



Universidade Federal do Pará  
Instituto de Geociências  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

Camila da Silva Pires

**Efeitos do processamento artesanal de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) e plantas de malva (*Urena lobata* L.) sobre a hidrobiogeoquímica de microbacias do Nordeste do Pará**

Belém  
2011

Camila da Silva Pires

**Efeitos do processamento artesanal de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) e plantas de malva (*Urena lobata* L.) sobre a hidrobiogeoquímica de microbacias do Nordeste do Pará**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em convênio com o Museu Paraense Emílio Goeldi e a Embrapa Amazônia Oriental, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Ecossistemas amazônicos e dinâmicas sócio-ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo de Oliveira Figueiredo.

Belém  
2011

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

---

P667e Pires, Camila da Silva

Efeitos do processamento artesanal de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) e plantas de malva (*Urena lobata* L.) sobre a hidrobiogeoquímica de microbacias do Nordeste do Pará / Camila da Silva Pires; Orientador: Ricardo de Oliveira Figueiredo - 2011.

147fl.: il.

Dissertação (mestrado em ciências ambientais) – Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emilio Goeldi e EMBRAPA, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Belém, 2011.

1. Mandioca. 2. Malva. 3. Hidrobiogeoquímica fluvial. 4. Igarapés. 5. Agricultura familiar. I. Figueiredo, Ricardo de Oliveira, *orient.* II. Universidade Federal do Pará III. Título.

CDD 22° Ed.: 641.3368

---

Camila da Silva Pires

**Efeitos do processamento artesanal de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) e plantas de malva (*Urena lobata* L.) sobre a hidrobiogeoquímica de microbacias do Nordeste do Pará**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em convênio com o Museu Paraense Emílio Goeldi e a Embrapa Amazônia Oriental, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Data da aprovação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_\_

Banca Examinadora:

---

Prof. Ricardo de Oliveira Figueiredo - Orientador  
Doutor em Ciências Ambientais  
Embrapa Meio Ambiente

---

Prof. Pedro Gerhard - Membro  
Doutor em Ecologia de Agroecossistemas  
Embrapa Amazônia Oriental

---

Prof. Everaldo Barreiros de Souza - Membro  
Doutor em Meteorologia  
Universidade Federal do Pará - UFPA

---

Prof<sup>a</sup>. Vania Neu - Membro  
Doutora em Ecologia Aplicada  
Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

Aos meus amados pais, Francisco e Célia Pires, meus primeiros professores e orientadores; e aos meus irmãos Fernanda e Filipe, pela força.

Dedico

Aos meus avós maternos, Raimunda Fernandes e Luiz Alves; e paternos, Cândida Pires (*in memorian*) e João Pires (*in memorian*), meus mestres da vida.

Ofereço

## AGRADECIMENTOS

À Deus, mestre dos mestres, pelo dom da vida e todas as bênçãos a mim concedidas;

Aos meus pais, Francisco e Célia, pela orientação pessoal, incentivo diário, apoio nos momentos difíceis, pelo amor incondicional e por acreditarem na minha capacidade; vocês são meus verdadeiros exemplos de vida.

Aos meus irmãos, Fernanda e Filipe, pelo companheirismo e amizade;

Ao Dr. Ricardo de Oliveira Figueiredo, pela orientação, dedicação e paciência, minha eterna gratidão sempre;

À Universidade Federal do Pará, por meio do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, por me proporcionar o aprendizado e formação acadêmica;

À Embrapa Amazônia Oriental por meio do Laboratório de Ecofisiologia, pela contribuição à minha iniciação científica e estrutura para a realização desta pesquisa;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Pará - FAPESPA e Vale, pela concessão da bolsa de mestrado;

À Estação de Piscicultura da Embrapa Amazônia Oriental, nas pessoas da pesquisadora Roselany Correa e do Sr. Eli Branco, pelo auxílio durante a realização dos experimentos;

Ao Laboratório de Sensoriamento Remoto da Embrapa Amazônia Oriental, nas pessoas de Orlando Watrin e Gustavo Pimentel, pela confecção dos mapas;

Aos Projetos GESTABACIAS, Agricultura familiar e qualidade de água no Nordeste Paraense: Conservação de serviços agro-ecossistêmicos em escala de bacia hidrográfica e Tipitamba, por viabilizarem a logística para a realização da pesquisa;

Aos grandes amigos Daniel, Fabíola, Reginaldo, Izabela, Cristiane, Adriano, pelo auxílio com os trabalhos de campo e laboratório, momentos de muita alegria e caronas, sem nunca desfaltar a “Equipe Cão”, amigos e parceiros sempre;

Aos meus familiares, em especial meus avós, tios e primos, por toda paciência, compreensão, apoio, conselhos, torcida e, principalmente, orações nos momentos de ausência;

Aos meus pequenos Antônio Neto (“Tóin”) e Ana Clara (“Dindinha”) por me animarem e distraírem;

Ao meu grande amigo e companheiro de curso Daniel Barroso, pela companhia, parceria e apoio nos momentos de tensão;

Ao pesquisador Dr. Pedro Gerhard, pelas contribuições para a idealização desta pesquisa;

À pesquisadora Dr<sup>a</sup> Juliana Felizzola, pela amizade e revisão do texto;

À Sr<sup>a</sup> Heliana, pelas mensagens de incentivo;

Aos meus amigos de laboratório Ivanildo, Neuza, Gerson e a todos os bolsistas do laboratório de Ecofisiologia Vegetal, companheiros que compartilharam dos dias de trabalho intenso, meus sinceros agradecimentos pelos momentos de descontração;

À biblioteca do Instituto de Geociências – UFPA, em especial à bibliotecária Sr<sup>a</sup> Lúcia Imbiriba, por auxiliar na instrumentação desta dissertação de mestrado;

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que mais esta meta fosse atingida, minha gratidão.

## RESUMO

No nordeste do Estado do Pará predomina a agricultura familiar, a qual tem como principais produtos a mandioca e a malva. No processamento desses produtos, os agricultores costumam submergir fardos de mandioca e de malva em águas de igarapés, com a finalidade de amolecer a casca e remover as substâncias tóxicas, no caso da mandioca, ou proporcionar o desfibramento, no caso da malva. Os efeitos dessa prática sobre a qualidade da água fluvial são pouco conhecidos. Nesse contexto, a presente pesquisa objetivou avaliar os possíveis impactos dessas práticas sobre a hidrobiogeoquímica fluvial em igarapés dessa região. Adotou-se como estratégia coletar amostras de águas fluviais a montante do ponto de lavagem dos produtos, no local de lavagem e a jusante deste local. A fim de conhecer, com maior clareza, as possíveis alterações na química das águas, provocadas pelas lavagens de mandioca e de malva, somou-se à estratégia de campo a realização de experimentos em tanque com vazões de entrada e saída controladas. Em ambas abordagens foram monitoradas as seguintes variáveis hidrobiogeoquímicas no material dissolvido: pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, cálcio, magnésio, potássio, sódio, cloreto, sulfato, fosfato, nitrato, amônio, além de nitrogênio total e carbono orgânico e inorgânico dissolvidos. Os resultados obtidos evidenciaram que o processo de lavagem de raízes de mandioca e de plantas de malva contribuiu para alterar a hidrobiogeoquímica fluvial de pequenos igarapés apenas pontualmente. Porém, algumas das alterações observadas localmente permaneceram por até dez metros a jusante do local de lavagem dos produtos. Nos experimentos em tanque, as alterações foram mais evidentes e uma análise de cluster confirmou a hipótese de que o processamento dos produtos agrícolas enfocados colaborou para alterar a hidrobiogeoquímica fluvial nos igarapés monitorados. O estudo recomenda algumas precauções no tocante às práticas de processamento dos produtos em foco e também a adoção de alguns parâmetros para o monitoramento desses impactos.

Palavras-chave: Mandioca. Malva. Hidrobiogeoquímica fluvial. Igarapés. Agricultura familiar.

## ABSTRACT

Cassava and caesar weed are among the mainly products of the familiar agriculture in the Northeast of the Pará State. To treat these products the small farmers used to sink amounts of cassava and caesar weed in small streams (regionally named as "igarapés"), to make peel softer and remove its toxic compounds, in the case of cassava, or to promote defibrating in the case of the caesar weed. The effects of these practices to the stream water quality are poor known. In this context, this study aimed to evaluate the potential impacts of these practices to the fluvial hydrobiogeochemistry in the "igarapés" of these region. We adopted the strategy of collect stream water samples before the washing point of these products, in the washing point, and ten meters after this point. For a clearer understanding of the feasible alterations of the water chemistry due to cassava and caesar weed washing it was conducted besides the field monitoring a controlled input and output discharge tank experiment. In both approaches it was measured in the dissolved material the following hydrobiogeochemical: pH, electric conductivity, dissolved oxygen, calcium, magnesium, potassium, sodium, chloride, sulfate, phosphate, nitrate, ammonium, as well as total nitrogen total and organic and inorganic carbon. Our results point out that these cassava and caesar weed washing processes contribute to alter the fluvial hydrobiogeochemistry of these small streams only locally. However, some of the observed local alterations remained along at least ten meters downstream the products washing points. In the tank experiments the alteration were observed clearer and a cluster analysis confirmed the hypotheses that these rude treatments of the studied agriculture products contributes to change the fluvial hydrogeochemistry of the monitored small streams. The study recommends some precautions regarding to the evaluated products treatments and also the adoption of some parameters measurements to monitor these impacts.

Key words: Cassava. Caesar weed. Fluvial hydrobiogeochemistry. Small streams. Familiar agriculture.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa de localização das áreas de estudo. ....	29
Figura 2 – Precipitação total mensal (mm) observada no período de outubro de 2009 a setembro de 2010 para a (a) mesobacia dos igarapés contíguos Buiúna e Timboteua (municípios de Marapanim e Igarapé-Açu) e (b) mesobacia do Igarapé Peripindeua (municípios de Mãe do Rio e Irituia).....	30
Figura 3 – Vazões (linhas) e precipitações (barras) nos igarapés monitorados nas mesobacias dos igarapés Timboteua e Buiúna (a) e Igarapé Peripindeua (b). ....	33
Figura 4 – Mapa com a localização dos igarapés monitorados na mesobacia dos igarapés contíguos Buiúna e Timboteua. ....	35
Figura 5 – Mapa com a localização dos igarapés monitorados na mesobacia do Igarapé Peripindeua. ....	36
Figura 6 – Esquema da estratégia amostral utilizada para o monitoramento da lavagem de raízes de mandioca e plantas de malva em pequenos igarapés. ....	37
Figura 7 – Tanque de fibra de vidro com capacidade para armazenar 1000 L.....	42
Figura 8 – Variação do íon $H^+$ ( $\mu M$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no Igarapé Passagem - PAS.....	47
Figura 9 – Variação do íon $H^+$ ( $\mu M$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Divisa - DIV; (b) Igarapé Breu - BRE; (c) Igarapé Areia - ARE; e (d) Igarapé Colônia – COL.....	48
Figura 10 – Diagrama de distribuição de espécies para o sistema CN-H <sub>2</sub> O a 25°C.....	49
Figura 11 – Variação de CE ( $\mu S$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no Igarapé Passagem - PAS.....	50
Figura 12 – Variação de CE ( $\mu S$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Divisa - DIV; (b) Igarapé Breu - BRE; (c) Igarapé Areia - ARE; e (d) Igarapé Colônia – COL.....	51
Figura 13 – Variação de OD (% sat) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no Igarapé da Passagem - PAS.....	52

Figura 14 – Variação de OD (% sat) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Divisa - DIV; (b) Igarapé Breu - BRE; (c) Igarapé Areia - ARE; e (d) Igarapé Colônia – COL.....	53
Figura 15 – Variação de COD (mg L <sup>-1</sup> ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no Igarapé Passagem - PAS.....	54
Figura 16 – Variação de COD (mg L <sup>-1</sup> ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Divisa - DIV; (b) Igarapé Breu - BRE; (c) Igarapé Areia - ARE; e (d) Igarapé Colônia – COL.....	54
Figura 17 – Variação de CID (mg L <sup>-1</sup> ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no Igarapé Passagem - PAS.....	55
Figura 18 – Variação de CID (mg L <sup>-1</sup> ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Divisa - DIV; (b) Igarapé Breu - BRE; (c) Igarapé Areia - ARE; e (d) Igarapé Colônia – COL.....	56
Figura 19 – Variação de NT (mg L <sup>-1</sup> ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no Igarapé Passagem - PAS.....	56
Figura 20 – Variação de NT (mg L <sup>-1</sup> ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Divisa - DIV; (b) Igarapé Breu - BRE; (c) Igarapé Areia - ARE; e (d) Igarapé Colônia – COL.....	57
Figura 21 – Variação de (a) K <sup>+</sup> , (b) Mg <sup>2+</sup> e (c) Ca <sup>2+</sup> , em µeq L <sup>-1</sup> , das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no Igarapé Passagem - PAS.....	58
Figura 22 – Variação de (a) K <sup>+</sup> , (b) Mg <sup>2+</sup> e (c) Ca <sup>2+</sup> , em µeq L <sup>-1</sup> , das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no Igarapé Divisa - DIV. ....	59
Figura 23 – Variação de (a) K <sup>+</sup> , (b) Mg <sup>2+</sup> e (c) Ca <sup>2+</sup> , em µeq L <sup>-1</sup> , das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no Igarapé Breu - BRE. ....	59
Figura 24 – Variação de (a) K <sup>+</sup> , (b) Mg <sup>2+</sup> e (c) Ca <sup>2+</sup> , em µeq L <sup>-1</sup> , das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ nos igarapés Areia – ARE e Colônia – COL.....	60
Figura 25 – Variação de Na <sup>+</sup> (µeq L <sup>-1</sup> ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no Igarapé Passagem - PAS.....	61

Figura 26 – Variação de $\text{Na}^+$ ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Divisa - DIV; (b) Igarapé Breu - BRE; (c) Igarapé Areia - ARE; e (d) Igarapé Colônia – COL.....	62
Figura 27 – Variação de $\text{N-NH}_4^+$ ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no Igarapé Passagem - PAS.....	63
Figura 28 – Variação de $\text{N-NH}_4^+$ ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Divisa - DIV; (b) Igarapé Breu - BRE; (c) Igarapé Areia - ARE; e (d) Igarapé Colônia – COL.....	63
Figura 29 – Variação de $\text{Cl}^-$ ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no Igarapé Passagem – PAS.....	65
Figura 30 – Variação de $\text{Cl}^-$ ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Divisa - DIV; (b) Igarapé Breu - BRE; (c) Igarapé Areia - ARE; e (d) Igarapé Colônia – COL.....	65
Figura 31 – Variação de $\text{N-NO}_3^-$ ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no Igarapé Passagem - PAS.....	66
Figura 32 – Variação de $\text{N-NO}_3^-$ ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Divisa - DIV; (b) Igarapé Breu - BRE; (c) Igarapé Areia - ARE; e (d) Igarapé Colônia – COL.....	66
Figura 33 – Variação de $\text{P-PO}_4^{3-}$ ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no Igarapé Passagem - PAS.....	67
Figura 34 – Variação de $\text{P-PO}_4^{3-}$ ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Divisa - DIV; (b) Igarapé Breu - BRE; (c) Igarapé Areia - ARE; e (d) Igarapé Colônia – COL.....	68
Figura 35 – Variação de $\text{SO}_4^{2-}$ ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no Igarapé Passagem - PAS.....	68
Figura 36 – Variação $\text{SO}_4^{2-}$ ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Divisa - DIV; (b) Igarapé Breu - BRE; (c) Igarapé Areia - ARE; e (d) Igarapé Colônia – COL.....	69
Figura 37 – Análise de cluster para todos os igarapés: (a) Passagem - PAS; (b) Divisa - DIV; (c) Breu - BRE; (d) Areia - ARE e (e) Colônia - COL. ....	70

Figura 38 – Variação de $H^+$ ( $\mu M$ ) em LAV em relação a PRÉ no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem de raízes de mandioca ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz) em tanque.....	73
Figura 39 – Variação de CE ( $\mu S$ ) em LAV em relação a PRÉ no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem de raízes de mandioca ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz) em tanque.....	74
Figura 40 – Variação de OD (% sat) em LAV em relação a PRÉ no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem de raízes de mandioca ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz) em tanque.....	75
Figura 41 – Variação de COD ( $mg L^{-1}$ ) em LAV em relação a PRÉ no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem de raízes de mandioca ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz) em tanque.....	75
Figura 42 – Variação de CID ( $mg L^{-1}$ ) em LAV em relação a PRÉ no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem de raízes de mandioca ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz) em tanque.....	76
Figura 43 – Variação de NT ( $mg L^{-1}$ ) em LAV em relação a PRÉ no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem de raízes de mandioca ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz) em tanque.....	77
Figura 44 – Variação de $K^+$ ( $\mu eq L^{-1}$ ) em LAV em relação a PRÉ no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem de raízes de mandioca ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz) em tanque.....	77
Figura 45 – Variação de $Mg^{2+}$ ( $\mu eq L^{-1}$ ) em LAV em relação a PRÉ no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem de raízes de mandioca ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz) em tanque.....	78
Figura 46 – Variação de $Ca^{2+}$ ( $\mu eq L^{-1}$ ) em LAV em relação a PRÉ no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem de raízes de mandioca ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz) em tanque.....	79
Figura 47 – Variação de $Na^+$ ( $\mu eq L^{-1}$ ) em LAV em relação a PRÉ no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem de raízes de mandioca ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz) em tanque.....	79

Figura 48 – Variação de $\text{N-NH}_4^+$ ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) em LAV em relação a PRÉ no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem de raízes de mandioca ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz) em tanque.....	80
Figura 49 – Variação de $\text{Cl}^-$ ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) em LAV em relação a PRÉ no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem de raízes de mandioca ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz) em tanque.....	81
Figura 50 – Variação de $\text{N-NO}_3^-$ ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) em LAV em relação a PRÉ no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem de raízes de mandioca ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz) em tanque.....	81
Figura 51 – Variação de $\text{P-PO}_4^{3-}$ ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) em LAV em relação a PRÉ no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem de raízes de mandioca ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz) em tanque.....	82
Figura 52 – Variação de $\text{SO}_4^{2-}$ ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) em LAV em relação a PRÉ no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem de raízes de mandioca ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz) em tanque.....	82
Figura 53 – Análise de Cluster para os experimentos de lavagem de raízes de mandioca ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz). .....	84
Figura 54 – Variação do íon $\text{H}^+$ ( $\mu\text{M}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Poraquê - POR; (b) Igarapé Escura - ESC; (c) Igarapé Tributário - TRIB; (d) Igarapé Areia - ARE; e (e) Igarapé Cajuaçu - CAJ. ....	88
Figura 55 – Variação de CE ( $\mu\text{S}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Poraquê - POR; (b) Igarapé Escura - ESC; (c) Igarapé Tributário - TRIB; (d) Igarapé Areia - ARE; e (e) Igarapé Cajuaçu - CAJ... ..	89
Figura 56 – Variação de OD (% sat) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Poraquê - POR; (b) Igarapé Escura - ESC; (c) Igarapé Tributário - TRIB; (d) Igarapé Areia - ARE; e (e) Igarapé Cajuaçu - CAJ. ....	90

Figura 57 – Variação de COD ( $\text{mg L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Poraquê - POR; (b) Igarapé Escura - ESC; (c) Igarapé Tributário - TRIB; (d) Igarapé Areia - ARE; e (e) Igarapé Cajuaçu - CAJ. ....	91
Figura 58 – Variação de CID ( $\text{mg L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Poraquê - POR; (b) Igarapé Escura - ESC; (c) Igarapé Tributário - TRIB; (d) Igarapé Areia - ARE; e (e) Igarapé Cajuaçu - CAJ. ....	92
Figura 59 – Variação de NT ( $\text{mg L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Poraquê - POR; (b) Igarapé Escura - ESC; (c) Igarapé Tributário - TRIB; (d) Igarapé Areia - ARE; e (e) Igarapé Cajuaçu - CAJ. ....	93
Figura 60 – Variação de $\text{K}^+$ ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Poraquê - POR; (b) Igarapé Escura - ESC; (c) Igarapé Tributário - TRIB; (d) Igarapé Areia - ARE; e (e) Igarapé Cajuaçu - CAJ. ....	94
Figura 61 – Variação de $\text{Mg}^{2+}$ ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Poraquê - POR; (b) Igarapé Escura - ESC; (c) Igarapé Tributário - TRIB; (d) Igarapé Areia - ARE; e (e) Igarapé Cajuaçu - CAJ. ....	95
Figura 62 – Variação de $\text{Ca}^{2+}$ ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Poraquê - POR; (b) Igarapé Escura - ESC; (c) Igarapé Tributário - TRIB; (d) Igarapé Areia - ARE; e (e) Igarapé Cajuaçu - CAJ. ....	97
Figura 63 – Variação de $\text{Na}^+$ ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Poraquê - POR; (b) Igarapé Escura - ESC; (c) Igarapé Tributário - TRIB; (d) Igarapé Areia - ARE; e (e) Igarapé Cajuaçu - CAJ. ....	98

Figura 64 – Variação de $N-NH_4^+$ ( $\mu eq L^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Poraquê - POR; (b) Igarapé Escura - ESC; (c) Igarapé Tributário - TRIB; (d) Igarapé Areia - ARE; e (e) Igarapé Cajuaçu - CAJ. ....	99
Figura 65 – Variação de $Cl^-$ ( $\mu eq L^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Poraquê - POR; (b) Igarapé Escura - ESC; (c) Igarapé Tributário - TRIB; (d) Igarapé Areia - ARE; e (e) Igarapé Cajuaçu - CAJ. ....	100
Figura 66 – Variação de $N-NO_3^-$ ( $\mu eq L^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Poraquê - POR; (b) Igarapé Escura - ESC; (c) Igarapé Tributário - TRIB; (d) Igarapé Areia - ARE; e (e) Igarapé Cajuaçu - CAJ. ....	101
Figura 67 – Variação de $P-PO_4^{3-}$ ( $\mu eq L^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Poraquê - POR; (b) Igarapé Escura - ESC; (c) Igarapé Tributário - TRIB; (d) Igarapé Areia - ARE; e (e) Igarapé Cajuaçu - CAJ. ....	103
Figura 68 – Variação de $SO_4^{2-}$ ( $\mu eq L^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Poraquê - POR; (b) Igarapé Escura - ESC; (c) Igarapé Tributário - TRIB; (d) Igarapé Areia - ARE; e (e) Igarapé Cajuaçu - CAJ. ....	104
Figura 69 – Análise de cluster para os igarapés: (a) Poraquê - POR; (b) Escura - ESC; (c) Tributário - TRIB; (d) Areia - ARE e (e) Cajuaçu - CAJ. ....	105
Figura 70 – Variação de $H^+$ ( $\mu M$ ) no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem da porção aérea de plantas de malva ( <i>Urena lobata</i> L.) em tanque. ....	108
Figura 71 – Variação de CE ( $\mu S$ ) no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem da porção aérea de plantas de malva ( <i>Urena lobata</i> L.) em tanque. ....	109
Figura 72 – Variação de OD (% sat) no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem da porção aérea de plantas de malva ( <i>Urena lobata</i> L.) em tanque. ....	110
Figura 73 – Variação de Turbidez (FTU) no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem da porção aérea de plantas de malva ( <i>Urena lobata</i> L.) em tanque. ....	110

Figura 74 – Variação de COD ( $\text{mg L}^{-1}$ ) no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem da porção aérea de plantas de malva ( <i>Urena lobata</i> L.) em tanque. ....	111
Figura 75 – Variação de CID ( $\text{mg L}^{-1}$ ) no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem da porção aérea de plantas de malva ( <i>Urena lobata</i> L.) em tanque. ....	112
Figura 76 – Variação de NT ( $\text{mg L}^{-1}$ ) no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem da porção aérea de plantas de malva ( <i>Urena lobata</i> L.) em tanque. ....	112
Figura 77 – Variação de $\text{K}^+$ ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem da porção aérea de plantas de malva ( <i>Urena lobata</i> L.) em tanque. ....	113
Figura 78 – Variação de $\text{Mg}^{2+}$ ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem da porção aérea de plantas de malva ( <i>Urena lobata</i> L.) em tanque. ....	114
Figura 79 – Variação de $\text{Ca}^{2+}$ ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem da porção aérea de plantas de malva ( <i>Urena lobata</i> L.) em tanque. ....	114
Figura 80 – Variação de $\text{Na}^+$ ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem da porção aérea de plantas de malva ( <i>Urena lobata</i> L.) em tanque. ....	115
Figura 81 – Variação de $\text{N-NH}_4^+$ ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem da porção aérea de plantas de malva ( <i>Urena lobata</i> L.) em tanque. ....	116
Figura 82 – Variação de $\text{Cl}^-$ ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem da porção aérea de plantas de malva ( <i>Urena lobata</i> L.) em tanque. ....	116
Figura 83 – Variação de $\text{N-NO}_3^-$ ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem da porção aérea de plantas de malva ( <i>Urena lobata</i> L.) em tanque. ....	117
Figura 84 – Variação de $\text{P-PO}_4^{3-}$ ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem da porção aérea de plantas de malva ( <i>Urena lobata</i> L.) em tanque. ....	118
Figura 85 – Variação de $\text{SO}_4^{2-}$ ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem da porção aérea de plantas de malva ( <i>Urena lobata</i> L.) em tanque. ....	118
Figura 86 – Análise de Cluster para os experimentos de lavagem da porção aérea de plantas de malva ( <i>Urena lobata</i> L.). ....	120

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Identificação dos igarapés estudados, mesobacias, coordenadas, produto de lavagem e área da microbacia. ....	32
Tabela 2 – Valores médios e erros padrão ( $n$ variando de 1 a 10) dos parâmetros avaliados nos igarapés monitorados em relação à lavagem de raízes de mandioca ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz). ....	45
Tabela 3 – Concentrações médias, em dois experimentos, e erros padrão dos elementos avaliados nos experimentos em tanque sob lavagem de raízes de mandioca ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz). ....	72
Tabela 4 – Valores médios e erros padrão ( $n$ variando de 1 a 3) dos parâmetros avaliados nos igarapés monitorados em relação à lavagem de plantas de malva ( <i>Urena lobata</i> L.).	85
Tabela 5 – Concentrações médias e erro padrão dos elementos avaliados nos dois experimentos em tanque sob lavagem de plantas de malva ( <i>Urena lobata</i> L.). ....	107

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ANA – Agência Nacional de Águas

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CID – Carbono Inorgânico Dissolvido

COD – Carbono Orgânico Dissolvido

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FAO – Food Agriculture and Organization

