, 121.
- MARTINS, D. F. F. et al. *Journal of Environmental Monitoring.* 2011, 13, 2.

- MARTINS, D. F. F. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil, 2014.
- PALMA-SILVA, C.; ALBERTONI, E. F.; TRINDADE, C. R. T.; FURLANETTO, L. M.; ACOSTA, M. C. *Perspectiva*. 2012, 36, 133.
- PEREIRA, F. J. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Lavras, Brasil, 2010.
- PINTO, L. É, S. et al. *QCTS*, 2015, 4, 1.
- PIRES, F. R.; SOUZA, C. M.; SILVA, A. A.; PROCÓPIO, S. O.; FERREIRA, L. R. *Planta Daninha*. 2003, 21, 2.
- PUGNAIRE, F. I.; VALLADARES, F. *Functional plant ecology*. London: CRC, 2007, 724p.
- QUEIROZ, M. M. A. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Amazonas, Brasil, 2006.
- RAIJ, B. *Fertilidade do solo e adubação*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1991. 343p.
- RUBIO, J. et al. *Ciência Hoje*. 2004, 35, 205.
- THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. *Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas*. Maringá: EDUEM, 2004, 341p.
- ZHU, Y. L. et al. *Journal of Environmental Quality*. 1999, 28.