NOD – Nitrogênio Orgânico Dissolvido

NT – Nitrogênio Total

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>22</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>27</b>
2.1 GERAL .....	27
2.2 ESPECÍFICOS.....	27
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>28</b>
3.1 ÁREAS DE ESTUDO PARA O MONITORAMENTO DA LAVAGEM DE MANDIOCA E MALVA .....	28
3.2 PROCEDIMENTOS DE CAMPO .....	34
3.3 PROCEDIMENTOS DE LABORATÓRIO .....	39
3.4 EXPERIMENTOS EM TANQUE.....	40
3.5 ANÁLISE DOS DADOS.....	42
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>44</b>
4.1 LAVAGEM DE MANDIOCA ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz) .....	44
<b>4.1.1 Avaliação dos efeitos da lavagem de raízes de mandioca na hidrogeoquímica             de igarapés .....</b>	<b>44</b>
<b>4.1.2 Experimento em tanque para avaliação dos efeitos da lavagem de raízes de             mandioca na hidrogeoquímica fluvial .....</b>	<b>71</b>
4.2 LAVAGEM DE PLANTAS DE MALVA ( <i>Urena lobata</i> L.).....	84
<b>4.2.1 Avaliação dos efeitos da lavagem de plantas de malva na hidrogeoquímica             de igarapés .....</b>	<b>84</b>
<b>4.2.1 Experimento em tanque para avaliação dos efeitos da lavagem de plantas de             malva na hidrogeoquímica fluvial .....</b>	<b>105</b>
5.1 LAVAGEM DE RAÍZES DE MANDIOCA ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz).....	121
5.2 LAVAGEM DE PLANTAS DE MALVA ( <i>Urena lobata</i> L.).....	122
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>123</b>
<b>APÊNDICE(S).....</b>	<b>129</b>
<b>APÊNDICE A – LAVAGEM DE RAÍZES DE MANDIOCA (<i>MANIHOT ESCULENTA</i>         CRANTZ) EM UM TRECHO DO IGARAPÉ PASSAGEM – PAS.....</b>	<b>130</b>

APÊNDICE B – LAVAGEM DE RAÍZES DE MANDIOCA ( <i>MANIHOT ESCULENTA</i> CRANTZ) EM UM TRECHO DO IGARAPÉ DIVISA – DIV .....	131
APÊNDICE C – LAVAGEM DE RAÍZES DE MANDIOCA ( <i>MANIHOT ESCULENTA</i> CRANTZ) EM UM TRECHO DO IGARAPÉ BREU – BRE.....	132
APÊNDICE D – LAVAGEM DE RAÍZES DE MANDIOCA ( <i>MANIHOT ESCULENTA</i> CRANTZ) EM UM TRECHO DO IGARAPÉ COLÔNIA – COL .....	133
APÊNDICE E – LAVAGEM DE RAÍZES DE MANDIOCA ( <i>MANIHOT ESCULENTA</i> CRANTZ) EM UM TRECHO DO IGARAPÉ AREIA – ARE .....	134
APÊNDICE F – EXPERIMENTO DE LAVAGEM DE RAÍZES DE MANDIOCA ( <i>MANIHOT ESCULENTA</i> CRANTZ) EM TANQUE .....	135
APÊNDICE G – LAVAGEM DE RAÍZES DE PLANTAS DE MALVA ( <i>URENA LOBATA</i> L.) EM UM TRECHO DO IGARAPÉ PORQUÊ – POR .....	136
APÊNDICE H – LAVAGEM DE RAÍZES DE PLANTAS DE MALVA ( <i>URENA LOBATA</i> L.) EM UM TRECHO DO IGARAPÉ ESCURA – ESC.....	137
APÊNDICE I – LAVAGEM DE RAÍZES DE PLANTAS DE MALVA ( <i>URENA LOBATA</i> L.) EM UM TRECHO DO IGARAPÉ “SEM NOME”, TRIBUTÁRIO DO IGARAPÉ PERIPINDEUA – TRIB .....	138
APÊNDICE J – LAVAGEM DE RAÍZES DE PLANTAS DE MALVA ( <i>URENA LOBATA</i> L.) EM UM TRECHO DO IGARAPÉ AREIA – ARE.....	139
APÊNDICE K – LAVAGEM DE RAÍZES DE PLANTAS DE MALVA ( <i>URENA LOBATA</i> L.) EM UM TRECHO DO IGARAPÉ CAJUAÇU – CAJ.....	140
APÊNDICE L – EXPERIMENTO DE LAVAGEM DE PLANTAS DE MALVA ( <i>URENA LOBATA</i> L.) EM TANQUE.....	141
APÊNDICE M – PROCESSO DE DESFIBRAMENTO DA MALVA ( <i>URENA LOBATA</i> L.) APÓS 15 DIAS DE LAVAGEM EM IGARAPÉ NA REGIÃO NORDESTE PARAENSE.....	142
APÊNDICE N – PROCESSO DE SECAGEM DA MALVA ( <i>URENA LOBATA</i> L.) APÓS DESFIBRAMENTO.....	143

APÊNDICE O – MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN ENTRE AS VARIÁVEIS AVALIADAS DURANTE O MONITORAMENTO DA LAVAGEM DE MANDIOCA ( <i>MANIHOT ESCULENTA</i> CRANTZ) EM PEQUENOS IGARAPÉS.....	144
APÊNDICE P – MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN ENTRE AS VARIÁVEIS AVALIADAS DURANTE O MONITORAMENTO DA LAVAGEM DE MANDIOCA ( <i>MANIHOT ESCULENTA</i> CRANTZ) EM EXPERIMENTO EM TANQUE. ....	145
APÊNDICE Q – MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN ENTRE AS VARIÁVEIS AVALIADAS DURANTE O MONITORAMENTO DA LAVAGEM DE PLANTAS DE MALVA ( <i>URENA LOBATA</i> L.) EM PEQUENOS IGARAPÉS.....	146
APÊNDICE R – MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN ENTRE AS VARIÁVEIS AVALIADAS DURANTE O MONITORAMENTO DA LAVAGEM DE MALVA ( <i>URENA LOBATA</i> L.) EM EXPERIMENTO EM TANQUE.....	147

## 1 INTRODUÇÃO

Quando se trata em atender às necessidades básicas de seres humanos e do meio ambiente a água é um elemento essencial, sendo sua qualidade tão importante quanto sua quantidade. No entanto, nas últimas décadas, pouca importância tem sido dada ao aspecto qualitativo deste recurso (BRASIL, 2011).

O descaso com a gestão dos recursos hídricos torna-se preocupante e compromete a manutenção da qualidade da água, tanto no aspecto ecossistêmico, quanto para atender às demandas das sociedades humanas (BRAGA et al., 2005). Além disso, a conservação dos corpos hídricos é essencial para a sobrevivência de organismos e para o funcionamento de ecossistemas aquáticos (REBOUÇAS et al., 2006; SOUZA et al., 2003).

Na Região Amazônica estudos sobre a dinâmica das mudanças de uso da terra indicam o comprometimento de seus recursos naturais e de seus serviços ecossistêmicos, como por exemplo, a regulação da qualidade e quantidade de água, a provisão de habitat para flora e fauna endêmica, e a fixação de carbono (KATO et al., 2004; ROSA, 2007).

Segundo dados da Agência Nacional de Águas (ANA), o Estado do Pará, uma das maiores economias da Região Norte e abundante em recursos hídricos, apresenta um nível incipiente de implementação de modelos de gestão destes ambientes (BRASIL, 2005), que propiciem o aproveitamento de bacias hidrográficas em benefício da sociedade e que atendam à Política Nacional de Recursos Hídricos, a qual define a bacia hidrográfica como unidade básica de planejamento territorial para o desenvolvimento (BRASIL, 1997).

Pequenos cursos d'água (córregos e igarapés), por serem mais sensíveis a perturbações em suas bacias do que os rios maiores, cujas bacias em geral apresentam uso da terra bastante diversificado, são úteis como objeto de monitoramento de alterações na qualidade da água fluvial em decorrência de fatores antropogênicos (CHRISTOPHERSEN et al., 1994; KRUSCHE et al., 2005; MOLDAN; CERNY, 1994; NEILL et al., 2006; RICHEY et al., 1997). Sendo assim, estratégias para a realização de uma gestão integrada de recursos hídricos requerem estudos de avaliação de impactos e de processos biogeoquímicos, conduzidos em escala de microbacias, que considerem a dinâmica de ocupação da paisagem e as atividades antrópicas ali

praticadas, visto que na pequena escala as respostas são mais rápidas, enquanto que em rios maiores os sinais dos impactos são diluídos em função do volume de água escoada.

Ao longo dos anos, os habitantes da Amazônia desenvolveram inúmeras formas para uso dos recursos naturais, visando manter seu sustento e renda (NODA, 2010; VIEIRA et al., 2007). Dentre esses habitantes encontram-se os agricultores familiares, que geralmente cultivam pequenas áreas de terra e praticam atividades extrativistas. Suas técnicas de produção e extração parecem não causar muitos danos ambientais, pois na maioria das vezes a produção é limitada para atender, primordialmente, à dieta básica e proporcionar o bem estar de suas famílias.

Por este motivo, a agricultura familiar não se caracteriza como uma atividade de caráter essencialmente capitalista (ANDRIOLI, 2008; NODA, op.cit.), pois a comercialização da produção, quando efetuada, dá-se a partir de um pequeno excedente, e em geral é destinada aos mercados local e/ou estadual; além de estar condicionada aos ciclos da natureza, bem como ao regime hidrológico dos rios (DIEGUES, 1994).

Dentre os cultivos agrícolas anuais na Amazônia, a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é a que mais se destaca, no âmbito da agricultura familiar (VIEIRA, op.cit.). Nesse contexto agrícola amazônico a lavoura de mandioca é conduzida com poucos insumos e baixas tecnologias e investimentos no processo de comercialização, ocupando pequenas áreas de terra da propriedade agrícola, quase que essencialmente, para subsistência de suas famílias (NODA, op.cit.; PONTE, 2000).

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de mandioca (FAO, 2011). É cultivada em todos os estados brasileiros e situa-se entre os nove primeiros produtos agrícolas do país (CENI et al., 2009). Trata-se de uma cultura importante, notadamente no Estado do Pará (ALMEIDA, 2006; VIEIRA op.cit.), cuja produção em 2009 atingiu mais de cinco milhões de toneladas do produto neste estado (PARÁ, 2011). Por outro lado, a produção de farinha de mandioca, no Estado do Pará, possui importância não só econômica, mas também social (ROSA, 2002; DIAS; LEONEL, 2005).

O processamento artesanal das raízes de mandioca, para a produção de farinha (d'água e seca), é realizado pelos diferentes componentes da família, incluindo mulheres e crianças. O processamento se dá nas seguintes etapas: colheita, lavagem, descascamento, pubagem, ralação, prensagem, peneiramento e torração (COHEN et al., 2007). Destaca-se que na presente pesquisa foi enfocada a etapa de pubagem da mandioca, realizada em pequenos igarapés

amazônicos. Esta etapa tem como finalidade o amolecimento da casca e, segundo Cohen et al. (2007) é eficaz na remoção de compostos cianogênicos (substância tóxica) do produto. Geralmente, os pequenos cursos d'água utilizados na etapa de pubagem drenam as pequenas propriedades dos agricultores familiares ou localizam-se próximos a essas áreas.

Outro produto importante na agricultura familiar paraense é a malva (*Urena lobata* L.). A malva é uma espécie subarborescente, semi-lenhosa, semi-perene, de onde se extrai uma fibra largamente utilizada na indústria têxtil de aniagem para a produção de sacarias, telas, tapetes, entre outros e é amplamente distribuída nas regiões tropicais e subtropicais (CARVALHO, 1988). No entanto, apesar de sua utilidade, a mesma é considerada planta daninha de áreas de pastagens cultivadas (SOUZA FILHO et al., 2000).

A região amazônica é considerada a maior produtora da fibra de malva. Esta cresce cerca de três metros de altura em oito meses e sua extração se caracteriza por uma atividade temporária (SATYANARAYANA et al., 2007). O processamento da malva envolve cinco etapas produtivas: corte, afogamento, lavagem/desfibrilamento, secagem e enfardamento (FERREIRA et al., 2008). Após o corte, a malva é agrupada em feixes e passa por processo de murchamento para perda das folhas e do peso, a fim de facilitar o transporte até os igarapés, onde os feixes serão submersos. O presente estudo concentra-se em verificar os efeitos da etapa de lavagem do produto agrícola em questão, em pequenos igarapés.

O Estado do Pará, segundo maior produtor nacional de malva (TENÓRIO, 2008), produziu em 2009 cerca de 1.700 toneladas do produto, na forma de fibra seca (PARÁ, 2011). Destaca-se como pólo produtor da fibra de malva a região próxima ao município de Capitão-Poço (FAGUNDES, 2009). Na Mesoregião Nordeste Paraense a malva geralmente é processada pela agricultura familiar de maneira tradicional, no leito de pequenos igarapés, para complementação da renda; no entanto, a mesma não provém de plantações, pois ocorre de maneira espontânea às margens das estradas, e apresenta processamento de ciclo curto, compreendendo um período de três a quatro meses.

Entender a interação que o processamento de raízes de mandioca e a porção aérea das plantas de malva podem provocar sobre a hidrobiogeoquímica de pequenos igarapés é fundamental, pois tais atividades podem influenciar na depreciação da qualidade hídrica desses pequenos cursos d'água, dependendo do grau do impacto e do volume dos produtos processados, ainda que sejam provenientes de fibras vegetais e possuam maior biodegradabilidade.

Para Thomas et al. (2004), o entendimento das características de pequenos igarapés, bem como dos fatores que controlam materiais dissolvidos, é importante para identificar possíveis influências sobre processos biogeoquímicos, sobre o funcionamento de igarapés e do grau em que esses efeitos são transmitidos a jusante.

O referido contexto rural retrata a ausência de planos de desenvolvimento que integrem, de forma participativa, a prática de sistemas de produção agrícola ecoeficientes e a gestão de recursos naturais, que considerem a sustentabilidade ambiental e socioeconômica da região. Fator complicador é o limitado acesso dos produtores rurais às informações sobre técnicas sustentáveis de produção, que possam reduzir os impactos ambientais, bem como a desconexão entre a realidade da agricultura familiar e as iniciativas de instituições públicas em prol desse setor econômico. Deste modo, torna-se necessário que sejam desenvolvidas pesquisas multi e interdisciplinares envolvendo diferentes instituições nas temáticas ambientais, sociais e econômicas, objetivando atender as metas de desenvolvimento sustentável.

Em publicação recente, Figueiredo et al. (2010) sugerem que a temperatura, turbidez, pH e oxigênio dissolvido podem ser os parâmetros de qualidade mais simples e indicativos de água a ser monitorada para fins de planejamento ambiental e regulamentações governamentais na região de expansão do agronegócio no Estado do Pará.

O pH influi em diversos equilíbrios químicos que ocorrem naturalmente, tornando-se um parâmetro extremamente importante em estudos ambientais. Em ecossistemas aquáticos pode interferir, de maneira indireta, sobre a solubilidade de nutrientes (CETESB, 2011), além de ser influenciado pela presença do íon  $H^+$ , oriundo da dissociação do ácido carbônico, resultando em baixos valores de pH (ESTEVEZ, 1998).

O oxigênio é um gás de grande importância biológica, pois, em ambientes aquáticos, participa de inúmeras reações químicas. Sua dissolução é muito rápida e pode ser avaliado em termos de porcentagem de saturação na água, que caracteriza o teor de oxigênio dissolvido à temperatura e pressão consideradas (TUNDISI; TUNDISI, 2008).

Dentre os materiais que podem ser transportados por meio de igarapés, estão os íons dissolvidos principais ( $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $HCO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ ); a capacidade de dissolução desses íons é influenciada pela temperatura, acidez, fluxo de água e a concentração de oxigênio dissolvido (TUNDISI; TUNDISI, op.cit.), sendo as variações de suas concentrações diretamente relacionadas com a condutividade elétrica do meio (CETESB, 2011).

Ambientes aquáticos também transportam nutrientes dissolvidos: nitrogênio (nitrato, nitrito e amônia) e fósforo (fosfato). Além destes, pequenos igarapés apresentam um aporte de carbono orgânico dissolvido (COD), proveniente da decomposição de material particulado alóctone (TUNDISI; TUNDISI, 2008). Em águas naturais, os componentes mais abundantes do carbono orgânico dissolvido são, dentre outros, os compostos húmicos (BAIRD, 2002; ESTEVES, 1998). Segundo Esteves (op.cit.), em altas concentrações, certos compostos orgânicos podem tornar-se tóxicos e causar problemas de mau-cheiro. De forma geral, para águas superficiais, o valor médio da concentração de COD é de 5 ppm, esta concentração torna-se consideravelmente maior nos casos de pântanos, lamaçais e esgotos não tratados (BAIRD, op.cit.).

Nesse contexto concebeu-se o presente estudo<sup>1</sup> objetivando investigar possíveis alterações na hidrobiogeoquímica fluvial de pequenos igarapés amazônicos na Mesorregião Nordeste Paraense, onde ocorre o processamento artesanal de raízes de mandioca e plantas de malva, praticado na agricultura familiar. Para atingir tal objetivo, foi utilizado um método de amostragem a montante e a jusante do local de lavagem dos produtos (mandioca e malva), em igarapés de baixa ordem.

---

<sup>1</sup>Esta pesquisa foi conduzida no âmbito de dois projetos:

- Projeto "GESTABACIAS - Conservação de recursos naturais em mesobacias hidrográficas na Amazônia Oriental: iniciativas integradoras para promover a gestão ambiental participativa no meio rural" – Edital: 06/2007 / Macroprograma 2 / Conservação ambiental e recuperação de áreas degradadas, coordenado pelo Dr. Steel Silva Vasconcelos (pesquisador A da Embrapa/CPATU);
- Projeto "Agricultura familiar e qualidade de água no Nordeste Paraense: Conservação de serviços agroecossistêmicos em escala de bacia hidrográfica" – Edital MCT/CNPq/CT-AGRONEGÓCIO/CTHIDRO – Nº 27/2008, coordenado por Pedro Gerhard (pesquisador A da Embrapa/CPATU).

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 GERAL

Avaliar os efeitos do processamento artesanal de raízes de mandioca e plantas de malva sobre a hidrobiogeoquímica de pequenos igarapés, visando fornecer subsídios para a gestão participativa de bacias hidrográficas no Nordeste Paraense.

### 2.2 ESPECÍFICOS

- ✓ Monitorar a hidroquímica fluvial de pequenos riachos amazônicos (igarapés) onde é realizado o processamento artesanal de raízes de mandioca e plantas de malva.
- ✓ Avaliar alterações na composição química da água, provocadas pela lavagem de raízes de mandioca e plantas de malva, por meio de experimento em tanque semicontrolado.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 ÁREAS DE ESTUDO PARA O MONITORAMENTO DA LAVAGEM DE MANDIOCA E MALVA

O presente estudo foi desenvolvido em pequenos igarapés pertencentes a duas mesobacias localizadas na Mesorregião Nordeste Paraense (Figura 1), mais especificamente nos municípios de Marapanim e Igarapé-Açu, onde está situada a mesobacia dos igarapés contíguos Timboteua e Buiuna (área 1 no mapa), cuja área de drenagem é de 8.715 hectares; e nos municípios de Mãe do Rio e Irituia, onde localiza-se a mesobacia do Igarapé Peripindeua (área 2), cuja drenagem abrange uma área de 19.281 hectares (OLIVEIRA et al., 2010). Estas áreas caracterizam-se por apresentar um uso predominantemente agrícola.

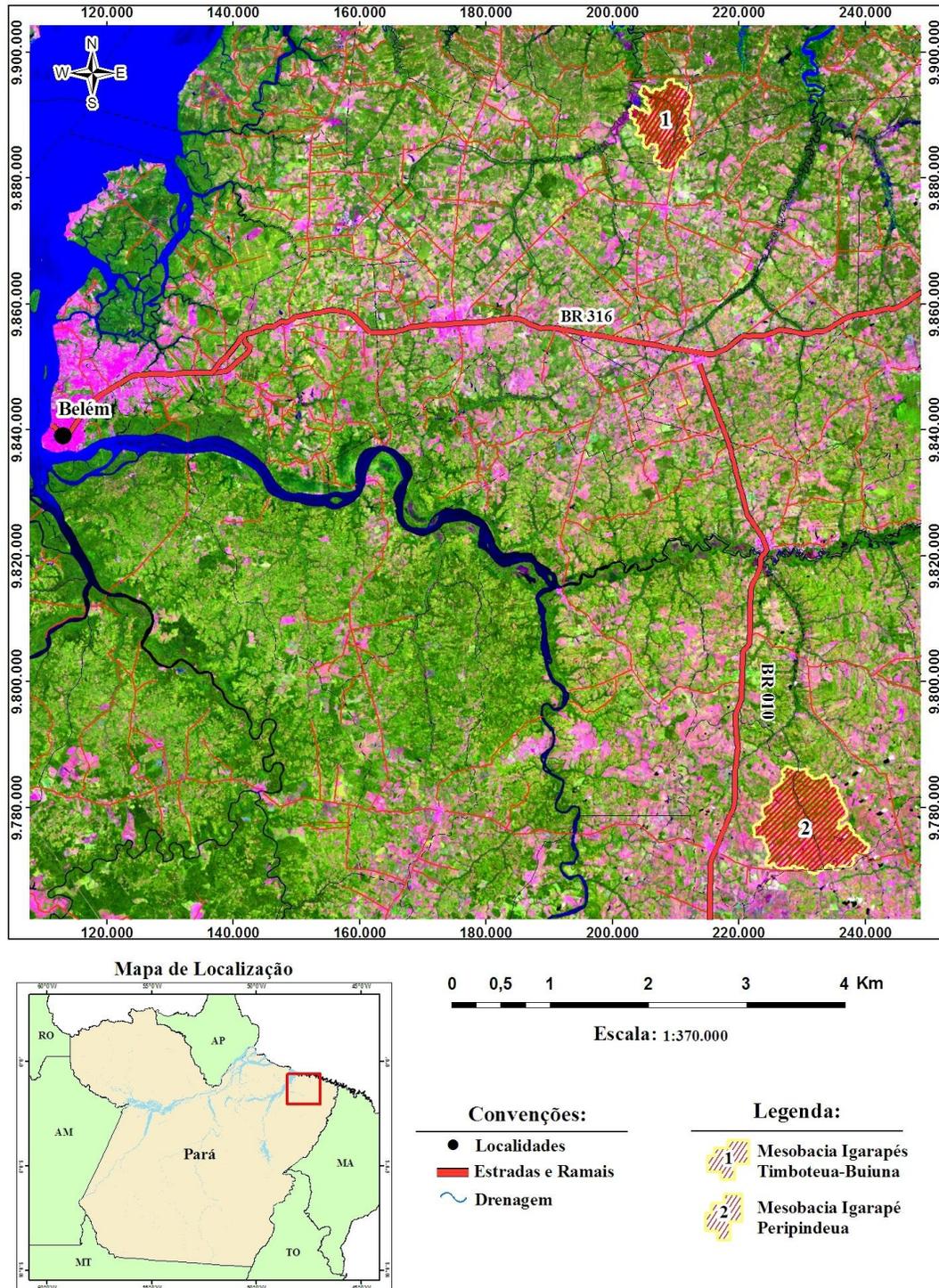
Os municípios de Igarapé-Açu e Marapanim, onde se localiza a mesobacia dos igarapés contíguos Timboteua e Buiuna, possuem como unidade geológica dominante, segundo CPRM (2011), o Grupo Barreiras (Plioceno), apresentam depósitos sedimentares provenientes do pós-Barreiras (Pleistoceno), além da Formação Pirabas (Mioceno Inferior), recoberta por unidades mais recentes, que explica a presença de calcário na região.

As principais classes de solos identificadas na mesobacia dos igarapés contíguos Timboteua-Buiuna foram: o Gleissolo Háptico Tb alumínico, com textura argilosa/muito argilosa; o Latossolo Amarelo Distrófico típico, com textura média; e o Argissolo Amarelo Distrófico típico, com textura arenosa/ argilosa (SILVA et al., 2010), bem como topografia singela da área no que concerne à estrutura e ao relevo, atestando níveis baixos, com relevo médio de 39 m acima do nível do mar, daí sua morfologia pouco acidentada (PARÁ, 2011).

Sua cobertura vegetal é composta predominantemente por floresta secundária em diferentes estágios de sucessão, que podem também ser classificadas como vegetação de pousio de diferentes idades, caracterizando uma paisagem heterogênea (SOMMER, 2004).

Já os municípios de Mãe do Rio e Irituia, onde se localiza a mesobacia do Igarapé Peripindeua, apresentam geologia, segundo Pará (2011), composta por sedimentos terciários (Formação Barreiras) e do Quaternário Subatual e Recente.

Figura 1 – Mapa<sup>2</sup> de localização das áreas de estudo.



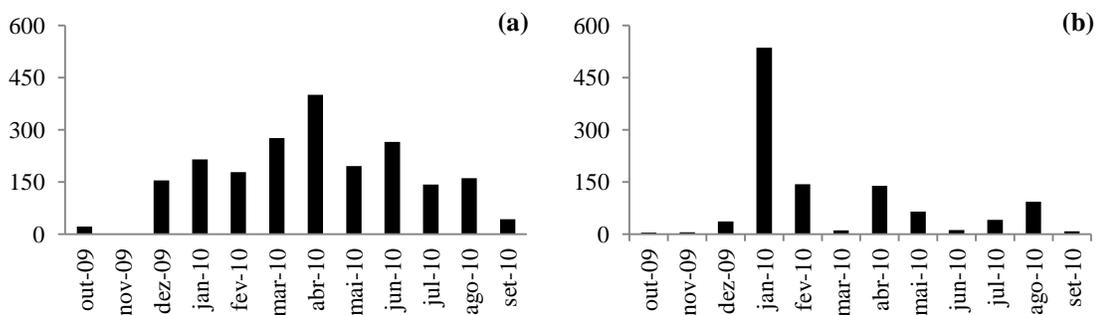
<sup>2</sup> Mapa de localização elaborado pelo Laboratório de Sensoriamento Remoto da Embrapa Amazônia Oriental.

Os solos dessa região são caracterizados como Latossolo Amarelo Distrófico típico, que cobre 74,5% da área total, com textura média, e como Argissolo Distrófico típico, com textura média/argilosa (OLIVEIRA et al., 2011; SILVA et al., 2010). A topografia apresenta relevo que varia de 25 a 120 m. A cobertura vegetal é composta predominantemente por fragmentos de floresta secundária (PARÁ, 2011).

Durante este trabalho de pesquisa a precipitação, nas áreas em estudo, distribuiu-se de forma heterogênea. Na mesobacia dos igarapés Timboteua-Buiuna, a precipitação mensal foi maior em abril, e menor em novembro (Figura 2a), com volume anual precipitado de 2.051 mm no município de Igarapé-Açu. Estes dados de precipitação foram obtidos de uma estação meteorológica próxima à área de estudo, apresentando a coordenada de -1,1325 de latitude e -47,6283 de longitude. Esses valores são comparáveis aos medidos na mesma estação meteorológica no período de 1995 a 2009, cuja precipitação média anual registrada foi de 2.500 mm (CORDEIRO et al., 2010).

Já para a mesobacia do Igarapé Peripindeua o mês de maior volume precipitado foi janeiro (Figura 2b). A precipitação nesta mesobacia ao longo dos doze meses de estudo foi de cerca de 1.092 mm (dado coletado na estação meteorológica localizada na Fazenda São Raimundo com localização geográfica de -2,4283 de latitude e -47,5142 de longitude, localizada próxima à área de estudo); no entanto, Oliveira et al. (2011) registraram precipitação anual variando entre 2.300 a 2.500 mm na mesobacia do Igarapé Peripindeua.

Figura 2 – Precipitação total mensal<sup>3</sup> (mm) observada no período de outubro de 2009 a setembro de 2010 para a (a) mesobacia dos igarapés contíguos Buiuna e Timboteua (municípios de Marapanim e Igarapé-Açu) e (b) mesobacia do Igarapé Peripindeua (municípios de Mãe do Rio e Irituia).



Fonte: Do autor.

<sup>3</sup> Dados obtidos a partir de estações pluviométricas da ANA/CPRM, incluídas no banco de dados do projeto Rede Estadual de Previsão Climática e Hidrometeorológica do Pará- RPCH.

Foram alvos de avaliações hidrobiogeoquímicas dez igarapés amazônicos, de primeira e segunda ordem, onde se observou o processamento artesanal, em águas fluviais, de raízes de mandioca para a produção de farinha e da parte aérea de plantas de malva para a extração de fibra vegetal.

Segundo Almeida e Ferreira Filho (2005) as várias espécies de mandioca podem ser agrupadas de acordo com sua toxicidade. A causa de envenenamento pela ingestão de raízes de mandioca se deve à presença de “linamarina” (glicosídeo cianogênico), que quando em contato com ácidos, sofre o processo de hidrólise, convertendo-se em ácido cianídrico, o qual é altamente tóxico (ALMEIDA; FERREIRA FILHO, 2005; BRANCO, 1967). Têm-se assim, segundo Cohen et al. (2007) e Silva et al. (2008), três classes: a mandioca inócua/mansa, cujo teor de ácido cianídrico não ultrapassa  $50 \text{ mg Kg}^{-1}$ , a mandioca moderadamente venenosa, cujo teor de ácido cianídrico varia de 50 a  $100 \text{ mg Kg}^{-1}$ ; e a perigosamente venenosa também conhecida como brava, cujo teor de ácido cianídrico excede  $100 \text{ mg Kg}^{-1}$ . Em geral, a espécie brava é a utilizada na produção da farinha e do tucupi, alimentos de grande consumo na Região Norte, sendo esta espécie então aquela cujo processamento envolve a utilização das águas fluviais.

As plantas de malva (*Urena lobata* L.), segundo Souza Filho et al. (2000), destacam-se por apresentar maior habilidade para vegetar regiões em que as condições de pH do solo são extremas (entre 3,5 e 6,5), pois a produção de matéria seca está relacionada ao aumento do pH. Trata-se de um vegetal com capacidade de absorção de nutrientes, mesmo em solos com características ácidas, como os tropicais, configurando-se um vegetal com altos teores de fósforo, potássio, magnésio e cálcio acumulados tanto na porção aérea como nas raízes. No contexto da presente pesquisa foi monitorada apenas a lavagem da porção aérea da malva.

Na Tabela 1 estão listados os igarapés, seus códigos de identificação, suas mesobacias, a localização geográfica dos pontos de amostragem e a área de drenagem dos setores das sub-bacias relativos a estes pontos, apresentando ainda os produtos alvo do processamento artesanal.

As amostras foram coletadas em números diferenciados em todos os igarapés alvo deste monitoramento. Esta diferença deveu-se ao fato de não ser possível controlar a rotina de atividades dos agricultores em campo. Foi possível identificar uma predominância das atividades de lavagem de mandioca nos municípios de Igarapé-Açu e Marapanim (mesobacia dos igarapés

Timboteua-Buiuna); já a lavagem de malva é mais recorrente nos municípios de Mãe do Rio e Irituia (mesobacia do Igarapé Peripindeua).

Tabela 1 – Identificação dos igarapés estudados, mesobacias, coordenadas, produto de lavagem e área da microbacia.

<b>Código</b>	<b>Igarapé</b>	<b>Mesobacia</b>	<b>Coordenadas</b>	<b>Produto</b>	<b>Área (ha)</b>
PAS	Passagem	Timboteua-Buiuna	01°00'11,79''S e 47°37'35,23''W	Mandioca	140,70
COL*	Colônia	Igarapé Açú	01°02'45,00''S e 47°38'21,00''W	Mandioca	438,15
BRE	Breu	Timboteua-Buiuna	01°00'44,32''S e 47°39'01,82''W	Mandioca	113,80
DIV	Divisa	Peripindeua	02°04'06,25''S e 47°23'55,30''W	Mandioca	89,30
ARE	Areia	Peripindeua	02°04'08,41''S e 47°24'27,55''W	Mandioca	114,07
ESC	Escura	Peripindeua	02°01'33,00''S e 47°24'18,00''W	Malva	208,25
TRIB**	Sem nome	Peripindeua	02°00'21,00''S e 47°25'35,00''W	Malva	138,55
POR	Poraquê	Peripindeua	01°58'05,47''S e 47°26'22,83''W	Malva	28,49
ARE	Areia	Peripindeua	02°03'08,00''S e 47°24'09,00''W	Malva	142,85
CAJ	Cajuaçu	Peripindeua	01°57'39,00''S e 47°26'32,00''W	Malva	175,14

\*Igarapé localizado em mesobacia vizinha à dos igarapés contíguos Timboteua e Buiuna.

\*\*Igarapé sem nome, Tributário da margem esquerda do Igarapé Peripindeua, Mãe do Rio – PA.

Fonte: Do autor.

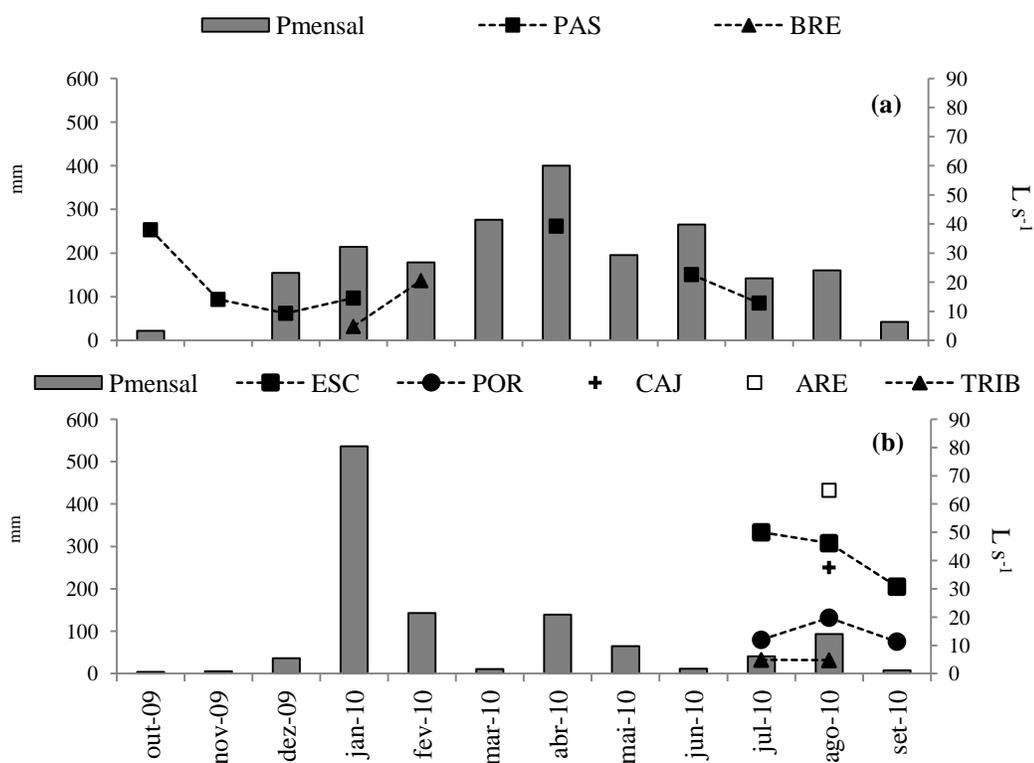
A Figura 3 apresenta os gráficos de precipitação mensal versus vazão para os igarapés monitorados, quanto ao processamento de raízes de mandioca (Figura 3a) e plantas de malva (Figura 3b). As vazões nos diferentes igarapés não apresentaram padrão de variação temporal definido em função da precipitação e os dados apresentados correspondem apenas aos meses em que foram coletadas amostras nos igarapés monitorados. Destaca-se que os dados de vazão foram obtidos a partir do banco de dados do Projeto GESTABACIAS.

Na Figura 3a, apenas no Igarapé Divisa, nos meses de fevereiro, março e abril e no Igarapé Passagem nos meses de abril, junho e julho, foi observado um comportamento de vazão que apresenta resposta à precipitação. Com relação à Figura 3b, verificou-se apenas para o Igarapé Poraquê uma resposta de vazão à precipitação ocorrida no período amostrado (meses de julho, agosto e setembro). No entanto, sabe-se que em pequenos cursos d'água, devido sua pequena área de drenagem, as respostas de vazão geralmente se correlacionam mais com os índices da precipitação ocorrida durante as poucas horas que precedem a medida da vazão.

Como pode ser observado na Figura 3, os dados de vazão contribuem para enfatizar que tratam-se de pequenos igarapés monitorados, sendo o igarapé ARE (onde foi observada

lavagem de mandioca) o maior em termos de vazão; já o menor foi o TRIB, onde observou-se lavagem de malva no canal fluvial.

Figura 3 – Vazões<sup>4</sup> (linhas) e precipitações (barras) nos igarapés monitorados nas mesobacias dos igarapés Timboteua e Buiúna (a) e Igarapé Peripindeua (b).



Fonte: Do autor.

O propósito em apresentar as condições de descarga fluvial nos ambientes estudados visa apenas caracterizar a hidrologia desses cursos d'água, demonstrando que suas magnitudes possuem certa similaridade, permitindo sua comparação com outros estudos que venham a ser desenvolvidos, e representar sistemas fluviais amazônicos onde as recomendações, contidas, na presente pesquisa, possam ser aplicadas. Nenhuma tentativa de cálculo de fluxo de massa de elementos medidos foi realizada, já que o tamanho amostral dos dados hidrogeológicos e hidrológicos foram insuficientes para tal cálculo.

<sup>4</sup> Dados de vazão obtidos a partir de um banco de dados do projeto GESTABACIAS, fornecidos por Daniel Barroso.

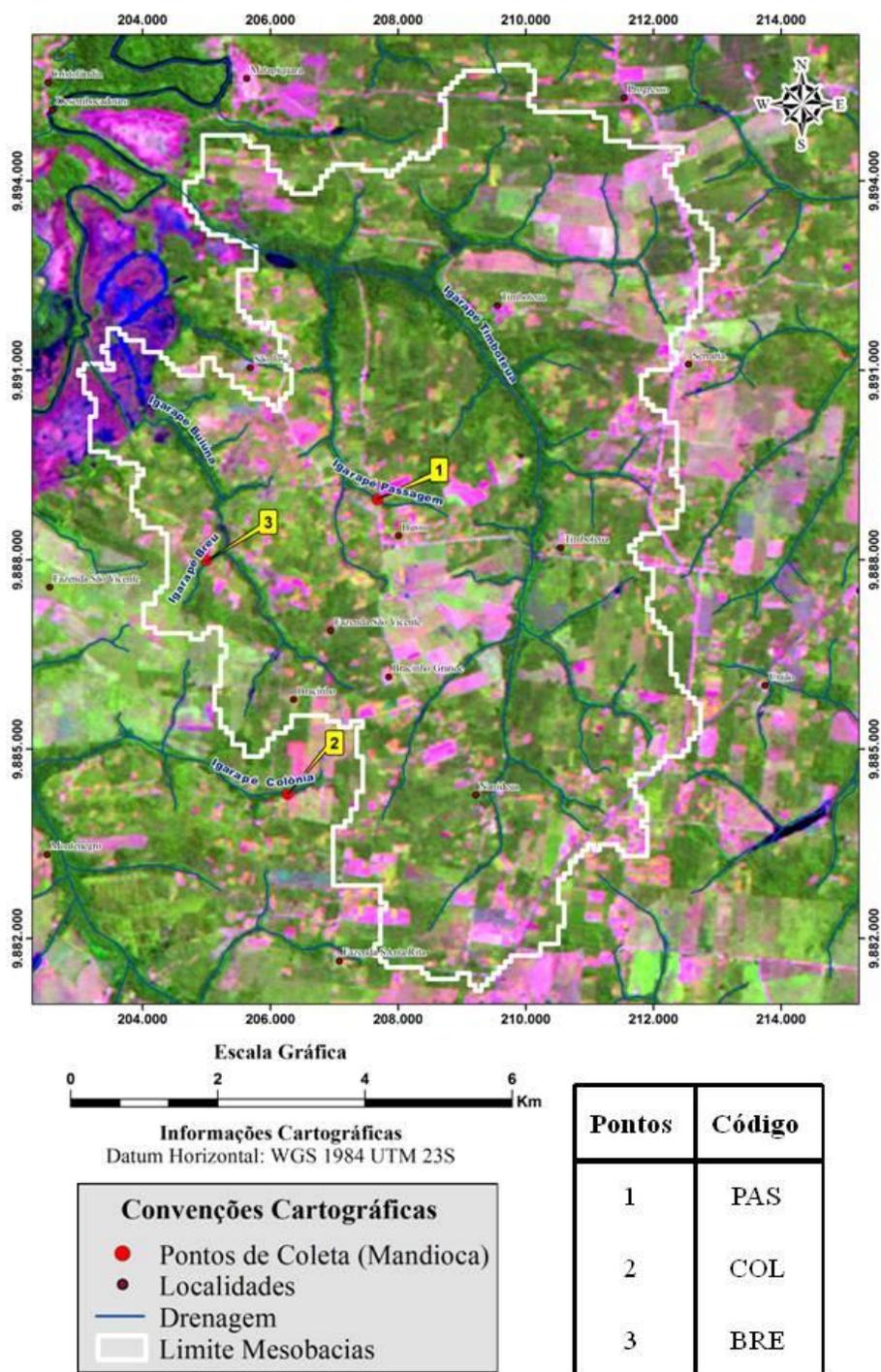
### 3.2 PROCEDIMENTOS DE CAMPO

Os trabalhos de campo foram realizados em pequenos igarapés, que drenam microbacias localizadas na mesobacia dos igarapés contíguos Timboteua-Buiuna (Figura 4) e na mesobacia do Igarapé Peripindeua (Figura 5). Na primeira mesobacia observou-se a predominância de processamento artesanal de raízes de mandioca, enquanto na segunda observou-se tanto a lavagem de raízes de mandioca quanto de plantas de malva em pequenos igarapés.

Nos igarapés referentes à mesobacia do Timboteua-Buiuna foram coletadas amostras de água para avaliação dos efeitos do processamento de mandioca sobre a hidrobiogeoquímica fluvial. Um dos igarapés estudados (COL) encontra-se localizado fora da mesobacia citada; no entanto, seu trecho amostrado situa-se muito adjacente às mesobacias Timboteua-Buiuna o que não interfere nas interpretações, visto que as condições geológicas, principalmente, não variam de maneira expressiva e a avaliação, realizada por esta pesquisa, foi executada localmente, portanto avaliando-se as respostas dos igarapés de maneira individual quanto ao processamento dos produtos em foco. Nos igarapés localizados na mesobacia do Peripindeua, por sua vez, foram coletadas amostras de água para avaliação dos efeitos do processamento de raízes de mandioca e de porções aéreas das plantas de malva sobre a hidrobiogeoquímica fluvial.

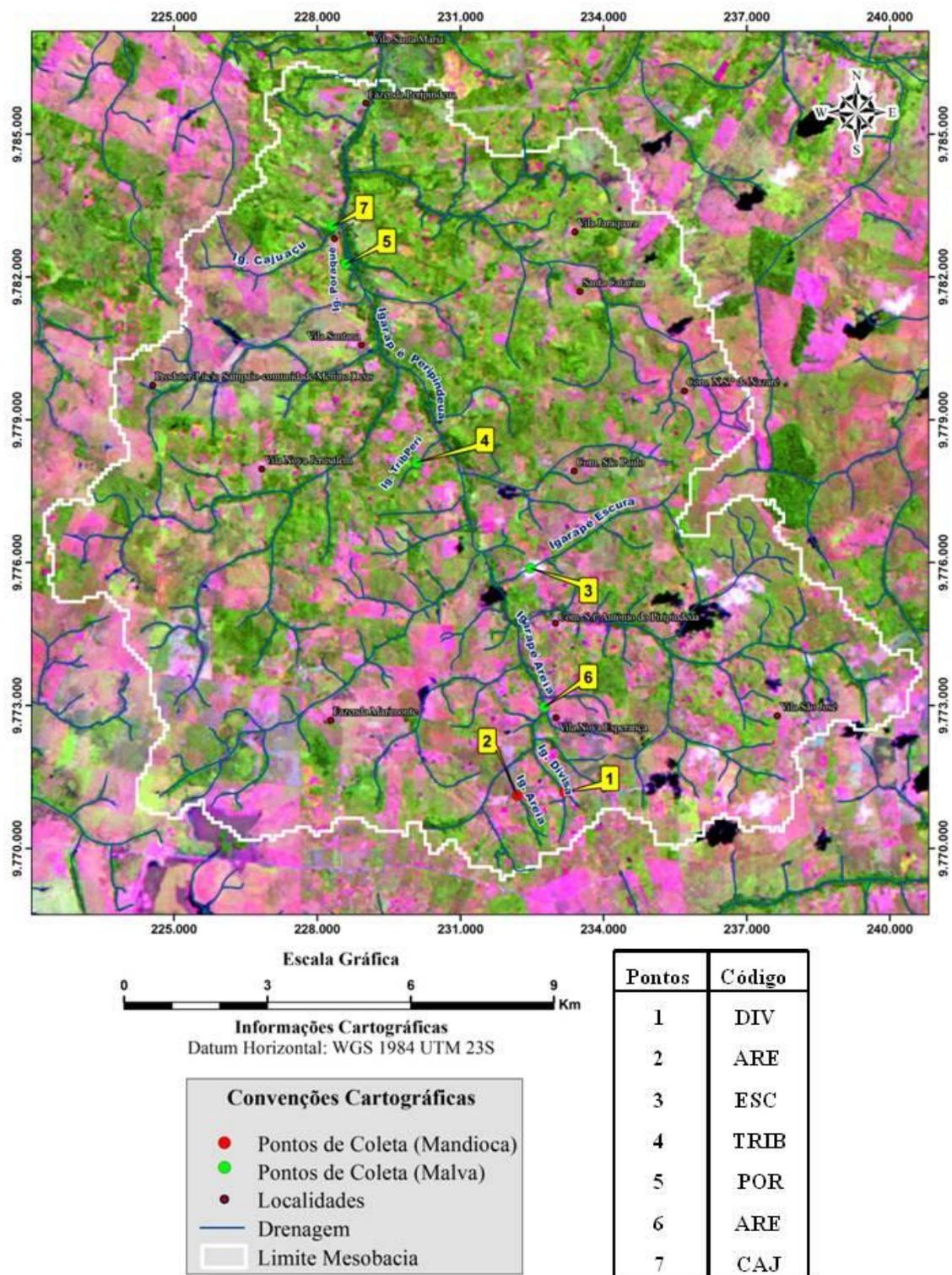
Em cada mesobacia (mas não em todos os igarapés) foram realizadas campanhas mensais, compreendendo período de outubro de 2009 a setembro de 2010, totalizando 12 meses de monitoramento em campo, a fim de abranger os períodos sazonais distintos (seco e chuvoso). Onde foi encontrada a ocorrência de lavagem de mandioca ou de malva, realizaram-se leituras de parâmetros físico-químicos, bem como coletas de amostras da água fluvial para análise química em laboratório.

Figura 4 – Mapa<sup>5</sup> com a localização dos igarapés monitorados na mesobacia dos igarapés contíguos Buiúna e Timboteua.



<sup>5</sup> Mapa de localização elaborado pelo Laboratório de Sensoriamento Remoto da Embrapa Amazônia Oriental. O ponto de coleta 2 se refere ao Igarapé Colônia, que localiza-se próximo ao limite da mesobacia do Igarapé Açú com a mesobacia avaliada.

Figura 5 – Mapa<sup>6</sup> com a localização dos igarapés monitorados na mesobacia do Igarapé Peripindeua.

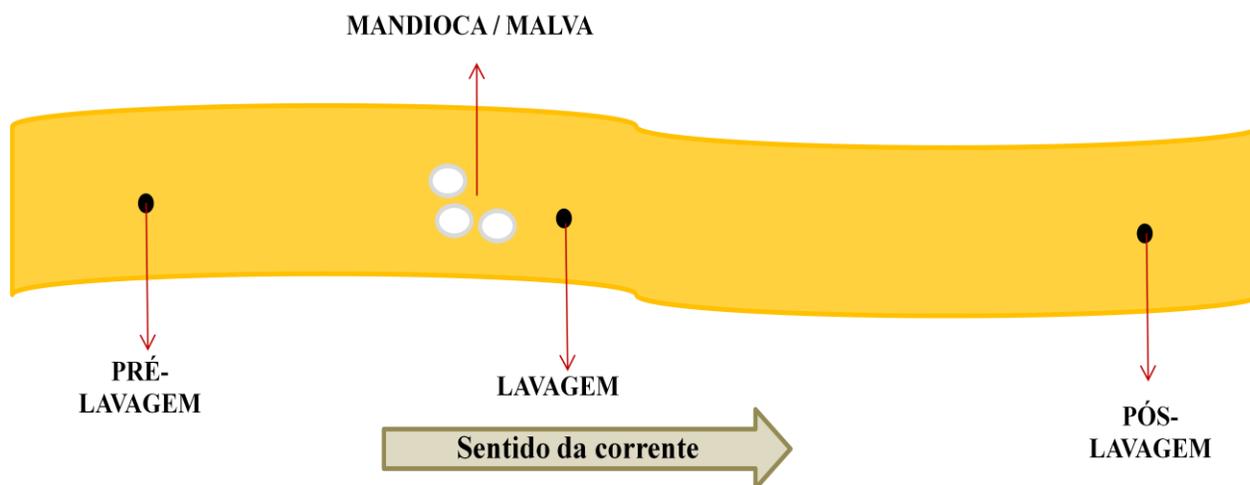


<sup>6</sup> Mapa de localização elaborado pelo Laboratório de Sensoriamento Remoto da Embrapa Amazônia Oriental.

Em cada trecho de igarapé monitorado, as amostras foram coletadas em um transecto composto por três pontos, a saber: PRÉ-LAVAGEM (PRÉ) - ponto no igarapé localizado cinco metros a montante da lavagem de mandioca e malva; LAVAGEM (LAV) - ponto localizado um metro a jusante desta lavagem; e PÓS-LAVAGEM (PÓS) - ponto situado dez metros a jusante da lavagem. Esse planejamento amostral foi concebido visando-se verificar possíveis mudanças na hidroquímica fluvial devido à lavagem dos produtos agrícolas em questão.

Destaca-se que o ponto "pré-lavagem" foi determinado a fim de se identificar as características hidroquímicas fluviais da água que atinge o ponto de lavagem, servindo como referência às possíveis alterações identificadas no entorno dos depósitos de raízes de mandioca ou de plantas de malva no ponto "lavagem". Por sua vez, a coleta no ponto "pós-lavagem" permite avaliar se alguma alteração observada na lavagem mantém-se até dez metros a jusante do ponto "lavagem". A fim de evitar possíveis distúrbios no ambiente, que viessem a provocar alterações nas amostras coletadas, as coletas foram realizadas em ordem contrária ao fluxo da corrente dos igarapés; portanto, foram coletadas inicialmente, amostras em PÓS, seguido de LAV e finalizando em PRÉ. Na Figura 6 é possível observar um esquema da estratégia amostral aqui descrita.

Figura 6 – Esquema da estratégia amostral utilizada para o monitoramento da lavagem de raízes de mandioca e plantas de malva em pequenos igarapés.



Fonte: Do autor.

A cada campanha de campo, foram medidos in situ os seguintes parâmetros físico-químicos.

✓ Potencial Hidrogeniônico (pH): Medição realizada por meio do método potenciométrico, utilizando-se aparelho digital (eletrodo combinado de vidro e calomelano, com correção de temperatura para 25°C, da marca ORION, modelo 290A plus). A calibração foi realizada imergindo o eletrodo de vidro em soluções-padrão de pH 4, 5 e 7 (CETESB, 1978) antes do início das atividades de monitoramento em campo e experimentos.

✓ Condutividade Elétrica (CE): O método aplicado foi o condutimétrico (CETESB, op.cit.), com o equipamento VWR® (modelo 2052), que realizou a medição com compensação automática de temperatura.

✓ Oxigênio Dissolvido (OD) e Temperatura (T): Utilizou-se o oxímetro YSI® 55, que por meio de uma sonda polarográfica de compensação automática de temperatura, permitiu a quantificação da concentração e percentual de saturação de oxigênio dissolvido com elevada precisão. Assim, 100 % de saturação significa o máximo teórico de oxigênio dissolvido à temperatura e pressão consideradas (TUNDISI; TUNDISI, 2008). A calibração também foi realizada a cada dia, antes do início das atividades de monitoramento em campo e experimentos, assim como descrito para o medidor de pH.

✓ Turbidez (FTU): O método aplicado foi o nefelométrico, utilizando-se um equipamento Hanna Instruments (modelo HI-93703-C).

Destaca-se que as medidas foram tomadas na profundidade em torno de 60% do perfil de cada canal fluvial (20-25 cm).

Nas coletas de amostras de água fluvial para análise dos principais cátions ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) e ânions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ) inorgânicos dissolvidos, carbono orgânico dissolvido (COD), carbono inorgânico dissolvido (CID) e nitrogênio orgânico dissolvido (NOD), utilizou-se frascos de polipropileno de 250 mL, previamente lavados com solução de ácido clorídrico (HCl 1%) e água deionizada ultra-pura (Milli-Q). Em campo, estes frascos foram totalmente preenchidos com as amostras de água dos igarapés, visando minimizar a presença de ar no interior da garrafa e, em seguida, conservou-se sob refrigeração em caixas térmicas com gelo (CETESB, 1978, 1987) até serem armazenados em geladeira (~4°C) no Laboratório de Ecofisiologia da Embrapa Amazônia Oriental, na cidade de Belém (PA).

### 3.3 PROCEDIMENTOS DE LABORATÓRIO

Em laboratório, com objetivo de analisar os íons inorgânicos presentes na fração dissolvida das amostras coletadas, essas foram filtradas através de membranas de polycarbonato Millipore (com poros de diâmetro de 0,45  $\mu\text{m}$ ) em kit de filtração de polipropileno (Sterifil Aseptic System Millipore), utilizando bomba a vácuo, e posteriormente foram armazenadas em frascos de polipropileno de 50 mL, sob refrigeração até o momento da análise. A determinação dos cátions e ânions foi realizada por meio de cromatografia iônica, utilizando-se um cromatógrafo iônico da marca Dionex e modelo DX-120, acoplado a um amostrador automático AS-40. Nesse equipamento, após a injeção de alíquota de 150  $\mu\text{L}$  de amostra em um fluxo de cerca de 1,0  $\text{mL min}^{-1}$  para circulação no sistema analítico, cuja pressão variou de 1200 a 1600 psi, as espécies químicas, em resposta a interação com coluna analítica específica (Dionex AS22 para ânions, e Dionex CS12A para cátions), foram mensuradas em um detector de condutividade.

Após cada campanha de campo, para o preparo das amostras de água para determinar a concentração de COD e NOD, utilizou-se um kit de filtração de vidro (Millipore) e membranas de microfibras de vidro Millipore (com poros de diâmetro de  $\sim 0,7 \mu\text{m}$ ). As amostras filtradas foram então transferidas para frascos de quartzo de 40 ml (previamente calcinados). Após esse procedimento, as amostras foram imediatamente preservadas com 1 mL de ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$  10%) (p.a.) e armazenadas sob refrigeração até a realização das análises de carbono em um analisador TOC-V CSN Shimadzu. O princípio analítico desse equipamento se baseia na detecção de  $\text{CO}_2$  por infravermelho não-dispersivo, incluindo a queima da amostra a 720  $^\circ\text{C}$  (oxidação catalítica em alta temperatura) e quantificação do  $\text{CO}_2$  gerado.

Para a determinação do CID, utilizou-se o mesmo equipamento. O princípio analítico adotado para CID é semelhante ao do COD, no entanto, as amostras são acidificadas ( $\text{HCl}$  2N) no próprio sistema do TOC-V CSN Shimadzu, para a conversão das espécies de carbono inorgânico em  $\text{CO}_2$ .

Com o analisador TOC-V CSN combinado ao TNM-1 (módulo de nitrogênio - Shimadzu), obtém-se um sistema de análise simultânea de carbono total e nitrogênio total (NT). O tubo de combustão e o catalisador de oxidação são compartilhados com análise de carbono orgânico total (TOC) e a manutenção não requer nenhum oxidante ou outro reagente. De posse da

concentração de NT, subtraiu-se então as concentrações das formas inorgânicas de nitrogênio (nitrato e amônio), e, assim, obteve-se a concentração de nitrogênio orgânico dissolvido - NOD.

Com o objetivo de garantir a qualidade das análises laboratoriais de nutrientes (cátions e ânions), foram utilizadas soluções-padrão internacionais de referência (Environmental Research Associates).

### 3.4 EXPERIMENTOS EM TANQUE

Uma vez que nas condições de monitoramento de campo (seção 3.2) não se teve controle total de alguns fatores como, por exemplo, o tempo de lavagem dos produtos agrícolas nos igarapés estudados, a quantidade presente destes produtos e as vazões dos igarapés, foi idealizada a realização de experimentos em tanque.

Estes experimentos semicontrolados foram realizados na Estação Experimental de Piscicultura da Embrapa Amazônia Oriental, na cidade de Belém, utilizando-se um reservatório de fibra de vidro com capacidade para 1000 L (Figura 7). Precedendo o início das etapas dos experimentos, foi realizada a higienização do tanque, a fim de remover resíduos de materiais que viessem a interferir nas concentrações dos constituintes avaliados durante a realização da pesquisa.

Após a higienização, o tanque foi abastecido com água subterrânea proveniente de um poço localizado na própria estação de piscicultura. Foi mantida uma altura da lâmina d'água, no interior do reservatório, de cerca de 50 cm, monitorada com o auxílio de um disco de Secchi acoplado a uma fita métrica (ver apêndice F), suficiente à imersão dos produtos (raízes de mandioca ou plantas de malva).

No reservatório foram controladas as vazões de entrada e saída, por meio de dois registros hidráulicos de  $\frac{1}{2}$  polegada de diâmetro. Um dos registros foi instalado na parte superior do tanque (entrada de água) e o outro foi instalado na parte inferior (saída de água). A cada etapa do experimento foram medidas as vazões de entrada e de saída, procurando-se aproximar-se das descargas médias dos pequenos igarapés estudados e manter uma renovação constante da água do tanque, sem o extravasamento de água do mesmo. As vazões médias, de entrada e saída,

controladas por meio dos registros hidráulicos, foram de 800 e 850 mL min<sup>-1</sup>, respectivamente, reguladas em cada tempo de lavagem, a fim de evitar entupimento das tubulações.

Previamente ao início do experimento, os produtos foram quantificados. As raízes de mandioca foram pesadas. Já as plantas de malva foram quantificadas em fardos. O estudo consistiu, mais especificamente, no depósito das raízes de mandioca, previamente pesadas, em sacos de nylon semelhantes aos utilizados pelos agricultores nos igarapés, e da parte aérea das plantas de malva, inseridos no tanque em ocasiões distintas. Cada experimento foi executado duas vezes para cada produto. Ressalta-se que, devido a dificuldade de imersão das plantas de malva no ambiente aquático, foi utilizado um tubo de PVC para auxiliar a permanência da malva submersa no tanque (ver apêndice L).

Ao longo de cada experimento foram coletadas amostras de água diariamente, sempre que possível, tanto na entrada (PRÉ) como na saída (LAV) do tanque. Para a mandioca cada experimento teve a duração de sete dias. Já para a malva, cada experimento estendeu-se por quinze dias. Os tempos de lavagem adotados foram baseados no procedimento dos agricultores das áreas estudadas.

As amostras de água do tanque foram acondicionadas, processadas e analisadas, seguindo os mesmos procedimentos adotados para as amostras de águas dos igarapés monitorados. No momento da coleta também foram medidos parâmetros físico-químicos (pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e temperatura), na entrada e na saída do tanque, utilizando-se os mesmos métodos descritos para o monitoramento em campo.

O tanque utilizado para a realização dos experimentos foi protegido com tela de nylon em sua parte superior aberta, a fim de evitar a entrada de pequenos animais e material vegetal. Visando evitar a entrada direta de água de chuva, que poderia alterar o nível da água do tanque e promover diluição dos elementos analisados, foi montada uma estrutura sobre o mesmo, utilizando-se a tampa do reservatório, instalada a cerca de 50 cm acima da boca do tanque, permitindo uma pequena ventilação a fim de evitar o aquecimento excessivo da água e também permitir alguma turbulência de origem eólica, como a que acontece nos igarapés.

Figura 7 – Tanque de fibra de vidro com capacidade para armazenar 1000 L.



Fonte: Do autor.

### 3.5 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados foram analisados por meio de estatística descritiva, realizando-se cálculo de médias, medianas, desvio padrão e erro padrão, dentre outros parâmetros. Para os dados coletados, são aplicáveis apenas modelos complexos, o que é típico na pesquisa observacional, pois se tratam de amostras que são dependentes, visto que a água de lavagem nos igarapés já traz uma "assinatura" da água da pré-lavagem. Consistem em conjuntos de dados pareados, com os quais se pretendeu comparar possíveis alterações promovidas pela lavagem das raízes de mandioca e das plantas de malva por meio da observação das diferenças plotadas em gráficos, utilizando-se o programa Microsoft Office Excel 2007.

Para enfatizar a interação entre todos os parâmetros analisados neste estudo, foram elaboradas quatro matrizes de correlação, utilizando a correlação de Spearman, por meio do software Statistica 8, no qual obteve-se os valores de  $p$  indicando as probabilidades das correlações, bem como se estas foram fracas, moderadas ou fortes. Cada matriz corresponde ao monitoramento da lavagem dos produtos em questão nos igarapés e nos experimentos semicontrolados, totalizando as quatro matrizes (apêndice O a R).

Além disso, foram aplicadas análises de agrupamentos (Cluster Analysis), por meio do software Systat 11, a fim de unificar os pontos de amostragem ou tratamentos (PRÉ, LAV e PÓS) em classes ou grupos sucessivamente maiores utilizando a medida de similaridade ou de distância entre os tratamentos, neste caso “distância Euclideana”, por meio do método de ligação de medianas. Para tanto, foram utilizados os dados, de todas as variáveis avaliadas neste estudo, para cada produto agrícola, separadamente, em duas etapas: uma para o monitoramento de campo e uma segunda para os experimentos em tanque.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 LAVAGEM DE MANDIOCA (*Manihot esculenta* Crantz)

#### 4.1.1 Avaliação dos efeitos da lavagem de raízes de mandioca na hidrogeoquímica de igarapés

Os valores de média e erro padrão em PRÉ, LAV e PÓS, observados para os parâmetros avaliados, durante o monitoramento da lavagem de mandioca nos igarapés Passagem (PAS), Divisa (DIV), Breu (BRE), Areia (ARE) e Colônia (COL), estão expressos na Tabela 2. Esses dados são referentes às campanhas de campo mensais executadas no período que abrangeu os meses de outubro de 2009 a setembro de 2010. Imagens dos igarapés monitorados quanto a lavagem de raízes de mandioca podem ser visualizadas nos apêndices A a E.

É possível verificar que os igarapés monitorados, quanto à lavagem de raízes de mandioca, apresentaram números de coletas diferenciados. Tal fato ocorreu devido a impossibilidade de agendamento da lavagem dos produtos com os agricultores, como mencionado anteriormente. Por este motivo, no igarapé PAS a amostragem foi realizada em dez datas distintas, em DIV foram coletadas amostras em quatro datas, em BRE foram coletadas amostras em duas datas. Já ARE e COL foram amostrados uma única vez e, portanto, os valores destes, apresentados na tabela, referem-se a apenas uma medida e não a valores de média e erro padrão.

Os dados médios permitiram identificar variações dos diferentes parâmetros para cada igarapé. No igarapé PAS foram observadas as menores concentrações médias de  $\text{Ca}^{2+}$  (cálcio),  $\text{Mg}^{2+}$  (magnésio) e  $\text{K}^+$  (potássio). No entanto, este mesmo ambiente apresentou os maiores valores para os parâmetros NOD (nitrogênio orgânico dissolvido),  $\text{N-NO}_3^-$  (nitrogênio na forma de nitrato) e  $\text{P-PO}_4^{3-}$  (fósforo na forma de fosfato), quando comparado com os demais igarapés. O igarapé DIV excedeu os demais quanto aos valores de CE (condutividade elétrica), turbidez, CID (carbono inorgânico dissolvido),  $\text{K}^+$  e  $\text{Cl}^-$  (cloreto), mas neste igarapé também

foram verificados os menores valores médios de OD (oxigênio dissolvido),  $\text{N-NO}_3^-$  e  $\text{P-PO}_4^{3-}$ . Para este último parâmetro, as concentrações médias foram geralmente baixas em todos os igarapés monitorados.

Tabela 2 – Valores médios e erros padrão ( $n$  variando de 1 a 10) dos parâmetros avaliados nos igarapés monitorados em relação à lavagem de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz).

PARÂMETRO	PAS (n=10)			DIV (n=4)			BRE (n=2)			ARE* (n=1)			COL* (n=1)		
	PRÉ	LAV	PÓS	PRÉ	LAV	PÓS	PRÉ	LAV	PÓS	PRÉ	LAV	PÓS	PRÉ	LAV	PÓS
pH	4,46 (0,10)	4,50 (0,10)	4,48 (0,10)	4,56 (0,06)	4,49 (0,14)	4,48 (0,16)	4,73 (0,01)	4,58 (0,05)	4,61 (0,05)	4,17	4,24	4,23	4,20	4,27	4,21
$\text{H}^+$ ( $\mu\text{M}$ )	42,27 (8,55)	37,70 (7,16)	40,35 (8,61)	28,60 (3,95)	39,49 (15,24)	42,64 (19,44)	18,71 (0,52)	26,61 (3,11)	24,84 (2,76)	68,23	57,94	59,57	63,10	54,08	61,80
OD ( $\text{mg L}^{-1}$ )	2,40 (0,14)	2,25 (0,14)	2,50 (0,11)	1,02 (0,22)	1,41 (0,22)	1,65 (0,30)	5,71 (0,17)	5,76 (0,20)	5,83 (0,22)	3,58	3,53	3,53	6,03	2,50	5,77
OD (% sat)	29,11 (1,53)	27,49 (1,63)	29,92 (1,33)	12,70 (2,62)	17,73 (2,91)	20,93 (3,75)	71,65 (1,45)	71,95 (2,15)	71,45 (3,65)	44,00	43,80	43,50	75,90	30,30	72,20
CE ( $\mu\text{S}$ )	19,68 (0,32)	20,39 (0,41)	19,57 (0,43)	21,88 (1,24)	22,43 (1,29)	21,00 (1,17)	18,25 (0,65)	19,50 (0,20)	18,65 (0,55)	19,40	19,50	19,60	20,20	21,00	20,40
TURBIDEZ (FTU)	3,50 (0,19)	3,62 (0,46)	4,19 (1,41)	4,27	7,87	6,57	-	-	-	5,49	3,40	2,97	-	-	-
COD ( $\text{mg L}^{-1}$ )	1,50 (0,42)	1,95 (0,42)	1,77 (0,45)	3,95 (1,18)	4,27 (1,25)	3,78 (1,17)	1,64 (0,47)	1,41 (0,04)	1,19 (0,05)	5,05	5,88	6,05	1,92	3,10	2,10
CID ( $\text{mg L}^{-1}$ )	1,51 (0,46)	1,47 (0,43)	1,43 (0,45)	1,75 (0,46)	1,67 (0,51)	1,61 (0,45)	1,13 (0,43)	1,51 (0,79)	1,41 (0,80)	1,01	1,07	1,12	0,84	1,77	0,72
NT ( $\text{mg L}^{-1}$ )	0,10 (0,01)	0,16 (0,03)	0,23 (0,13)	0,18 (0,01)	0,21 (0,02)	0,17 (0,03)	0,18 (0,02)	0,14 (0,01)	0,16 (0,01)	0,24	0,22	0,16	0,09	0,10	0,09
NOD ( $\text{mg L}^{-1}$ )	<0,01 (0,00)	0,05 (0,03)	0,17 (0,12)	0,07 (0,02)	0,04 (0,01)	0,03 (0,01)	0,14 (0,03)	0,01 (0,01)	0,09 (0,02)	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
$\text{Ca}^{2+}$ ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ )	14,30 (1,65)	15,46 (1,36)	15,85 (1,51)	29,14 (1,25)	30,56 (1,66)	29,63 (1,89)	32,92 (0,51)	32,97 (0,74)	32,97 (0,47)	17,75	16,99	31,65	31,65	32,70	33,49
$\text{Mg}^{2+}$ ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ )	24,34 (1,74)	24,00 (1,93)	25,10 (1,65)	33,75 (0,66)	35,04 (1,15)	34,03 (1,24)	35,89 (0,92)	36,03 (0,16)	36,04 (0,54)	30,15	30,41	31,66	31,66	34,45	33,14
$\text{Na}^+$ ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ )	74,24 (3,66)	73,79 (4,74)	74,93 (3,84)	91,99 (3,17)	92,43 (3,31)	88,93 (3,18)	71,47 (0,60)	72,21 (1,83)	72,38 (3,40)	84,44	93,22	86,19	73,37	73,86	74,58
$\text{K}^+$ ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ )	3,93 (0,37)	6,13 (0,58)	4,94 (0,38)	17,24 (2,42)	20,31 (2,00)	15,37 (1,73)	5,41 (0,77)	5,94 (0,75)	5,96 (0,43)	5,02	5,42	8,90	9,32	12,07	9,41
$\text{N-NH}_4^+$ ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ )	2,00 (0,56)	2,12 (0,50)	1,83 (0,44)	2,85 (1,16)	2,54 (1,13)	0,59 (0,22)	0,96 (0,56)	0,01 (0,01)	0,20 (0,13)	3,12	0,83	6,30	5,08	2,27	1,71
$\text{Cl}^-$ ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ )	77,00 (0,64)	79,18 (1,47)	77,86 (0,89)	84,42 (2,95)	86,09 (2,66)	83,85 (2,96)	83,13 (0,70)	83,18 (0,58)	81,16 (4,13)	73,81	74,83	75,67	83,56	84,28	82,27
$\text{N-NO}_3^-$ ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ )	1,47 (0,30)	1,33 (0,30)	1,34 (0,27)	0,09 (0,01)	0,11 (0,03)	0,17 (0,09)	0,34 (0,03)	0,38 (0,06)	0,33 (0,02)	0,39	0,43	0,38	0,60	0,32	0,68
$\text{P-PO}_4^{3-}$ ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ )	0,07 (0,02)	0,08 (0,01)	0,07 (0,02)	0,01 (0,00)	0,07 (0,05)	0,02 (0,00)	0,07 (0,05)	0,02 (0,01)	0,05 (0,01)	0,01	0,06	0,05	0,08	0,03	0,11
$\text{SO}_4^{2-}$ ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ )	11,55 (0,50)	11,08 (0,57)	11,39 (0,31)	10,65 (0,78)	10,92 (0,91)	10,60 (0,86)	16,96 (1,07)	16,94 (1,00)	16,77 (1,17)	12,59	18,79	12,23	12,79	10,09	13,40

\*Valores correspondem a uma única coleta.

Fonte: Do autor

Os maiores valores de pH,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  (sulfato) foram observados no igarapé BRE, que também apresentou as menores concentrações observadas de CE, COD (carbono orgânico dissolvido),  $\text{Na}^+$  (sódio) e  $\text{N-NH}_4^+$  (amônio). Já no igarapé ARE foram encontradas as maiores concentrações de COD, NT (nitrogênio total),  $\text{Na}^+$ ,  $\text{N-NH}_4^+$  e  $\text{P-PO}_4^{3-}$ . O igarapé COL apresentou as maiores concentrações de OD, tanto em termos de concentração ( $\text{mg L}^{-1}$ ) como em percentual

de saturação (% sat). Neste mesmo igarapé também foram observadas concentrações que excederam os demais, para o íon  $\text{Ca}^{2+}$ ; também foi observada a menor concentração encontrada para o íon  $\text{SO}_4^{2-}$  (sulfato).

Ao analisar-se os dados para todos os igarapés, verificou-se baixos valores de pH. Esta característica do pH, medido neste trabalho, pode estar relacionada à presença de solos ácidos nas bacias estudadas, bem como à disponibilidade de material proveniente das matas ripárias, cuja decomposição é fonte de compostos ácidos orgânicos. Tal característica de baixo pH em igarapés amazônicos também foi identificada em outros estudos desenvolvidos em pequenas bacias na região (FIGUEIREDO et al., 2010; ROSA, 2007).

Os baixos valores de oxigênio dissolvido, em sua maioria, apresentaram desconformidade com o disposto pela Resolução nº 357/2005 do CONAMA, que determina uma concentração mínima de  $6,00 \text{ mg L}^{-1}$  de OD, para que o ambiente esteja dentro dos padrões de qualidade ambiental. Essas baixas concentrações de OD podem ser uma resposta ao aumento do seu consumo por atividades metabólicas de microorganismos, devido à maior disponibilidade de matéria orgânica proveniente de ambientes externos aos igarapés (CARMOUZE, 1994; NEILL et al., 2001).

Em todos os igarapés, a condutividade apresentou pequena variação (18,25 a 22,43  $\mu\text{S}$ ) e os baixos valores refletem ambientes com baixa disponibilidade de íons dissolvidos. As concentrações médias dos constituintes químicos foram relativamente baixas. No geral, a ordem de dominância dos cátions, nos pequenos igarapés estudados, foi  $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{N-NH}_4^+$ ; esta ordem deve-se, provavelmente, à contribuição geológica no interior das bacias. Já os ânions apresentaram  $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{N-NO}_3^- > \text{P-PO}_4^{3-}$ , como ordem de dominância. A predominância dos íons  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  deve-se à entrada atmosférica influenciada pela proximidade com o oceano, como constatado por Wickel (2004) em trabalho realizado na mesma região da presente pesquisa.

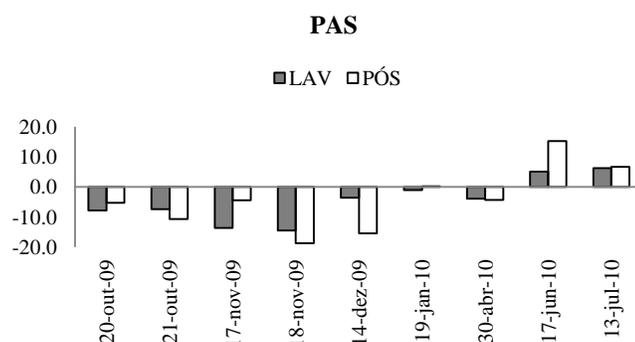
As concentrações médias de COD variaram de 1,19 a  $6,05 \text{ mg L}^{-1}$ . As concentrações de CID foram inferiores as de COD, variando de 0,72 a  $1,75 \text{ mg L}^{-1}$ . Ao avaliar os dados de NOD, verificou-se que suas concentrações apresentaram valores que variaram de 0,01 a  $0,17 \text{ mg L}^{-1}$ , valores pouco inferiores às concentrações de NT (0,09 a  $0,24 \text{ mg L}^{-1}$ ).

Observando a variabilidade das concentrações das amostras coletadas em LAV e PÓS, com relação às amostras coletadas em PRÉ, pode-se fazer uma avaliação mais detalhada e

precisa dos possíveis efeitos da lavagem de raízes de mandioca sobre a biogeoquímica fluvial, realizando-se uma comparação das referidas amostragens para cada parâmetro medido nesta pesquisa. Destaca-se que os valores apresentados nos gráficos das Figuras 8 a 35 correspondem à diferença dos valores das concentrações de LAV e PÓS em relação a PRÉ.

O Igarapé PAS correspondeu ao ambiente onde foi efetuado o maior número de coletas (n=10) ao longo do período estudado (ver Tabela 2). Como se pode observar na Figura 8, este igarapé tendeu a apresentar menores valores do íon  $H^+$  ( $\mu M$ ) no ponto da lavagem de raízes de mandioca (LAV) quando comparado com PRÉ, para a maioria das datas amostradas, caracterizando um ambiente menos ácido. Para determinadas amostras essa tendência (menor acidez) permanece a jusante (PÓS) do ponto de lavagem. Essa característica, de redução da acidez em LAV, pode ser explicada pelo processo fotossintético, em que o  $CO_2$  e  $HCO_3^-$  são removidos do ambiente pela ação de produtores primários. Em resposta a esse processo, o pH da água aumenta (correspondendo a uma menor concentração de  $H^+$ ), devido a maior capacidade de fixação do carbono, deslocando a reação ao sistema carbonato (ALLAN; CASTILHO, 2007; LENZI et al., 2009; TUNDISI; TUNDISI, 2008). Destaca-se que apenas em duas ocasiões houve um aumento da acidez no ponto de lavagem, diferenciando-se do comportamento das concentrações nas demais datas.

Figura 8 – Variação do íon  $H^+$  ( $\mu M$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostradas coletadas em PRÉ no Igarapé Passagem - PAS.

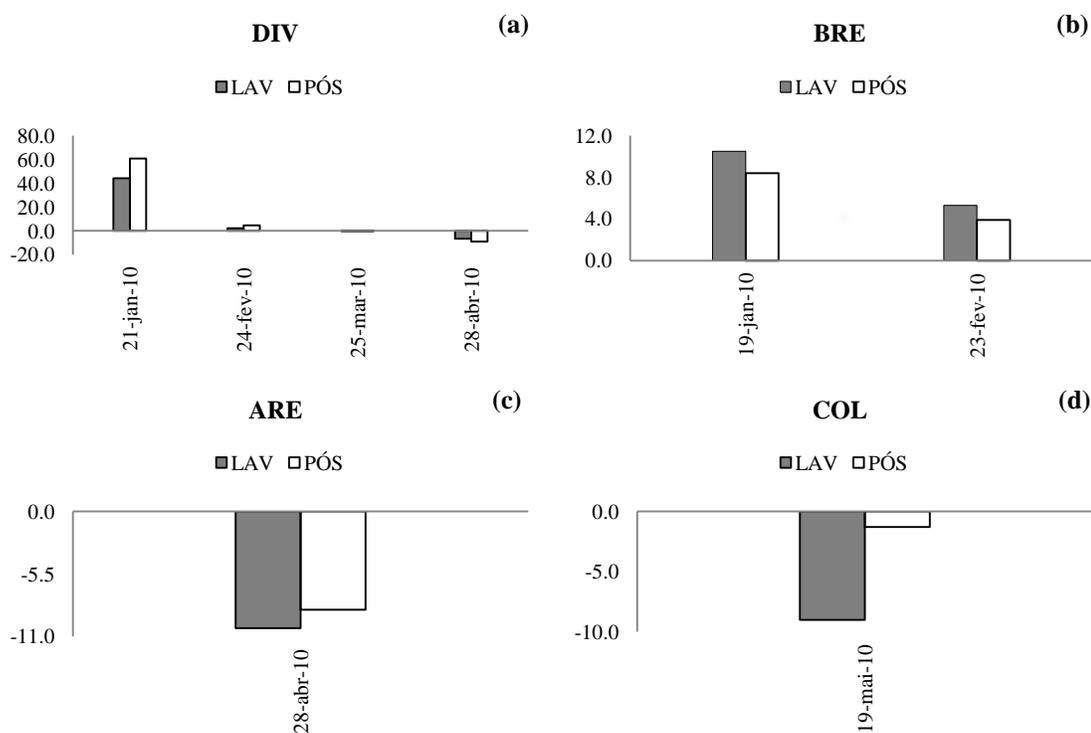


Fonte: Do autor.

Comportamento semelhante ao PAS foi observado nos igarapés DIV (em março e abril), no ARE e COL (Figura 9). O igarapé BRE (Figura 9b) teve uma variação longitudinal positiva do íon  $H^+$  em LAV e PÓS, indicando que os valores observados para este íon, foram

superiores a PRÉ, diferenciando-o dos demais igarapés quanto aos efeitos provocados pela lavagem de raízes de mandioca. No entanto, observou-se queda da concentração de LAV para PÓS em BRE nas duas datas amostradas. Destaca-se que, ao se analisar os valores das correlações para o íon  $H^+$ , verificou-se que este parâmetro correlacionou-se inversamente com o CID, apresentando um  $r_s = -0,500$  ( $p < 0,001$ ). As correlações do íon  $H^+$  com os demais parâmetros foram fracas.

Figura 9 – Variação do íon  $H^+$  ( $\mu M$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Divisa - DIV; (b) Igarapé Breu - BRE; (c) Igarapé Areia - ARE; e (d) Igarapé Colônia - COL.

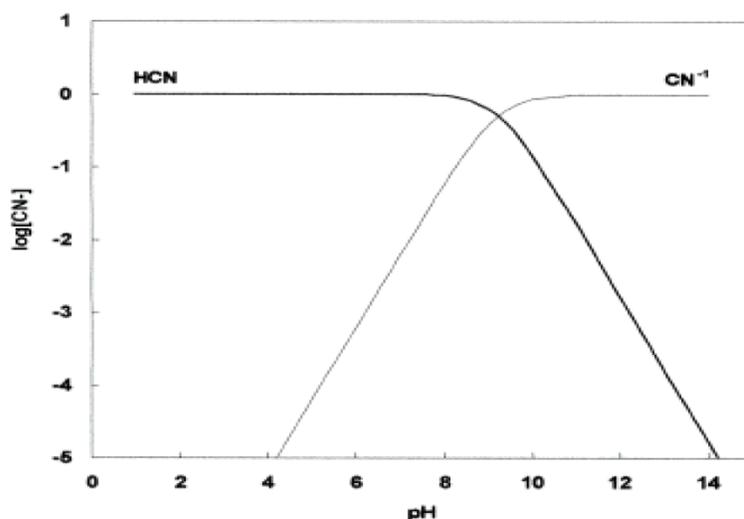


Fonte: Do autor.

Vale lembrar que, naturalmente, os igarapés amazônicos, em decorrência de seus solos orgânicos, são caracterizados por valores baixos de pH. No entanto, possíveis alterações do solo, por meio da adição de produtos corretivos e fertilizantes podem também ter influenciado no comportamento do íon  $H^+$  e, conseqüentemente, no pH (LEITE et al., 2011). Tal fato pode explicar as condições de pH em LAV, visto que a mandioca adquire características químicas do meio em que é produzida (CENI et al., 2009).

O comportamento do pH, observado na maioria das datas, pode indicar a formação de ácido cianídrico (HCN) nos ambientes estudados, pois segundo Ciminelli e Gomes (2011) em valores de pH inferiores a 9,2 predomina a espécie HCN ao invés do íon cianeto ( $\text{CN}^-$ ), como ilustra o diagrama de distribuição de espécies para o sistema HCN/ $\text{CN}^-$  (Figura 10). Na presente pesquisa foram observados valores de pH naturalmente baixos, no entanto não é possível elucidar tal suposição devido ao escopo analítico deste monitoramento e, portanto, sugere-se que sejam desenvolvidos estudos sobre teores de HCN/ $\text{CN}^-$  em igarapés onde ocorre lavagem de mandioca.

Figura 10 – Diagrama de distribuição de espécies para o sistema CN-H<sub>2</sub>O a 25°C.

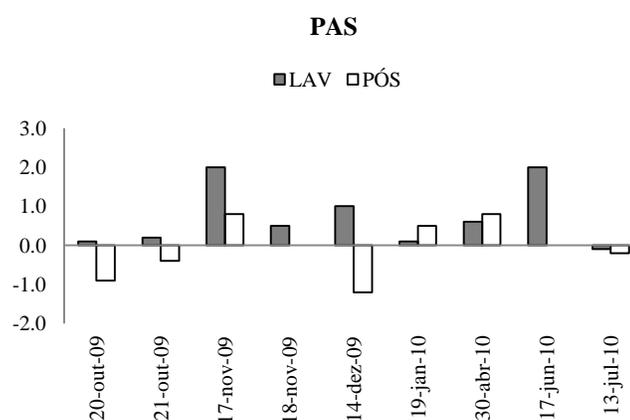


Fonte: Ciminelli e Gomes (2002).

Observando-se a variação da CE ( $\mu\text{S}$ ) (Figura 11), verificou-se que, mesmo pequena (na ordem de dois microsiemens), houve alteração em LAV com o aumento das concentrações médias em oito das nove amostragens realizadas no igarapé PAS para condutividade elétrica. Destacam-se os dados coletados nos meses de novembro de 2009 e junho de 2010, quando as quantidades de raízes de mandioca sendo lavadas foram maiores (cerca de cinco sacos), já que em geral observou-se, em campo, de dois a três sacos de mandioca nos leitos dos igarapés monitorados. Tal fato pode estar relacionado aos maiores valores de CE medidos nestas duas datas, pois maior quantidade de mandioca sendo lavada pode provocar um aumento nos valores de condutividade, em decorrência do maior aporte de íons dissolvidos advindos da lavagem daquele produto.

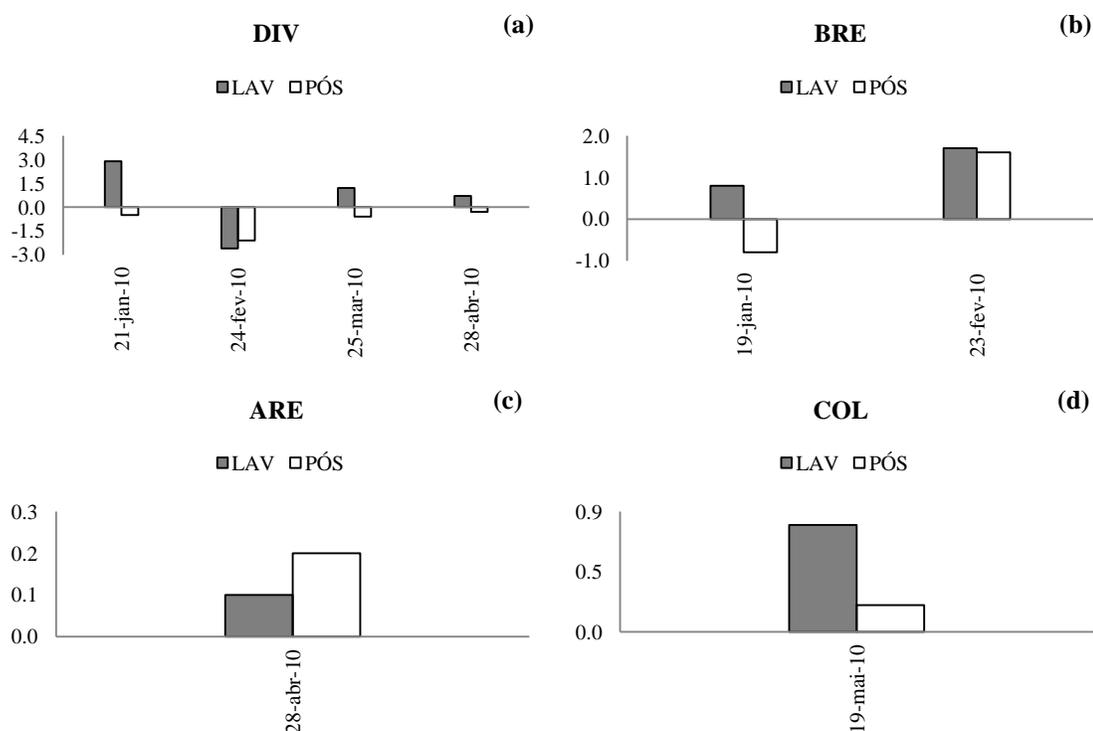
O mesmo comportamento (aumento de CE em LAV), de uma maneira geral, foi observado nos demais igarapés, assim como a tendência pela queda de CE observada de LAV para PÓS, fato este que aponta para o processo de diluição do aporte adicional de íons pelas águas dos igarapés (Figura 12). Ao se avaliar a matriz de correlação, verificou-se que a CE correlacionou-se moderadamente com o íon  $K^+$ , apresentando um  $r_s = 0,526$  ( $p < 0,001$ ); portanto, o aumento da CE está mais relacionado com o aumento do potássio.

Figura 11 – Variação de CE ( $\mu S$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no Igarapé Passagem - PAS.



Fonte: Do autor.

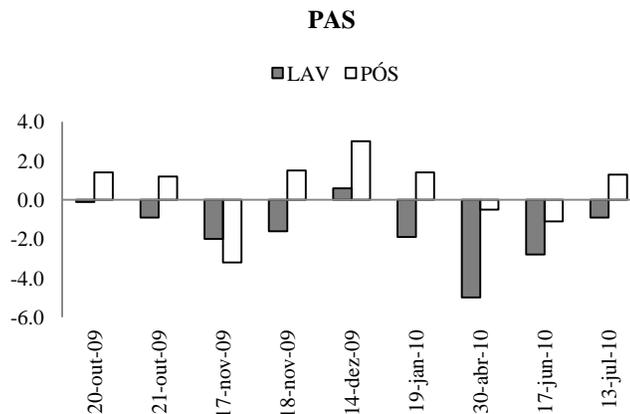
Figura 12 – Variação de CE ( $\mu\text{S}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Divisa - DIV; (b) Igarapé Breu - BRE; (c) Igarapé Areia - ARE; e (d) Igarapé Colônia – COL.



Fonte: Do autor.

O percentual de saturação de oxigênio (OD % sat) foi alterado pela lavagem de raízes de mandioca, no PAS (Figura 13). Na maioria das campanhas de campo, observou-se redução da disponibilidade de oxigênio no ambiente aquático em LAV. Tal fator pode estar relacionado ao aumento da decomposição da matéria orgânica presente no meio aquático, visto que há certa demanda por oxigênio nesse processo biogeoquímico. No entanto, apesar da redução em LAV, verificou-se aumento nas concentrações de oxigênio em PÓS, o que se deve provavelmente à turbulência na corrente fluvial, que proporciona a reinserção do oxigênio no ambiente aquático (ALLAN; CASTILLO, 2007). Segundo Tundisi e Tundisi (2008), a reinserção influencia nos processos químicos e biológicos no ambiente.

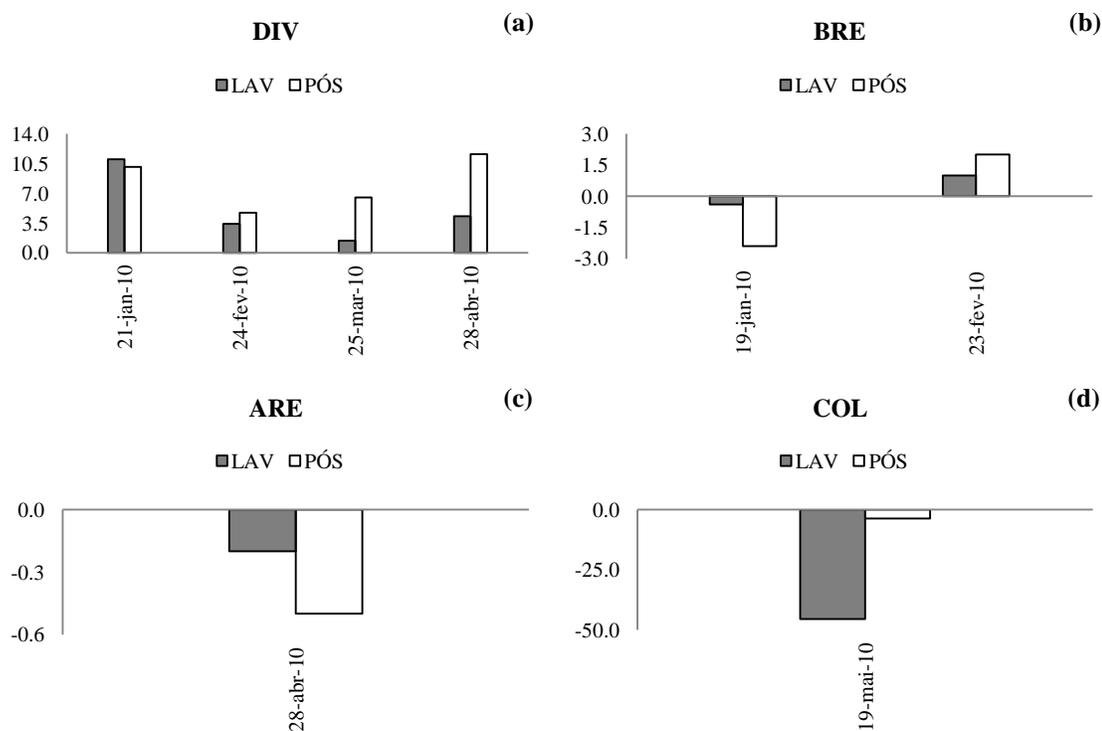
Figura 13 – Variação de OD (% sat) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no Igarapé da Passagem - PAS.



Fonte: Do autor.

Os demais igarapés se comportaram de forma similar ao PAS, apresentando percentual de saturação de oxigênio menor em LAV (Figura 14). Com exceção do DIV, onde as concentrações em LAV foram superiores aos valores obtidos em PRÉ. Tal fato pode ser justificado pelo predomínio de macrófitas aquáticas em PRÉ (ver apêndice B), que necessitam de um ambiente com presença de nutrientes e favorecem o consumo do oxigênio para a realização de processos metabólicos (respiração), proporcionando um déficit das concentrações (ALLAN; CASTILLO, 2007; ESTEVES, 1998; TUNDISI; TUNDISI, 2008). O OD (% sat) apresentou correlação moderada e direta apenas com o íon sulfato, com  $r_s = 0,610$  ( $p < 0,001$ ); já com a CE ( $\mu\text{S}$ ) a correlação entre esta variável e o OD (% sat) foi moderada e inversa, apresentando  $r_s = -0,558$  ( $p < 0,001$ ), do mesmo modo com o íon  $\text{Na}^{2+}$  ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) com  $r_s = -0,695$  ( $p < 0,001$ ).

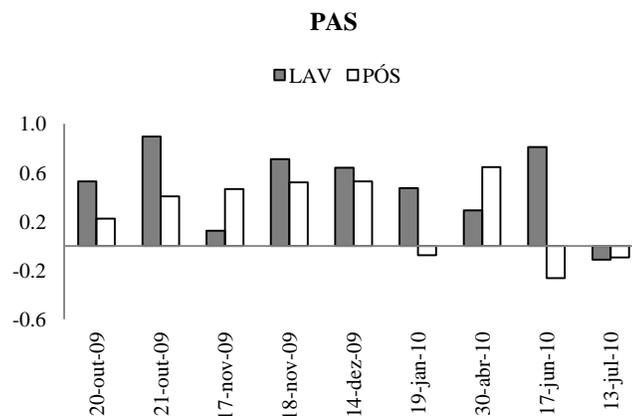
Figura 14 – Variação de OD (% sat) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Divisa - DIV; (b) Igarapé Breu - BRE; (c) Igarapé Areia - ARE; e (d) Igarapé Colônia – COL.



Fonte: Do autor.

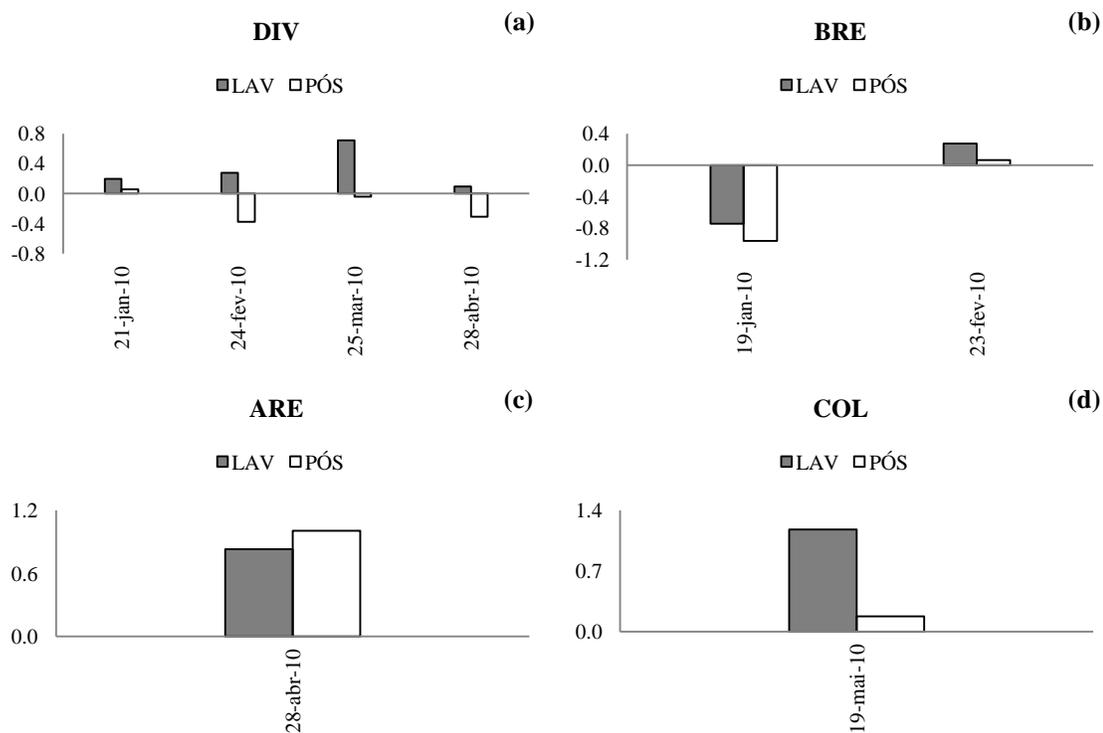
Para o COD (Figura 15) observou-se no PAS uma tendência de aumento das concentrações em LAV, na maioria das campanhas de campo, seguido de uma pequena redução à jusante da lavagem (PÓS). Supõe-se que esta é uma resposta ao aumento da carga orgânica proporcionado pelas raízes de mandioca. Essa alteração provocada em LAV, embora em pequena proporção, persistiu em PÓS. Apenas em três ocasiões a concentração de COD em PÓS reduziu-se a níveis inferiores à pré-lavagem. Nos demais igarapés monitorados (Figura 16) a variação das concentrações de COD foram similares àsquelas observadas no PAS, confirmando incremento de COD devido à lavagem de raízes de mandioca. Vale ressaltar que em pequenos igarapés, normalmente, as concentrações de COD, em sua maioria, são de origem alóctone (SCHLESINGER, 1997); tal afirmativa justifica a presença de teores de COD já em PRÉ. O valor de  $r_s = 0,722$  ( $p < 0,001$ ) foi observado na correlação entre COD e NT, caracterizando a mesma como moderada e direta.

Figura 15 – Variação de COD ( $\text{mg L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no Igarapé Passagem - PAS.



Fonte: Do autor.

Figura 16 – Variação de COD ( $\text{mg L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Divisa - DIV; (b) Igarapé Breu - BRE; (c) Igarapé Areia - ARE; e (d) Igarapé Colônia - COL.

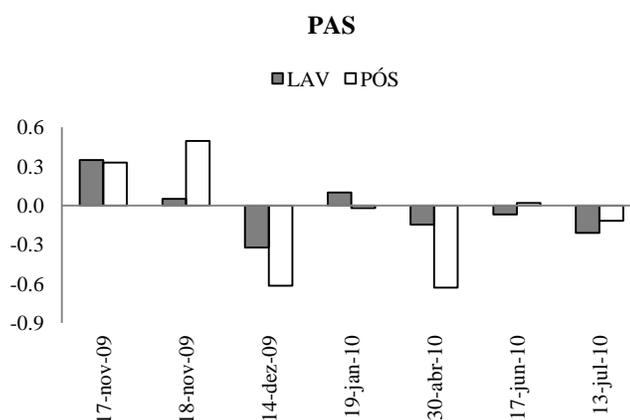


Fonte: Do autor.

Com relação ao CID, houve um padrão de comportamento complexo no PAS para este componente, ou seja, não houve uma tendência de aumento ou redução das concentrações, como visualizado na Figura 17; pois em determinadas ocasiões as concentrações de CID em LAV foram maiores do que em PRÉ, e em outras datas foram menores em LAV do que PRÉ. Estas reduções nas concentrações de CID a baixos níveis, como observa-se nos gráficos, podem estar relacionadas ao aumento do seu consumo por meio de processos fotossintéticos de organismos produtores ou à diminuição de processos respiratórios. Pois sabe-se que o maiores concentrações de CID estão relacionado à dominância de processos respiratórios de organismos aquáticos (TUNDISI; TUNDISI, 2008). Dessa maneira, a falta de um padrão de comportamento para a variável em questão, pode ter sido provocada pelo baixo teor de CID no ambiente, tornando-o mais sensível a processos metabólicos. Nos demais igarapés também foram observadas variações de CID sem um padrão único (Figura 18).

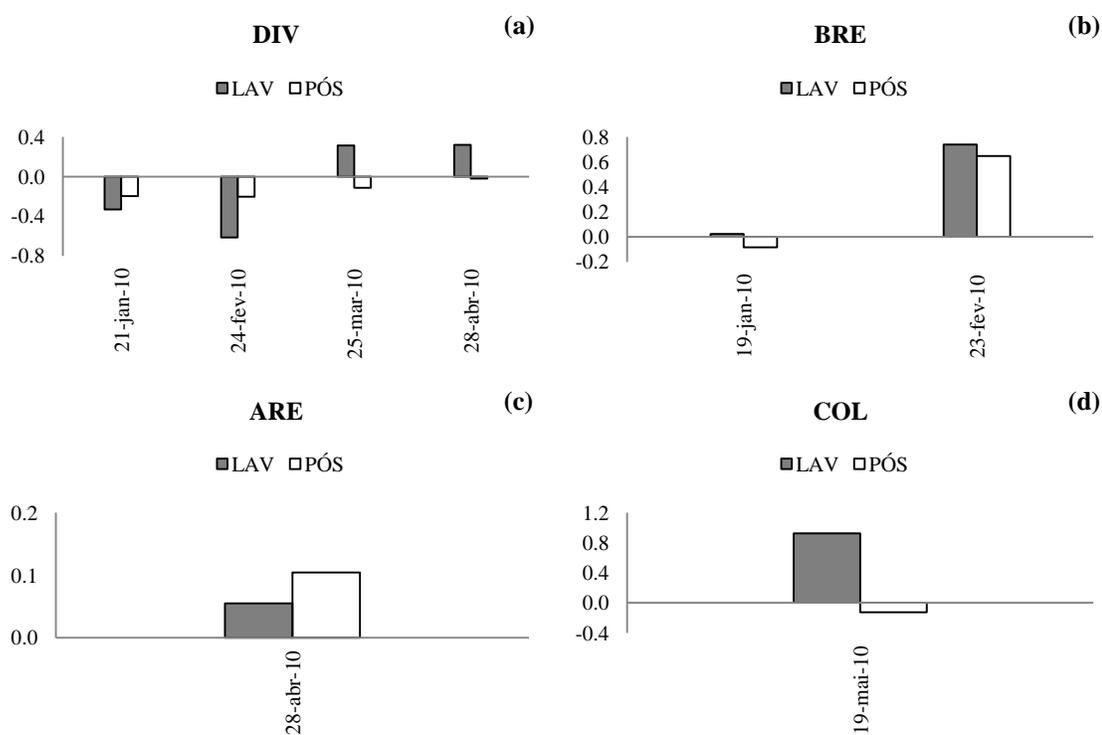
O NT ( $\text{mg L}^{-1}$ ), que corresponde às porções orgânicas e inorgânicas do nitrogênio, também apresentou um padrão de variação complexo, devido às pequenas concentrações, com aumento de concentração em algumas ocasiões e redução em outras, tanto no PAS (Figura 19) como nos demais igarapés (Figura 20).

Figura 17 – Variação de CID ( $\text{mg L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no Igarapé Passagem - PAS.



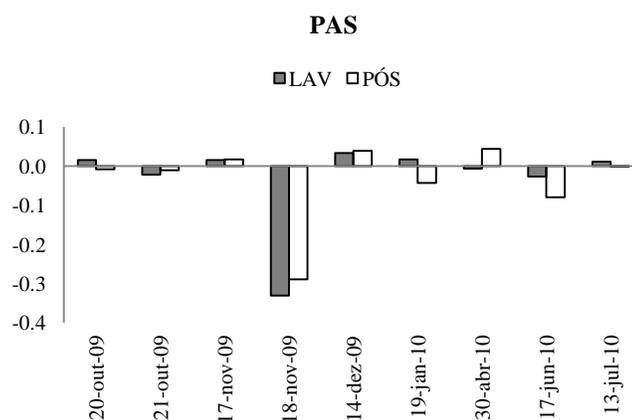
Fonte: Do autor.

Figura 18 – Variação de CID ( $\text{mg L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Divisa - DIV; (b) Igarapé Breu - BRE; (c) Igarapé Areia - ARE; e (d) Igarapé Colônia - COL.



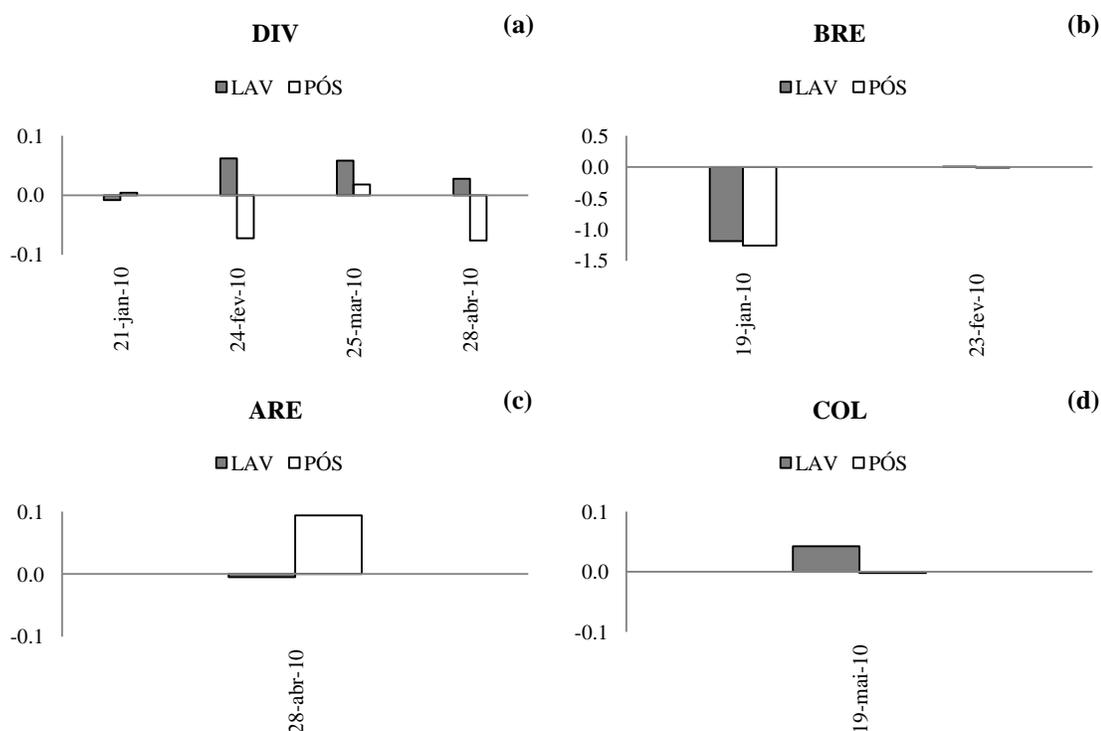
Fonte: Do autor.

Figura 19 – Variação de NT ( $\text{mg L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no Igarapé Passagem - PAS.



Fonte: Do autor.

Figura 20 – Variação de NT ( $\text{mg L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Divisa - DIV; (b) Igarapé Breu - BRE; (c) Igarapé Areia - ARE; e (d) Igarapé Colônia - COL.



Fonte: Do autor.

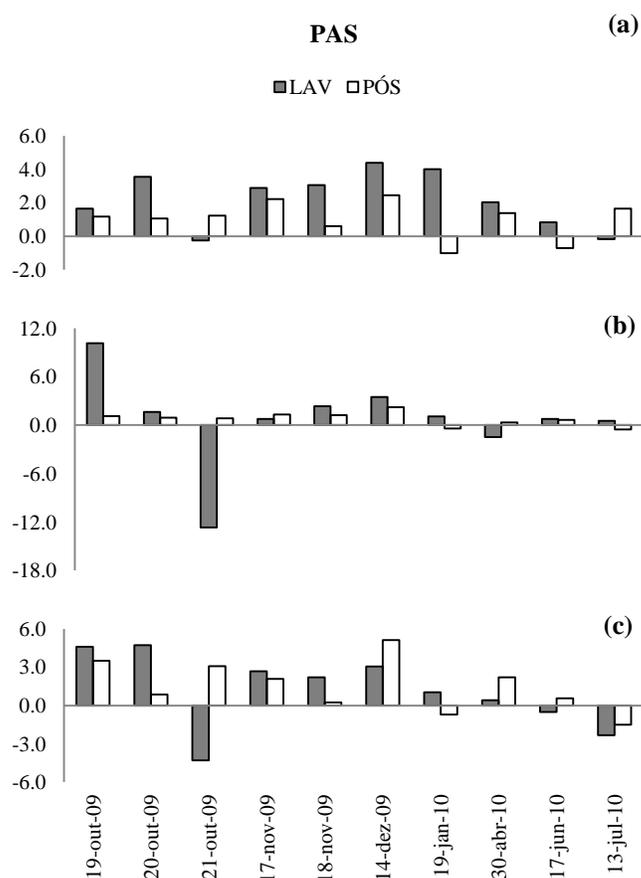
Dentre os cátions analisados, o  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Ca}^{2+}$  apresentaram um padrão de comportamento semelhante no PAS, como pode ser visualizado na Figura 21 (a), (b) e (c), respectivamente. Neste mesmo ambiente as concentrações médias destes cátions variaram positivamente em LAV, caracterizando uma alteração na composição química, provocada pela lavagem de raízes de mandioca, imediatamente após o local de lavagem.

Devido ao aumento das cargas desses íons dissolvidos em LAV, os efeitos dessas alterações na hidrobiogeoquímica fluvial se prolongaram por, pelo menos, dez metros após o depósito das raízes de mandioca, como pode ser observado nos gráficos da Figura 21, indicado por PÓS. Esse aumento de concentração em LAV indica que a mandioca é uma possível fonte desses nutrientes para os pequenos igarapés pelo menos localmente.

Ao se verificar o comportamento desses cátions nos demais igarapés identificou-se, no DIV (Figura 22), um padrão de variação semelhante ao PAS onde as concentrações desses nutrientes foram maiores em LAV, evidenciando uma contribuição das raízes de mandioca à

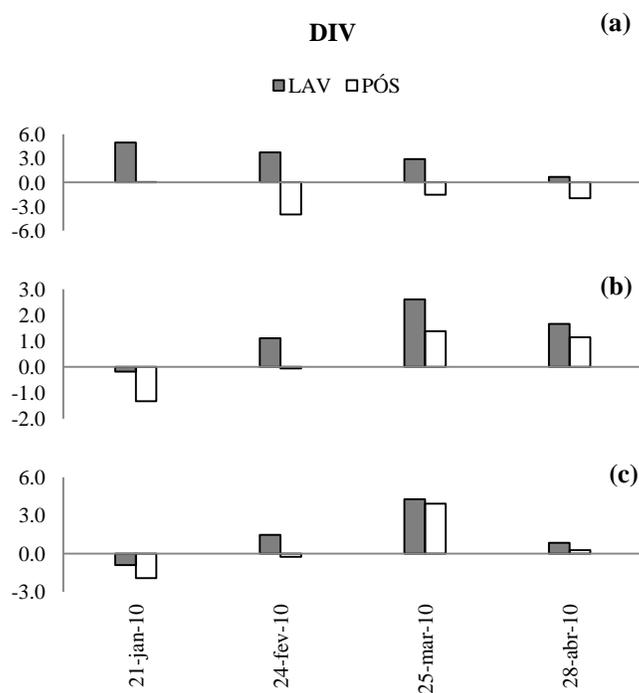
alteração da hidrogeoquímica fluvial. As Figuras 23 e 24 apresentam as variações dos cátions em questão, nos igarapés BRE, ARE e COL. Tundisi e Tundisi (2008) destacam que, dentre os vários elementos que possuem importância considerável no crescimento, na produtividade e fisiologia de organismos aquáticos, estão  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ .

Figura 21 – Variação de (a)  $\text{K}^+$ , (b)  $\text{Mg}^{2+}$  e (c)  $\text{Ca}^{2+}$ , em  $\mu\text{eq L}^{-1}$ , das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no Igarapé Passagem - PAS.



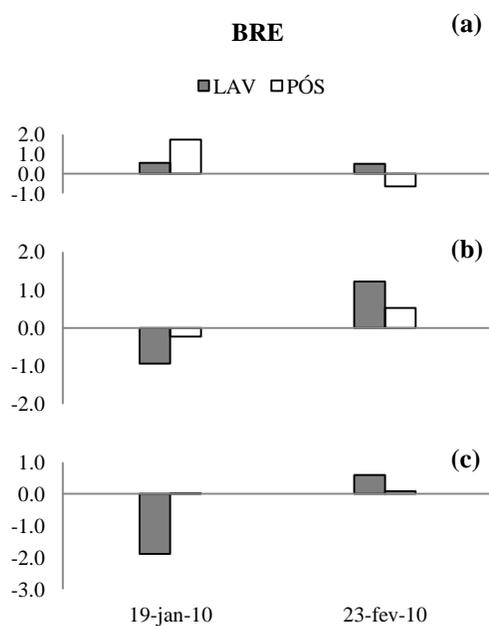
Fonte: Do autor.

Figura 22 – Variação de (a)  $K^+$ , (b)  $Mg^{2+}$  e (c)  $Ca^{2+}$ , em  $\mu eq L^{-1}$ , das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no Igarapé Divisa - DIV.



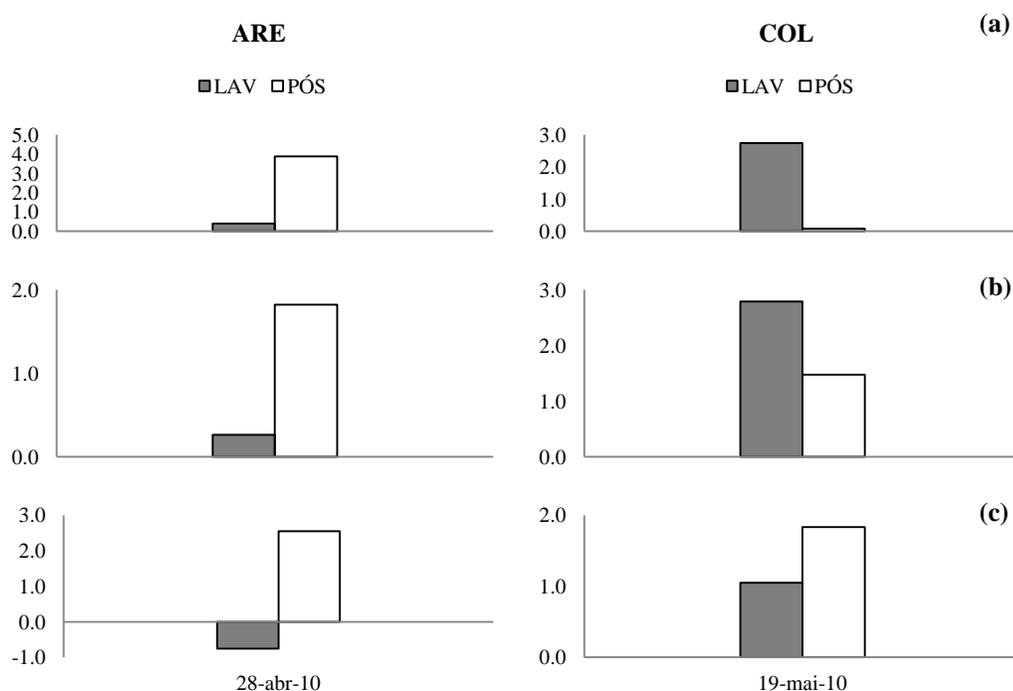
Fonte: Do autor.

Figura 23 – Variação de (a)  $K^+$ , (b)  $Mg^{2+}$  e (c)  $Ca^{2+}$ , em  $\mu eq L^{-1}$ , das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no Igarapé Breu - BRE.



Fonte: Do autor.

Figura 24 – Variação de (a)  $K^+$ , (b)  $Mg^{2+}$  e (c)  $Ca^{2+}$ , em  $\mu eq L^{-1}$ , das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ nos igarapés Areia – ARE e Colônia – COL.

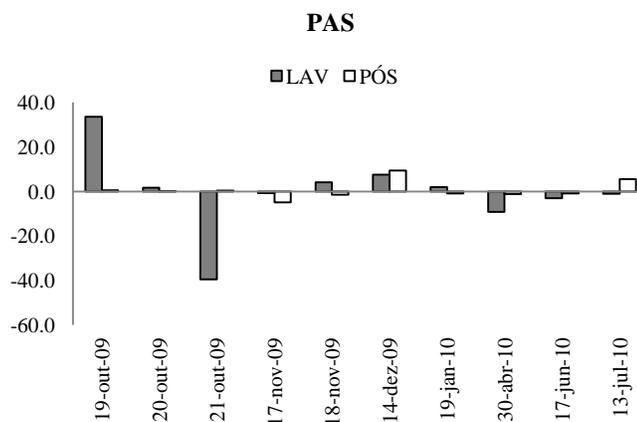


Fonte: Do autor.

Naturalmente, o maior aporte de  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $K^+$ , em pequenos igarapés, ocorre devido ao intemperismo de rochas primárias (MARKEWITZ et al., 2001). O cálcio ocupa posição importante no sistema  $pH-CO_2-CO_3$  em águas interiores; dessa forma, a maior presença desse cátion no ambiente aquático pode justificar o aumento do pH, observado em LAV, sendo a lavagem da mandioca, uma fonte pontual desse nutriente no local de lavagem. Na matriz de correlação, observaram-se valores de  $r_s = 0,726$  ( $p < 0,001$ ) na correlação entre  $K^+$  e  $Mg^{2+}$  e  $r_s = 0,749$  ( $p < 0,001$ ) entre  $K^+$  e  $Ca^{2+}$ , configurando-as como moderadas e diretas. Apenas para os íons  $Mg^{2+}$  e  $Ca^{2+}$  observou-se uma forte correlação direta valor de  $r_s = 0,961$  ( $p < 0,001$ ).

O sódio foi um dos cátions que não apresentou um padrão de variação definido no PAS (Figura 25). Em LAV, suas concentrações variaram, tanto positivamente, indicando maior contribuição pela lavagem de raízes de mandioca, quanto negativamente.

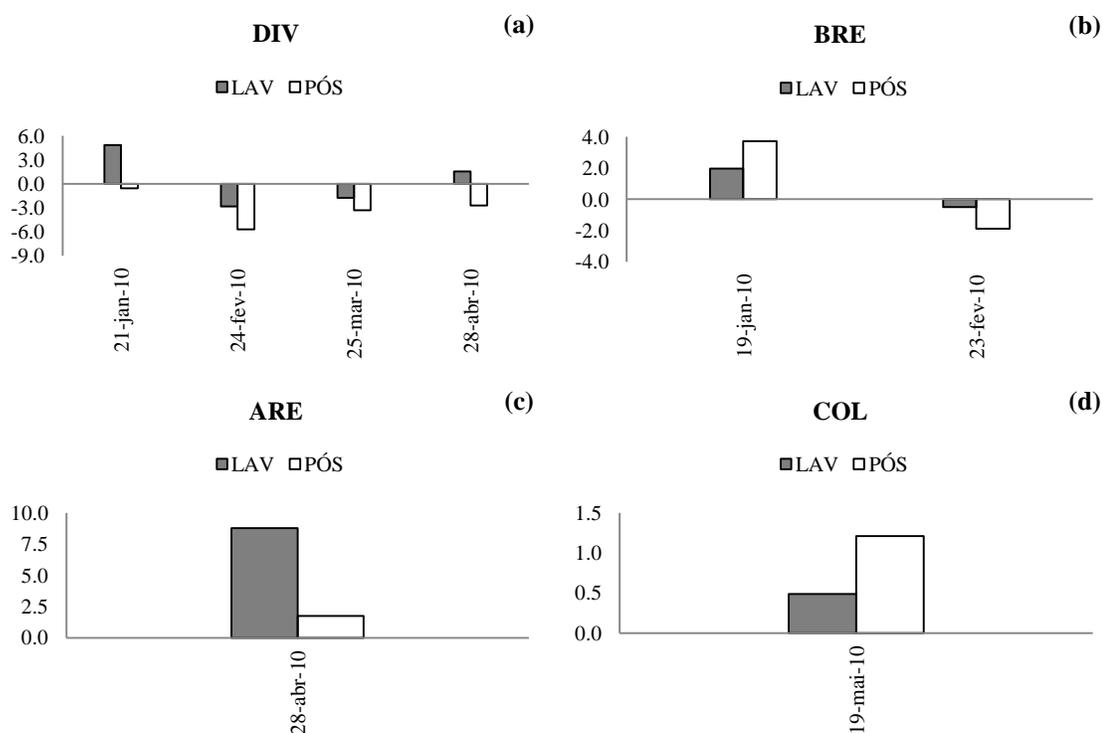
Figura 25 – Variação de  $\text{Na}^+$  ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no Igarapé Passagem - PAS.



Fonte: Do autor.

Nos demais igarapés (Figura 26) também foi observado o mesmo comportamento para o sódio. Tal evidência pode estar relacionada à grande importância deste íon à produtividade e fisiologia de organismos aquáticos, fazendo suas concentrações oscilarem de maneira desordenada. É geralmente encontrado em associação ao íon cloreto (ALLAN; CASTILLO, 2007). No entanto, a presença desse íon em pequenos igarapés da região é justificada também pelo aporte de aerossóis proveniente de regiões marinhas, como demonstrado por Wickel (2004) e Figueiredo et al. (2010).

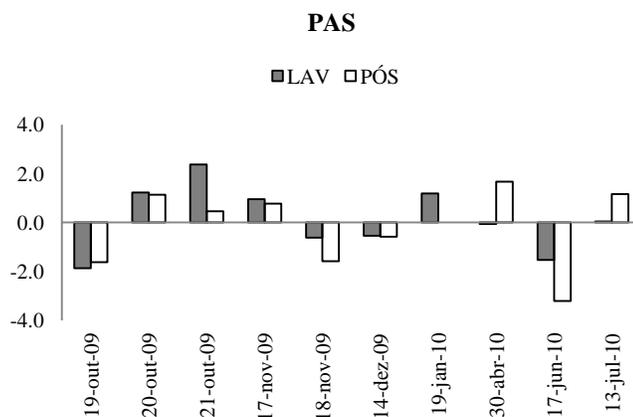
Figura 26 – Variação de  $\text{Na}^+$  ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Divisa - DIV; (b) Igarapé Breu - BRE; (c) Igarapé Areia - ARE; e (d) Igarapé Colônia - COL.



Fonte: Do autor.

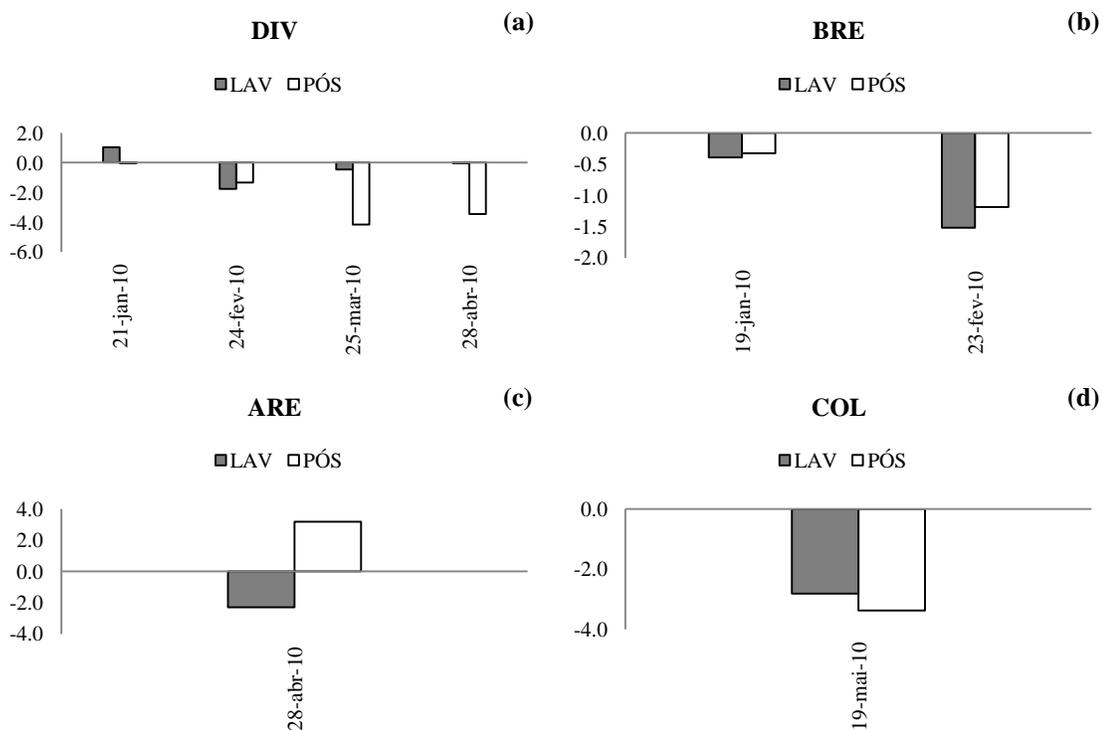
O íon amônio foi observado em concentrações muito pequenas (Tabela 2) nos igarapés monitorados (Figuras 27 e 28). Isto pode se dever ao fato desta ser a primeira forma de nitrogênio inorgânico derivada da mineralização da matéria orgânica, sendo diretamente assimilado por organismos fotossintéticos, além do fato de que a concentração de oxigênio é baixa não favorecendo à nitrificação (CARMOUZE, 1994).

Figura 27 – Variação de  $N-NH_4^+$  ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no Igarapé Passagem - PAS.



Fonte: Do autor.

Figura 28 – Variação de  $N-NH_4^+$  ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Divisa - DIV; (b) Igarapé Breu - BRE; (c) Igarapé Areia - ARE; e (d) Igarapé Colônia - COL.



Fonte: Do autor.

Com relação aos ânions, no PAS as maiores concentrações foram observadas para  $\text{Cl}^-$  (Figura 29), o que é comum, pois o cloreto é um íon conservativo abundante na região e apresenta como fonte os aerossóis marinhos (BALLESTER et al. 2003; BIGGS et al., 2002; BIGGS et al., 2004; CARMOUZE, 1994; FIGUEIREDO et al., 2010); sendo considerado quimicamente e biologicamente inerte, e por isso é útil como um traçador de liberação de nutrientes (ALLAN; CASTILLO, 2007).

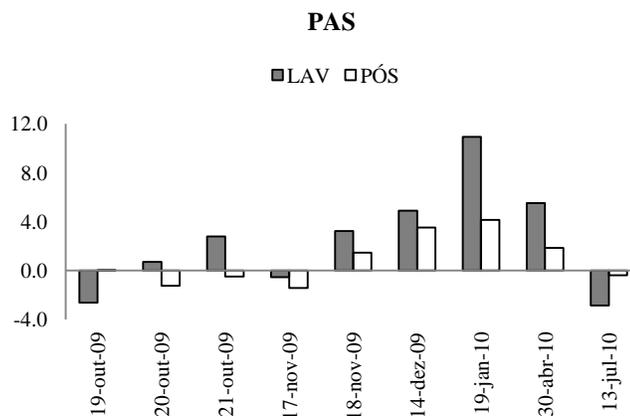
Verificaram-se, na maioria das coletas, valores de cloreto em LAV que excederam os níveis de PRÉ e permaneceram alterados em PÓS. Os maiores valores de LAV, em todo o período estudado, foram observados nos meses de dezembro, janeiro e abril. Avaliando-se o comportamento do  $\text{Cl}^-$  nos demais igarapés (Figura 30), verificou-se que as variações das concentrações deste ânion foram pequenas, principalmente para o BRE; no entanto, observou-se que também houve um incremento de cloreto em LAV, provocado pela lavagem das raízes de mandioca, na maioria das datas amostradas, com relação a PRÉ.

O nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ), mesmo em pequenas proporções, apresentou menores concentrações em LAV em relação à PRÉ, no igarapé PAS na maioria das datas (Figura 31). Provavelmente isso se deve ao fato do nitrato ser um nutriente amplamente utilizado por organismos fotossintéticos e microorganismos (CARMOUZE, 1994). Os níveis de concentração de nitrato, em determinadas ocasiões, são restabelecidos parcialmente em PÓS, tornando-se em geral maiores que LAV, mas ainda inferiores a PRÉ.

O comportamento deste ânion remete a uma ação mais intensa no processo de assimilação de nitrato em LAV e a sua elevada instabilidade em decorrência dos processos de nitrificação e desnitrificação, inclusive com ocorrência de perdas gasosas. Nos demais igarapés (Figura 32) o nitrato não apresentou um padrão de variação longitudinal, como pode ser observado nos gráficos da Figura 32.

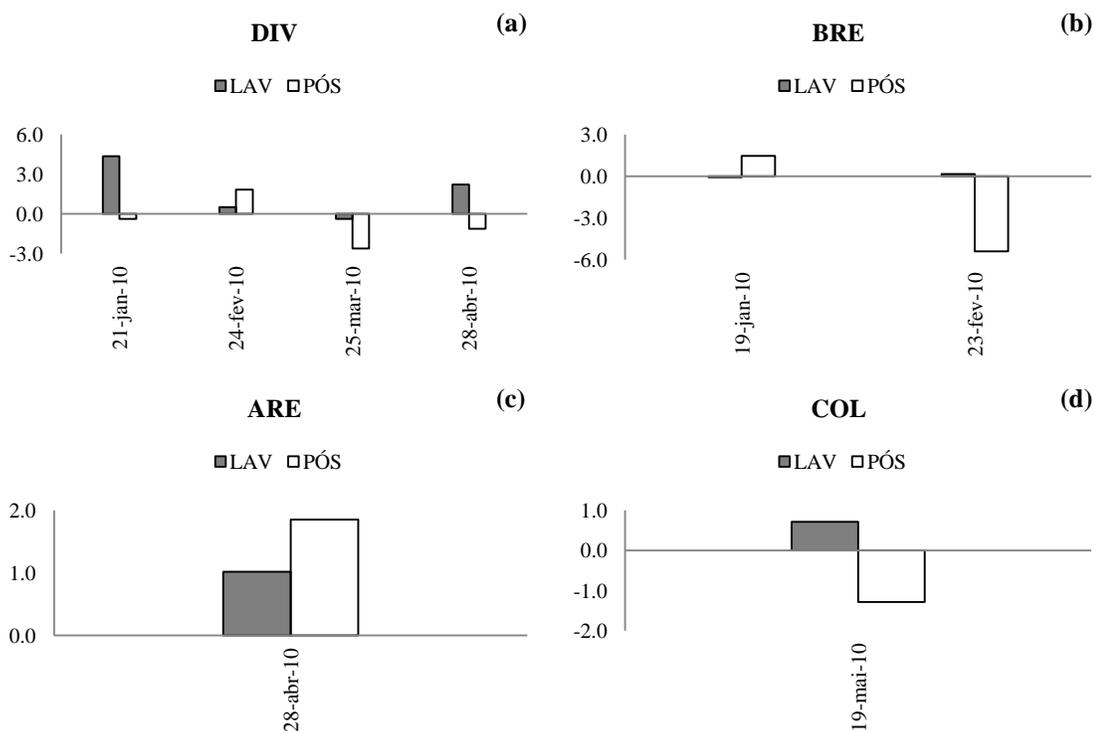
A matriz de correlação possibilitou verificar que o nitrato apresentou maior correlação com o íon  $\text{Mg}^{2+}$ , com  $r_s$  igual a -0,862 ( $p < 0,001$ ), indicando comportamento oposto entre o nitrato e o magnésio.

Figura 29 – Variação de  $\text{Cl}^-$  ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no Igarapé Passagem – PAS.



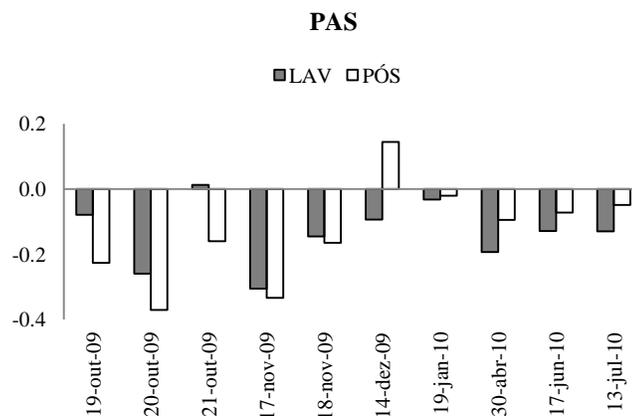
Fonte: Do autor.

Figura 30 – Variação de  $\text{Cl}^-$  ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Divisa - DIV; (b) Igarapé Breu - BRE; (c) Igarapé Areia - ARE; e (d) Igarapé Colônia – COL.



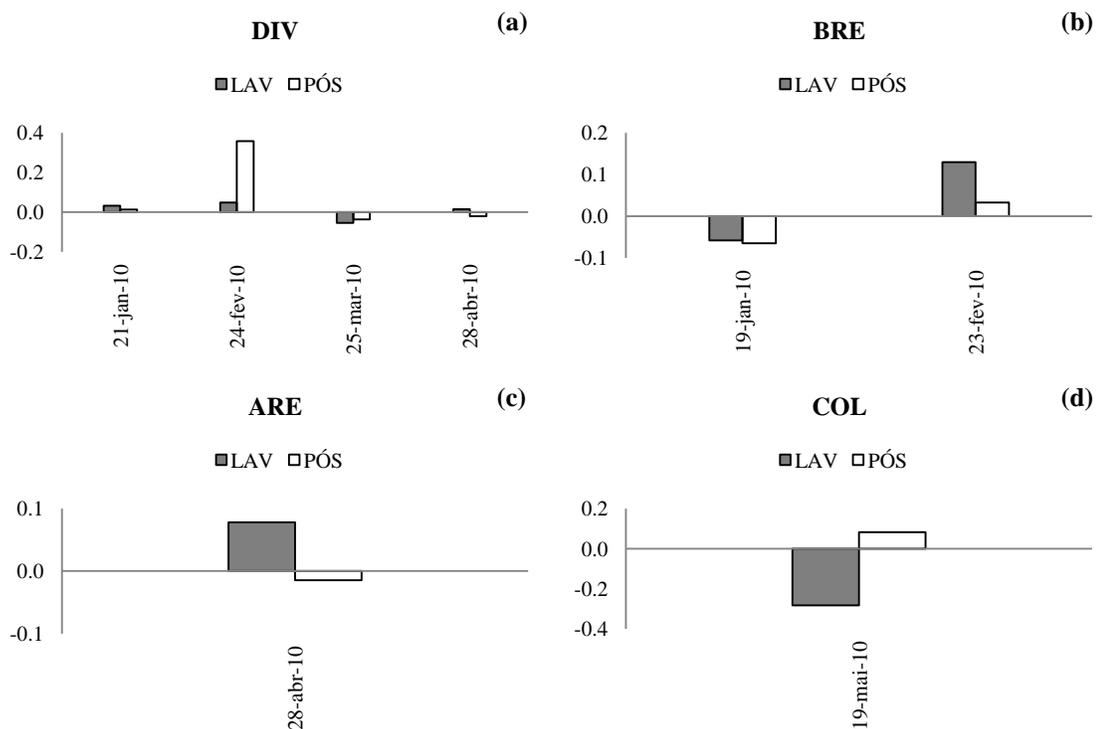
Fonte: Do autor.

Figura 31 – Variação de  $\text{N-NO}_3^-$  ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no Igarapé Passagem - PAS.



Fonte: Do autor.

Figura 32 – Variação de  $\text{N-NO}_3^-$  ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Divisa - DIV; (b) Igarapé Breu - BRE; (c) Igarapé Areia - ARE; e (d) Igarapé Colônia - COL.

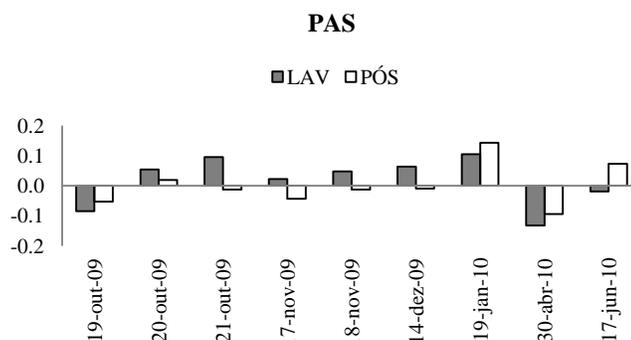


Fonte: Do autor.

O fosfato no PAS apresentou uma tendência de incremento de concentração no local de lavagem (LAV) das raízes de mandioca (Figura 33), apesar de a ordem de grandeza das concentrações ter sido muito pequena. O fato de tratar-se de um nutriente, que exerce papel fundamental e, portanto, limitante ao desenvolvimento da biota (FIGUEIREDO, 2009), justifica as variações com inclinação negativa, em PÓS por exemplo. Supõe-se que houve aumento da demanda advinda de microorganismos, presentes no ambiente aquático, assimilando o nutriente dissolvido, fato que pode ser explicado em 3 ocasiões na Figura 33. Com relação aos demais igarapés (Figura 34), verificou-se que não houve um padrão de comportamento para o fosfato. No entanto, o DIV foi o igarapé que apresentou a maior variação no mês de fevereiro. Tal característica pode estar relacionada ao tempo de lavagem de raízes de mandioca.

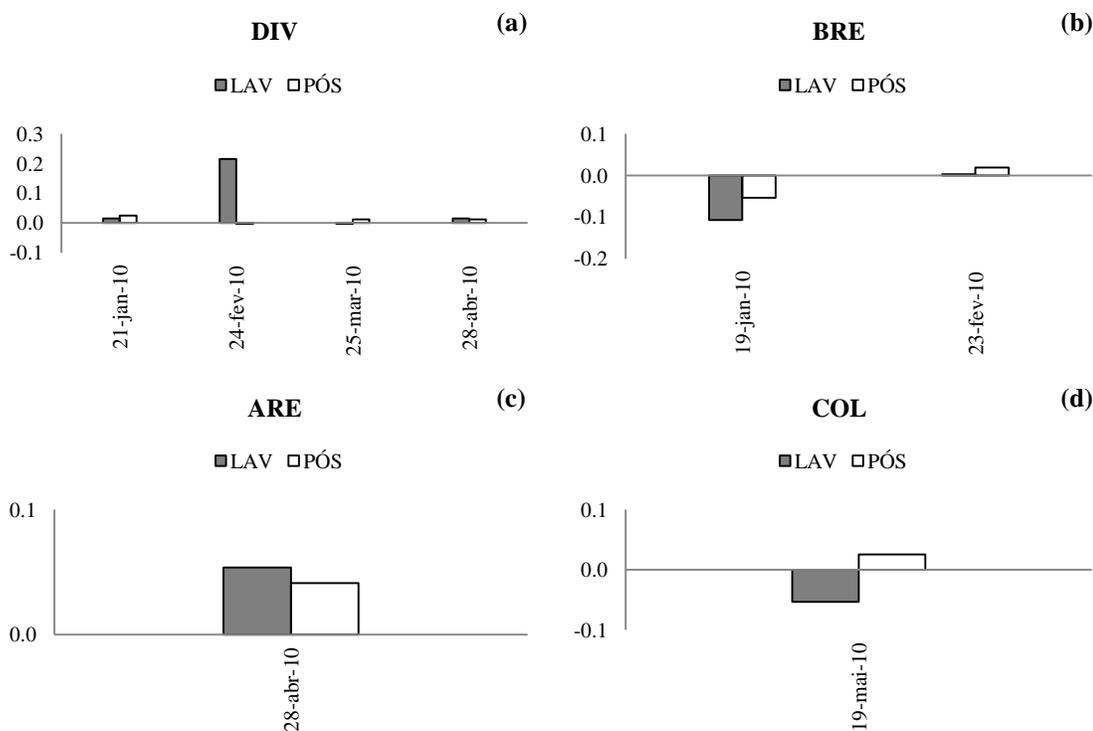
O sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) no PAS apresentou variação negativa em LAV na maioria das datas amostradas (Figura 35). No entanto, em três datas amostradas as concentrações em PÓS superaram as concentrações medidas em PRÉ. Destaca-se que este ânion foi o segundo maior, em valores de concentrações médias, (ver Tabela 2), e não sendo limitante para a biota tem suas concentrações pouco afetadas por processos biogeoquímicos (FIGUEIREDO, op.cit.). Ao se avaliar o comportamento do sulfato nos demais igarapés, verificou-se que a maior concentração foi encontrada no ARE. No entanto, não houve um padrão de comportamento para as concentrações de sulfato nos igarapés monitorados, como pode observar-se nos gráficos da Figura 36. Para Wickel (2004) os aportes do íon sulfato têm origem oceânica, assim como os íons sódio e cloreto.

Figura 33 – Variação de  $\text{P-PO}_4^{3-}$  ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no Igarapé Passagem - PAS.



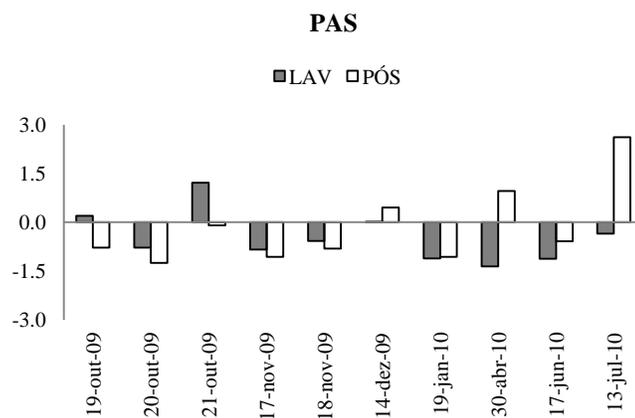
Fonte: Do autor.

Figura 34 – Variação de  $P-PO_4^{3-}$  ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Divisa - DIV; (b) Igarapé Breu - BRE; (c) Igarapé Areia - ARE; e (d) Igarapé Colônia – COL.



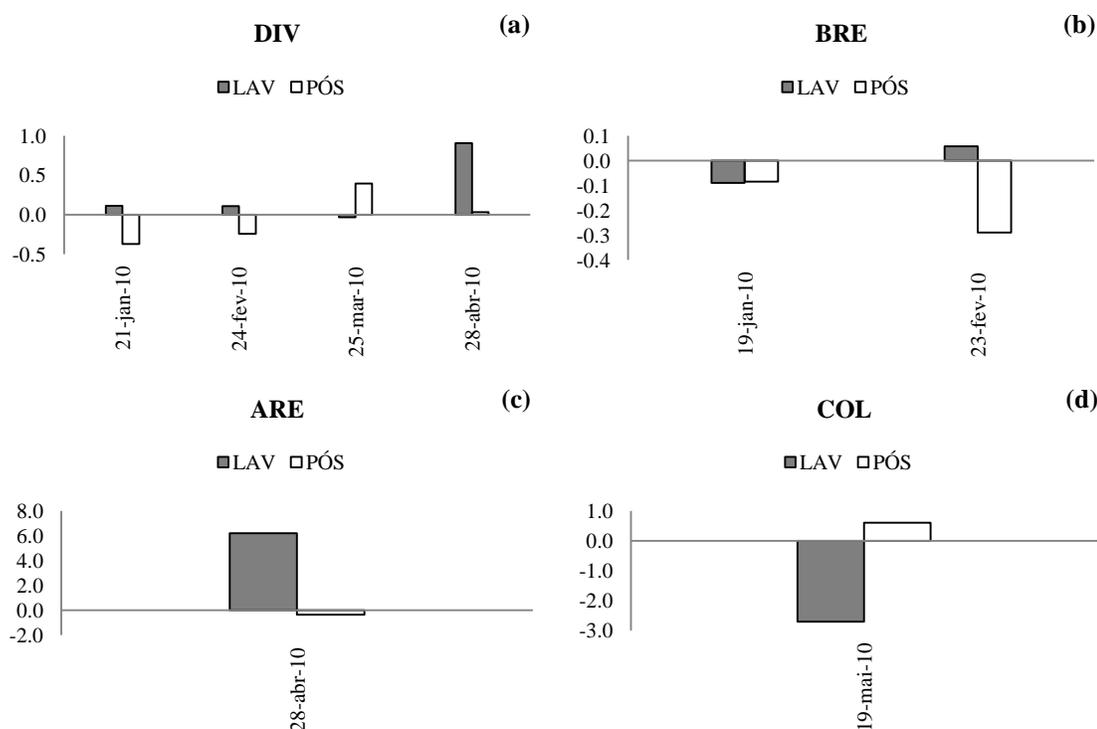
Fonte: Do autor.

Figura 35 – Variação de  $SO_4^{2-}$  ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no Igarapé Passagem - PAS.



Fonte: Do autor.

Figura 36 – Variação  $\text{SO}_4^{2-}$  ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Divisa - DIV; (b) Igarapé Breu - BRE; (c) Igarapé Areia - ARE; e (d) Igarapé Colônia - COL.



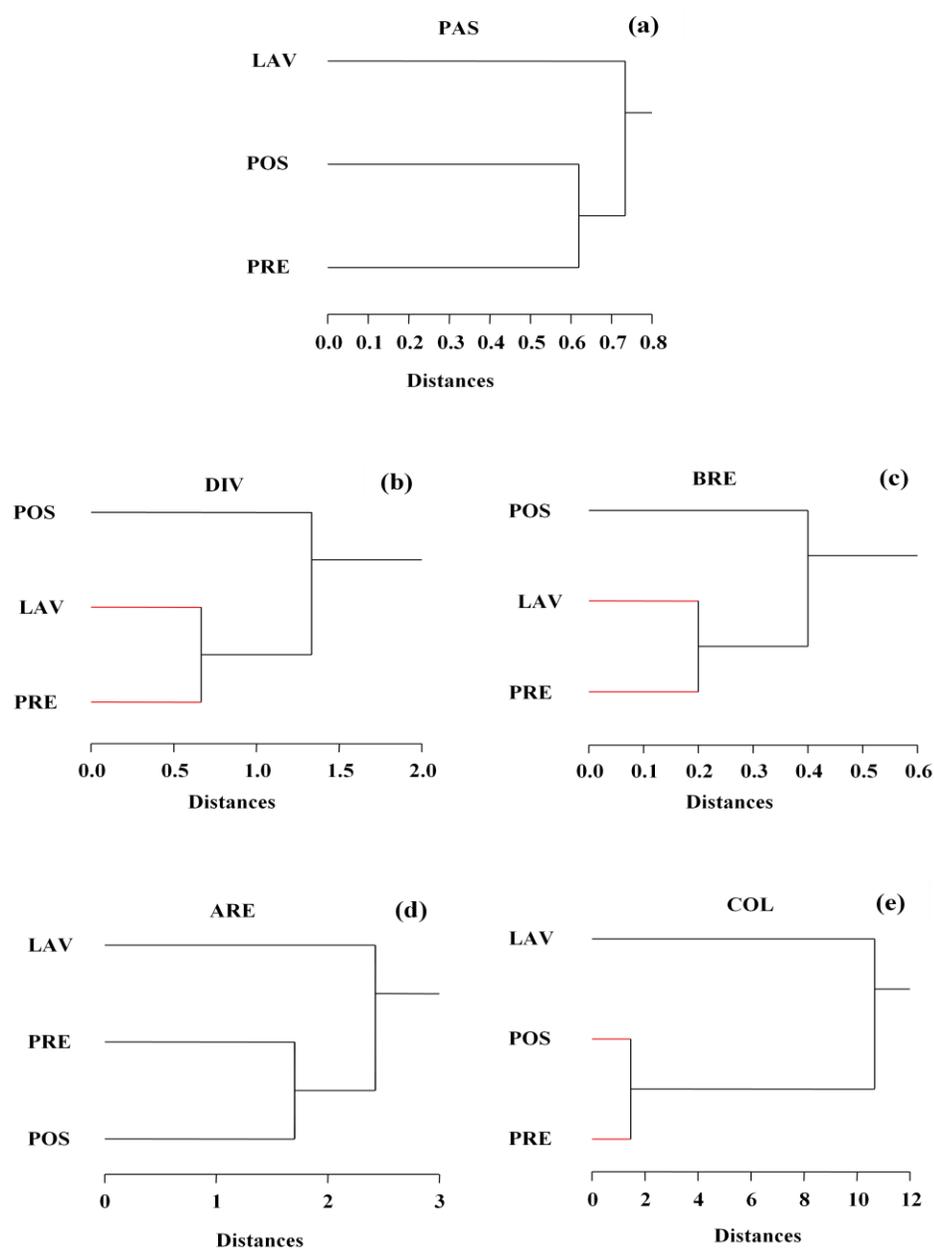
Fonte: Do autor.

A fim de melhor ilustrar o comportamento da hidrobiogeoquímica nos pequenos igarapés sob o efeito da lavagem de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), foi aplicada uma análise de cluster (Figura 37), com o objetivo de verificar se PRÉ, LAV e PÓS eram semelhantes ou se diferenciavam. Desta forma, pôde-se visualizar quais dos pontos de amostragem se assemelhavam, por meio de agrupamento dos semelhantes.

Verificou-se que para o igarapé PAS, o ponto LAV não se agrupou com PRÉ e PÓS. O mesmo foi constatado em ARE e COL, este com maior distância euclidiana entre os pontos de amostragem, evidenciando a hipótese de que a hidrobiogeoquímica dos pequenos igarapés amazônicos, monitorados na presente pesquisa, pode ser alterada localmente em função do processamento das raízes de mandioca. O fato dos igarapés DIV e BRE não apresentarem diferença entre os pontos de amostragem LAV e PRÉ, bem como as distâncias euclidianas de todos os igarapés serem diferentes, pode estar relacionado ao menor tempo de lavagem e à menor

quantidade do produto que estava sendo lavado no leito dos igarapés monitorados, já que não se tinha o controle destas variáveis durante a realização dos trabalhos em campo.

Figura 37 – Análise de cluster para todos os igarapés: (a) Passagem - PAS; (b) Divisa - DIV; (c) Breu - BRE; (d) Areia - ARE e (e) Colônia - COL.



Fonte: Do autor.

#### **4.1.2 Experimento em tanque para avaliação dos efeitos da lavagem de raízes de mandioca na hidrogeoquímica fluvial**

A fim de verificar se as variações hidrobiogeoquímicas observadas nos igarapés monitorados são, de fato, causadas pela lavagem de raízes de mandioca em seus leitos, foram realizados dois experimentos em tanque com vazão de entrada e saída controladas.

Verificou-se que, com 24 horas de lavagem, as raízes de mandioca passaram a eliminar gases, que não foram monitorados neste estudo. No entanto, tal observação foi possível devido o produto ter sido armazenado em sacos de nylon, o que possibilitou o aprisionamento do gás, temporariamente.

A Tabela 3 apresenta os valores médios e erros padrão das concentrações dos parâmetros avaliados, em cada tempo de lavagem (um a sete dias), durante o experimento. Ressalta-se que os valores medidos no tempo zero (0 d) servem como referência da hidroquímica da água de entrada (em PRÉ) e da relativa assepsia do tanque quando medida a água de saída (em LAV), porém tais dados não são apresentados na presente dissertação. Destaca-se que, logo no primeiro dia, foi observado o surgimento de espumas e odores na água do tanque. Ressalta-se ainda que os valores médios, mostrados na tabela, sem erro padrão, correspondem a apenas uma medição, no respectivo tempo de lavagem, em um dos experimentos.

Considerando-se os valores médios, após algum tempo de lavagem, algumas medidas podem ser destacadas. Os valores médios de pH variaram de 4,02 a 4,42 em PRÉ e de 4,13 a 4,71 em LAV. O percentual de saturação de oxigênio (% sat) apresentou valores médios que variaram entre 39,30 e 57,82 % em PRÉ e entre 7,00 e 43,97 % em LAV. Os valores médios observados para o carbono orgânico dissolvido (COD) variaram de 0,46 a 2,28 mg L<sup>-1</sup> em PRÉ e de 3,93 a 48,43 mg L<sup>-1</sup> em LAV.

Tabela 3 – Concentrações médias, em dois experimentos, e erros padrão dos elementos avaliados nos experimentos em tanque sob lavagem de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz).

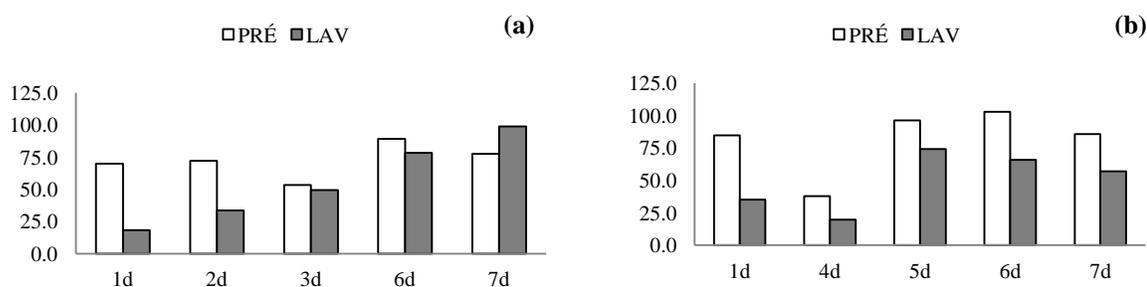
PARÂMETRO	1 d		2 d		3 d		4 d		5 d		6 d		7 d	
	PRÉ	LAV	PRÉ	LAV	PRÉ	LAV	PRÉ	LAV	PRÉ	LAV	PRÉ	LAV	PRÉ	LAV
pH	4,12 (0,05)	4,60 (0,14)	4,14	4,47	4,27	4,31	4,42	4,71	4,02	4,13	4,02 (0,03)	4,15 (0,04)	4,09 (0,02)	4,13 (0,12)
H <sup>+</sup> (μM)	77,35 (7,37)	26,66 (8,42)	72,11	33,65	53,46	49,32	37,93	19,68	96,16	74,13	95,97 (6,84)	72,13 (6,21)	81,66 (4,04)	77,88 (20,99)
OD (mg L <sup>-1</sup> )	3,09 (0,11)	2,41 (0,48)	3,34	1,61	3,58	1,54	3,00	0,80	3,05	0,54	3,55 (0,23)	0,84 (0,50)	3,27 (0,18)	1,43 (0,30)
OD (% sat)	43,10 (5,20)	31,25 (5,95)	40,46	22,00	49,00	20,00	39,30	10,30	39,50	7,00	46,90 (2,10)	11,10 (6,70)	43,55 (0,95)	18,25 (3,65)
CE (μS)	47,25 (1,15)	49,25 (1,55)	56,10	69,60	44,10	92,80	46,70	47,00	48,50	56,40	51,05 (0,35)	64,35 (10,85)	48,10 (2,80)	68,60 (23,40)
TURBIDEZ (FTU)	0,61	2,37	-	-	-	-	0,48	2,37	0,63	4,65	0,00	3,34	0,00	1,05
COD (mg L <sup>-1</sup> )	1,45 (0,98)	5,42 (0,54)	0,46	26,54	0,49	48,43	2,28	3,93	2,13	4,81	1,33 (0,86)	21,60 (14,83)	1,32 (0,87)	25,24 (18,59)
CID (mg L <sup>-1</sup> )	1,98 (0,38)	2,34 (0,44)	1,48	2,34	1,44	3,30	2,50	2,70	1,98	2,27	1,69 (0,18)	1,74 (0,11)	1,96 (0,57)	2,19 (0,59)
NT (mg L <sup>-1</sup> )	0,23 (0,02)	0,24 (0,02)	0,20	0,51	0,22	0,82	0,24	0,20	0,25	0,18	0,22 (0,02)	0,27 (0,11)	0,24 (0,03)	0,36 (0,14)
NOD (mg L <sup>-1</sup> )	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Ca <sup>2+</sup> (μeq L <sup>-1</sup> )	6,13 (0,49)	51,71 (14,43)	6,54	98,83	6,86	120,11	6,06	23,90	5,50	20,64	5,66 (0,32)	54,96 (28,94)	5,42 (0,10)	40,26 (20,36)
Mg <sup>2+</sup> (μeq L <sup>-1</sup> )	12,05 (0,02)	36,92 (5,95)	11,85	91,04	12,23	144,84	12,02	23,45	12,06	24,71	11,97 (0,07)	67,92 (36,96)	11,85 (0,14)	61,45 (34,35)
Na <sup>+</sup> (μeq L <sup>-1</sup> )	223,17 (2,54)	222,93 (2,13)	220,80	224,19	227,40	227,09	219,14	226,19	226,59	220,75	221,56 (2,18)	233,24 (2,02)	220,11 (0,05)	225,36 (6,98)
K <sup>+</sup> (μeq L <sup>-1</sup> )	10,13 (1,13)	33,68 (12,74)	9,35	118,37	9,99	215,43	8,44	25,37	9,92	31,02	8,84 (0,08)	99,38 (61,15)	8,35 (0,11)	99,32 (68,18)
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (μeq L <sup>-1</sup> )	1,09 (0,57)	0,06 (0,05)	0,80	3,70	2,13	4,56	0,48	0,30	0,51	0,09	0,64 (0,19)	0,32 (0,31)	0,51 (0,09)	0,40 (0,22)
Cl <sup>-</sup> (μeq L <sup>-1</sup> )	309,70 (21,23)	302,32 (5,75)	295,94	311,09	307,17	317,06	296,10	300,70	312,27	304,72	308,49 (5,37)	311,05 (4,49)	306,67 (9,22)	308,50 (9,15)
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (μeq L <sup>-1</sup> )	3,41 (0,65)	2,04 (0,78)	2,83	0,02	2,83	<0,01	3,91	2,63	3,87	2,19	3,38 (0,54)	0,37 (0,36)	3,28 (0,46)	1,19 (1,15)
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (μeq L <sup>-1</sup> )	0,10 (0,09)	0,03 (0,03)	0,04	0,25	0,21	0,17	0,01	0,01	0,00	0,04	0,06 (0,06)	0,04 (0,01)	0,12 (0,11)	0,15 (0,14)
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (μeq L <sup>-1</sup> )	7,40 (0,34)	7,41 (0,40)	7,52	8,95	7,59	9,42	6,76	5,39	6,83	5,08	6,64 (0,30)	7,08 (1,29)	6,70 (0,01)	6,97 (1,09)

Fonte: Do autor.

Já o carbono inorgânico dissolvido (CID) apresentou a maior concentração de 3,30 mg L<sup>-1</sup> em LAV, com três dias de experimento. O maior valor obtido para a condutividade elétrica foi de 92,80 µS em LAV, também no terceiro dia de experimento. O nitrogênio total (NT) apresentou concentrações bem baixas com valores médios variando entre 0,20 e 0,25 mg L<sup>-1</sup> em PRÉ e entre 0,18 e 1,82 mg L<sup>-1</sup> em LAV. Os cátions e ânions avaliados apresentaram suas maiores concentrações em LAV com três dias do início da lavagem, com exceção do sódio, nitrato e fosfato que, diferentemente dos demais íons inorgânicos dissolvidos, apresentaram maiores médias em seis dias, quatro dias e dois dias, respectivamente.

Apesar de terem sido coletadas amostras em diferentes tempos de lavagem, quando se compara os dois experimentos verifica-se que o íon H<sup>+</sup> (Figura 38), que determina o teor de acidez do ambiente, apresentou uma tendência de diminuição das concentrações conforme o aumento no tempo de lavagem de raízes de mandioca e em relação as concentrações em PRÉ. Portanto, ao interagir com a água, a mandioca proporcionou uma redução no teor de acidez do ambiente. Tal comportamento também foi observado ao se avaliar o íon H<sup>+</sup> nos igarapés monitorados. Na matriz de correlação para o experimento de mandioca verificou-se que o íon H<sup>+</sup> correlacionou-se mais com a turbidez, porém de forma inversa, apresentando valor de  $r_s = -0,609$  ( $p < 0,05$ ).

Figura 38 – Variação de H<sup>+</sup> (µM) em LAV em relação a PRÉ no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) em tanque.



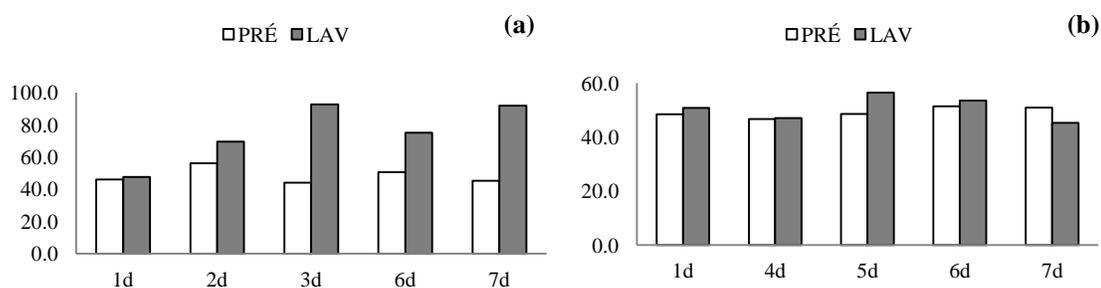
Fonte: Do autor.

Quando se avalia os resultados de condutividade, verifica-se que os valores tenderam a serem maiores em LAV e a aumentar as concentrações conforme o aumento do tempo de lavagem (Figura 39). Tal constatação está relacionada ao maior aporte de compostos iônicos dissolvidos oriundos da lavagem das raízes de mandioca, contribuindo para alterar a hidroquímica no tanque. No entanto, as maiores correlações foram observadas entre a CE e DOC

( $r_s = 0,522$ ;  $p < 0,01$ ) e entre CE e  $K^+$  ( $r_s = 0,586$ ;  $p < 0,01$ ), indicando que estes parâmetros melhor regulam as variações de CE, durante a lavagem, quando comparados às demais variáveis.

Quando os valores de condutividade nos experimentos são comparados com aqueles observados nos igarapés, verifica-se que os dados observados nos experimentos excederam, consideravelmente, os encontrados no ambiente natural, uma vez que o tanque é de menor volume comparado aos canais fluviais monitorados. Tal resultado pode confirmar, de fato, a lavagem da mandioca como a responsável pelo pequeno aumento observado na CE (na ordem de dois microsiemens) no ponto LAV do monitoramento realizado nos igarapés, no local de depósito dos sacos de mandioca.

Figura 39 – Variação de CE ( $\mu\text{S}$ ) em LAV em relação a PRÉ no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) em tanque.

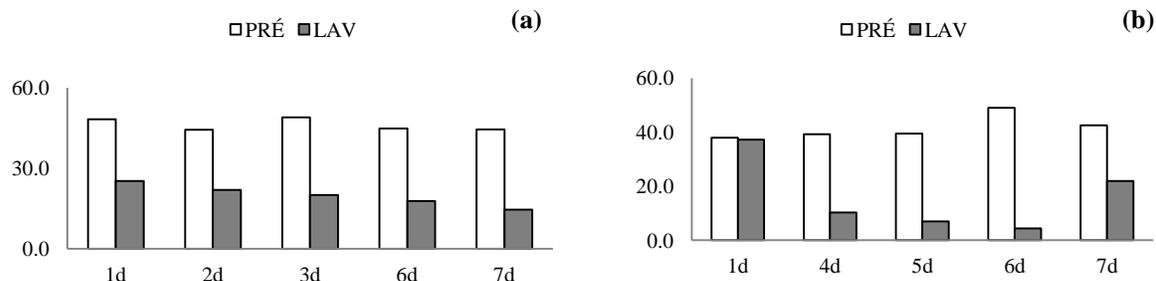


Fonte: Do autor.

Conforme o aumento do tempo de lavagem verificou-se que o percentual de saturação de OD, no interior do tanque, tendeu a reduzir-se gradativamente (Figura 40), atingindo taxas em torno de 7 % de saturação (Tabela 3). Sugere-se que tal redução está relacionada ao maior aporte de carga orgânica, provocada pela lavagem das raízes de mandioca; sendo necessária maior quantidade de oxigênio do meio para decomposição aeróbia da matéria orgânica disponível, por ação de microorganismos. Tal suposição foi enfatizada ao se analisar a matriz de correlação, onde o OD (% sat) correlacionou-se inversamente com a turbidez ( $r_s = -0,813$ ;  $p < 0,01$ ), DOC ( $r_s = -0,831$ ;  $p < 0,001$ ), bem como com os íons  $K^+$  ( $r_s = -0,718$ ;  $p < 0,001$ ),  $Mg^{2+}$  ( $r_s = -0,730$ ;  $p < 0,001$ ) e  $Ca^{2+}$  ( $r_s = -0,751$ ;  $p < 0,001$ ).

A redução de OD em LAV também foi verificada nos igarapés monitorados. Destaca-se que, mesmo o tanque sendo abastecido por água de proveniência subterrânea, verificou-se níveis de OD inferiores a PRÉ no interior do tanque. Segundo Allan e Castillo (2007) as águas subterrâneas apresentam baixas concentrações de OD.

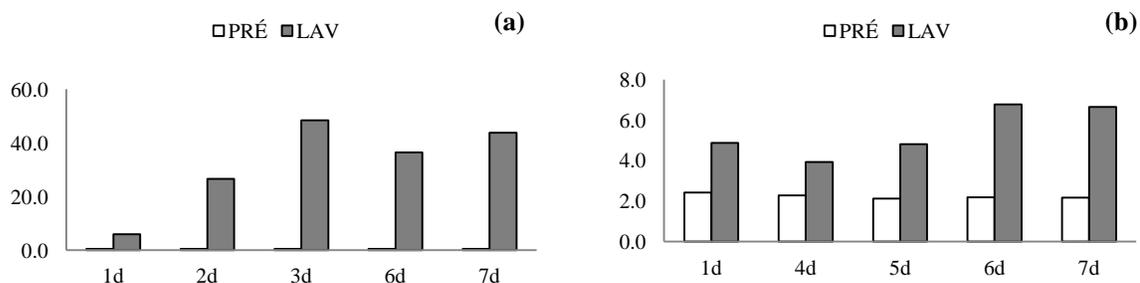
Figura 40 – Variação de OD (% sat) em LAV em relação a PRÉ no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) em tanque.



Fonte: Do autor.

As concentrações de COD ( $\text{mg L}^{-1}$ ), em LAV, aumentaram conforme o aumento do tempo de lavagem das raízes de mandioca (Figura 41). Tal comportamento se deve ao incremento no teor de material orgânico dissolvido oriundo da interação contínua da mandioca com a água no processo de lavagem. As maiores correlações foram observadas entre o COD e os íons  $\text{K}^+$  ( $r_s = 0,777$ ),  $\text{Mg}^{2+}$  ( $r_s = 0,882$ ) e  $\text{Ca}^{2+}$  ( $r_s = 0,808$ ), todas com valores de  $p < 0,001$ . Como os experimentos foram realizados em momentos distintos, e houve uma diferença também nos intervalos de coleta, bem como na quantidade de raízes de mandioca imersa no tanque, explica-se a diferença no teor de COD entre os experimentos. No primeiro experimento, quando a quantidade de mandioca foi maior, a concentração de COD foi maior em relação ao segundo experimento. Por outro lado, esta tendência de aumento de COD ocasionado pela lavagem da mandioca confirma que esta prática é a responsável pelos aumentos de COD verificados nos igarapés monitorados.

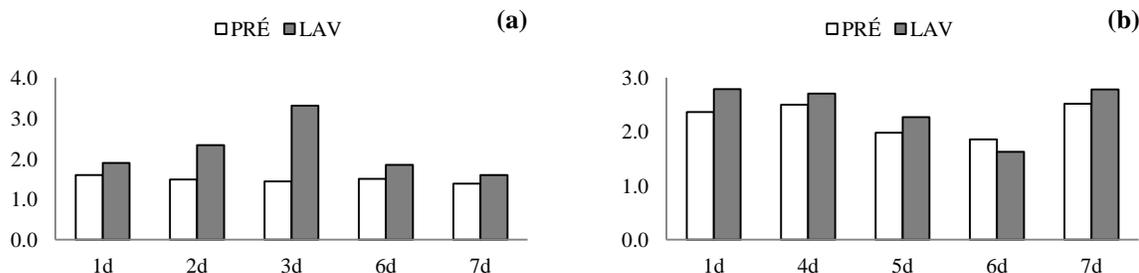
Figura 41 – Variação de COD ( $\text{mg L}^{-1}$ ) em LAV em relação a PRÉ no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) em tanque.



Fonte: Do autor.

Com relação ao CID ( $\text{mg L}^{-1}$ ), as concentrações, em LAV, também foram superiores a PRÉ, na maioria dos tempos de lavagem (Figura 42). No entanto, no segundo experimento, observou-se que no sexto dia de lavagem houve um declínio nas concentrações. No primeiro experimento houve uma homogeneidade nas concentrações em PRÉ, fato que não foi observado no segundo experimento. Mesmo com maiores incrementos de CID no segundo experimento (vide concentrações medidas em PRÉ), verificou-se que as concentrações em LAV foram superiores. No monitoramento em campo não pode ser constada influência da lavagem de mandioca neste parâmetro hidrogeoquímico – CID, pois não foi observado um padrão de variação semelhante nas datas em que os igarapés foram monitorados. Destaca-se que as águas subterrâneas são, naturalmente, enriquecidas com  $\text{CO}_2$  (uma das formas de CID) devido ao processamento de matéria orgânica, por atividade microbiana (ALLAN; CASTILLO, 2007).

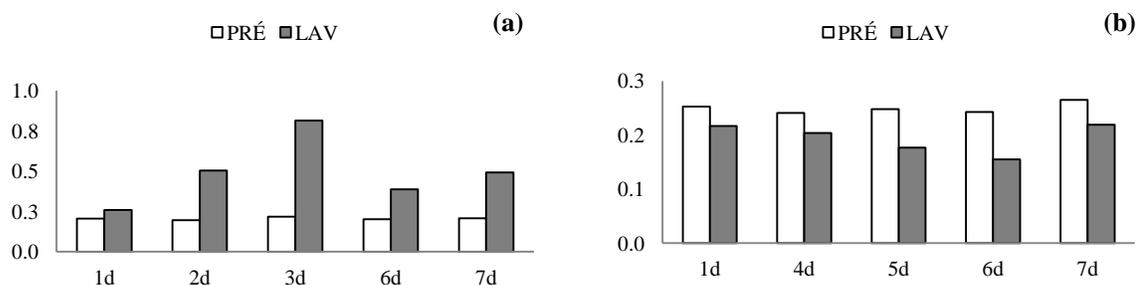
Figura 42 – Variação de CID ( $\text{mg L}^{-1}$ ) em LAV em relação a PRÉ no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) em tanque.



Fonte: Do autor.

Talvez devido às baixas concentrações medidas, o NT ( $\text{mg L}^{-1}$ ) apresentou padrões de variação opostos nos experimentos, assim como já fora observado no monitoramento de campo padrões de variação longitudinal opostos nos igarapés avaliados. Enquanto no primeiro experimento (Figura 43a) as concentrações foram maiores em LAV do que em PRÉ, com um pico de concentração no intervalo de três dias a partir do início da lavagem; no segundo experimento (Figura 43b) ocorreu o inverso, apresentando concentrações inferiores em LAV e declinando gradativamente até o sexto dia.

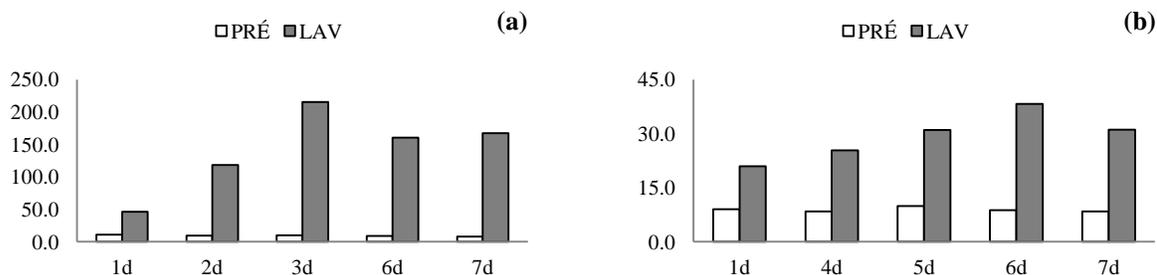
Figura 43 – Variação de NT ( $\text{mg L}^{-1}$ ) em LAV em relação a PRÉ no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) em tanque.



Fonte: Do autor.

As concentrações de potássio (Figura 44) em LAV excederam as de PRÉ na grande maioria dos tempos amostrados e as concentrações aumentaram conforme o aumento no tempo de lavagem das raízes de mandioca. As altas concentrações observadas em LAV, nos experimentos em tanque, indicam que a mandioca, possuidora de um teor nutricional elevado por conta da presença deste elemento (CENI et al., 2009), é também uma fonte apreciável de potássio para o ambiente fluvial no ponto de lavagem, como constatado nas coletas realizadas nos igarapés estudados. O íon potássio é o que mais está relacionado com as variáveis aqui monitoradas, pois além das correlações já citadas, nos experimentos o mesmo também apresentou correlação moderada e direta com os íons  $\text{Mg}^{2+}$  ( $r_s = 0,868$ ;  $p < 0,001$ ) e  $\text{Ca}^{2+}$  ( $r_s = 0,832$ ;  $p < 0,001$ ), no entanto o mesmo íon correlacionou-se inversamente com o  $\text{N-NO}_3^-$  ( $r_s = -0,783$ ;  $p < 0,001$ ).

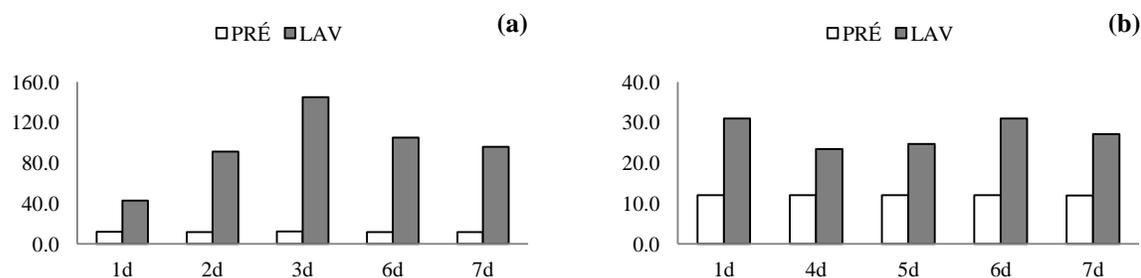
Figura 44 – Variação de  $\text{K}^+$  ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) em LAV em relação a PRÉ no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) em tanque.



Fonte: Do autor.

O magnésio (Figura 45) apresentou concentrações maiores em LAV em todos os tempos amostrados, assim como apresentou aumento de concentrações nos pontos de lavagem dos igarapés avaliados. Portanto, a mandioca também é uma fonte de magnésio no local onde ocorre seu processamento em pequenos igarapés. É provável que tal influência sobre os recursos hídricos esteja relacionada ao teor nutricional do produto processado. A matriz de correlação possibilitou verificar que o magnésio correlacionou-se fortemente com o íon cálcio ( $r_s = 0,905$ ;  $p < 0,001$ ), portanto ambos são sensíveis a qualquer variação e comportam-se de maneira similar durante a lavagem de mandioca nos pequenos igarapés monitorados. Por sua vez o magnésio correlacionou-se inversamente com o nitrato ( $r_s = -0,745$ ;  $p < 0,001$ ).

Figura 45 – Variação de  $Mg^{2+}$  ( $\mu eq L^{-1}$ ) em LAV em relação a PRÉ no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) em tanque.



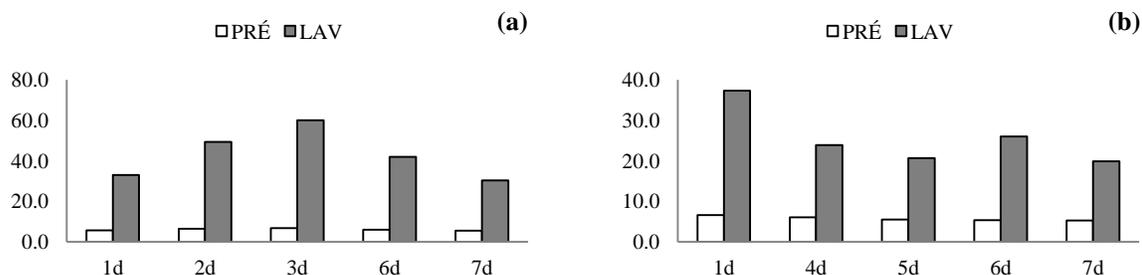
Fonte: Do autor.

Assim como os íons potássio e magnésio, o cálcio (Figura 46) excedeu suas concentrações em LAV em relação a PRÉ em todos os tempos amostrados, nos dois experimentos. As concentrações, no primeiro experimento, atingiram o nível máximo no terceiro dia de lavagem. Já no segundo experimento a maior concentração foi observada no segundo dia, e não foi possível um maior detalhamento das variações devido não terem sido realizadas coletas até o quarto dia. Tal comportamento indica que os maiores aportes desse cátion ocorrem nos primeiros dias da lavagem, o que configuram a mandioca como fonte de cálcio para o meio aquático onde ela é processada, como já fora observado no monitoramento dos igarapés deste estudo.

Assim sendo, as maiores concentrações de carbono orgânico dissolvido, potássio, magnésio e cálcio, enfatizam o observado nos igarapés monitorados, de que a mandioca colabora com importante aporte desses nutrientes para os recursos hídricos, pelo menos no ponto onde é

processada, promovendo também alterações físico-químicas neste ambiente com modestas elevações de pH e CE, assim como quedas relevantes do oxigênio dissolvido.

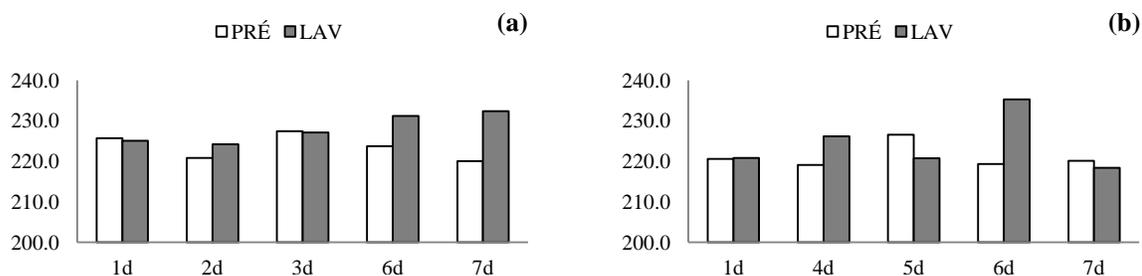
Figura 46 – Variação de  $\text{Ca}^{2+}$  ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) em LAV em relação a PRÉ no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) em tanque.



Fonte: Do autor.

Na avaliação dos demais cátions analisados, verificou-se que o sódio, embora tenha sido o cátion com maiores concentrações, não apresentou grandes variações em ambos experimentos. No entanto, apesar de em pequenas variações, as concentrações em LAV tenderam a ser superiores às concentrações em PRÉ, assim como observou-se pequeno aumento das concentrações ao longo do tempo de lavagem das raízes de mandioca (Figura 47). As baixas concentrações desse elemento também podem estar relacionadas à presença de estrutura, sobre o tanque, que impediu a entrada de água proveniente de precipitação; já que uma das fontes de sódio em ambientes aquáticos, na região, é a água de chuva. Da mesma maneira, as variações observadas das concentrações de sódio no monitoramento dos igarapés foram bem sutis.

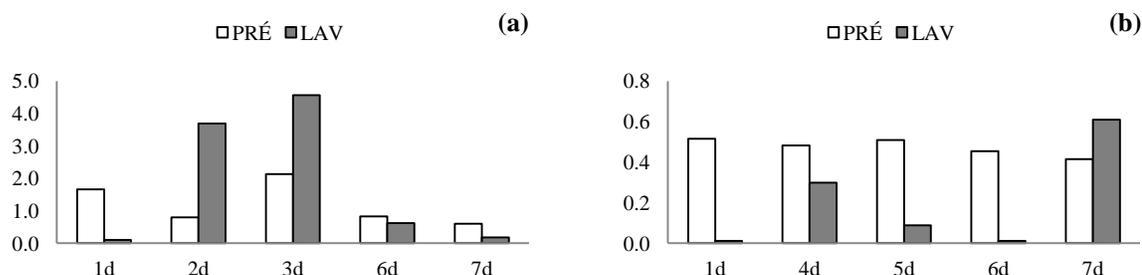
Figura 47 – Variação de  $\text{Na}^{+}$  ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) em LAV em relação a PRÉ no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) em tanque.



Fonte: Do autor.

O amônio (Figura 48) foi maior em LAV em duas ocasiões, no primeiro experimento, e em apenas uma no segundo (no sétimo dia). Os valores reduzidos das concentrações em LAV, com relação a PRÉ, nos demais dias, indicam um aumento no consumo de nitrogênio, na forma de amônio, por microorganismos presentes no ambiente, visto que trata-se de um nutriente muito necessário ao metabolismo dos microrganismos aquáticos (FIGUEIREDO, 2009). Devido a este fato, suas concentrações são altamente afetadas. Do mesmo modo pode-se interpretar as variações das concentrações observadas nos igarapés monitorados, ou seja, não há uma influência importante da mandioca nas concentrações medidas.

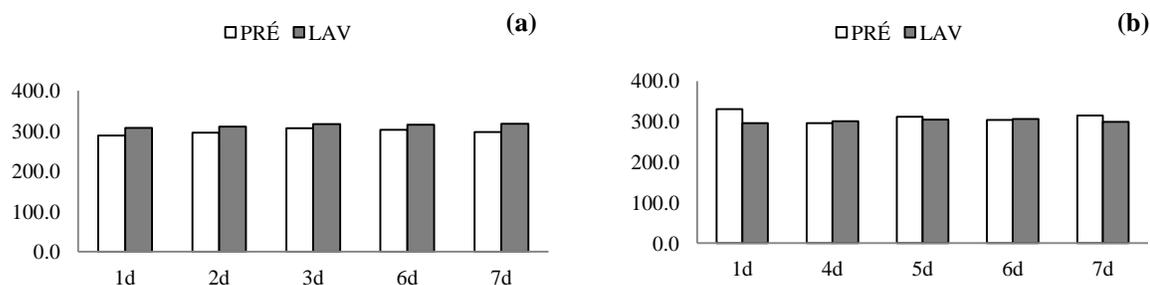
Figura 48 – Variação de  $N-NH_4^+$  ( $\mu eq L^{-1}$ ) em LAV em relação a PRÉ no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) em tanque.



Fonte: Do autor.

Na avaliação dos ânions, durante o monitoramento da lavagem de mandioca no tanque, verificou-se que o  $Cl^-$  (Figura 49), no primeiro experimento apresentou concentrações maiores em LAV em todas as datas amostradas, embora as diferenças tenham sido muito pequenas. No entanto, no segundo experimento, houve ocasiões em que as concentrações em LAV foram inferiores a PRÉ. Como também observou-se apenas um pequeno aumento nas concentrações de cloreto nos trechos de lavagem de mandioca nos igarapés monitorados, pode-se inferir que existe um pequeno efeito de aumento de concentração desse ânion devido a esta prática de processamento da mandioca, mas trata-se de uma pequena alteração na hidrogeoquímica fluvial.

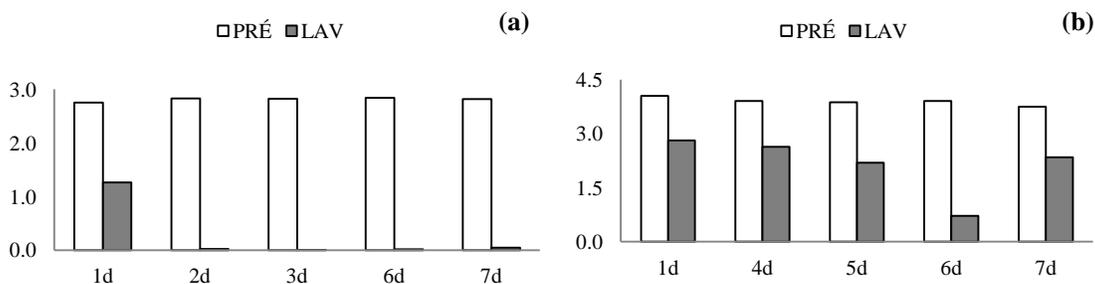
Figura 49 – Variação de  $\text{Cl}^-$  ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) em LAV em relação a PRÉ no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) em tanque.



Fonte: Do autor.

O nitrato (Figura 50) apresentou redução em suas concentrações conforme o aumento do tempo de lavagem de raízes de mandioca em ambos experimentos. No entanto, a redução foi mais brusca no primeiro, que apresentou intervalos de coleta mais curtos, enquanto que tal redução foi gradativa no segundo. Ao comparar-se o comportamento do nitrato nos experimentos com os obtidos nos igarapés monitorados, verificou-se uma característica similar, ou seja, diminuição das concentrações de nitrato em LAV. Assim como nos igarapés, sugere-se que o menor aporte deste ânion esteja relacionado ao aumento no processo de assimilação por produtores primários.

Figura 50 – Variação de  $\text{N-NO}_3^-$  ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) em LAV em relação a PRÉ no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) em tanque.

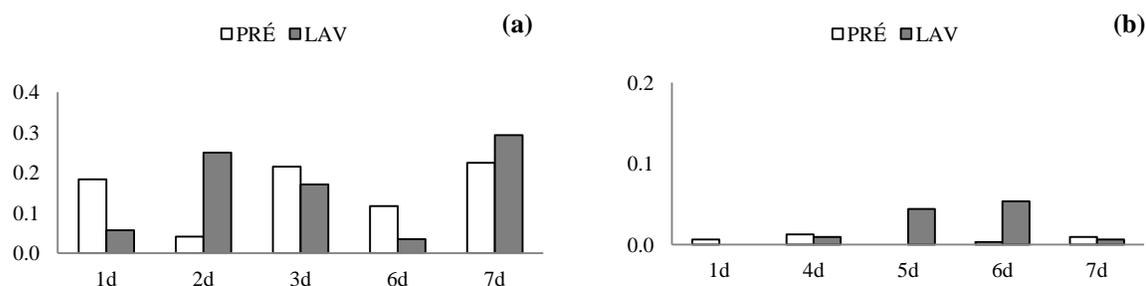


Fonte: Do autor.

Na Figura 51 é possível verificar que o fosfato não apresentou um padrão de variação temporal das concentrações, variando de forma irregular durante a realização dos dois experimentos no tanque. Essa característica indica que, por se tratar de um nutriente de baixa

concentração nestas águas, seu consumo por microorganismos presentes no ambiente aquático ou adsorção ao material particulado em suspensão, altera sobremaneira sua concentração; por este motivo, não se pode atribuir suas variações a um fator único como a lavagem da mandioca. Comportamento similar observado nos igarapés monitorados fortalece esta hipótese.

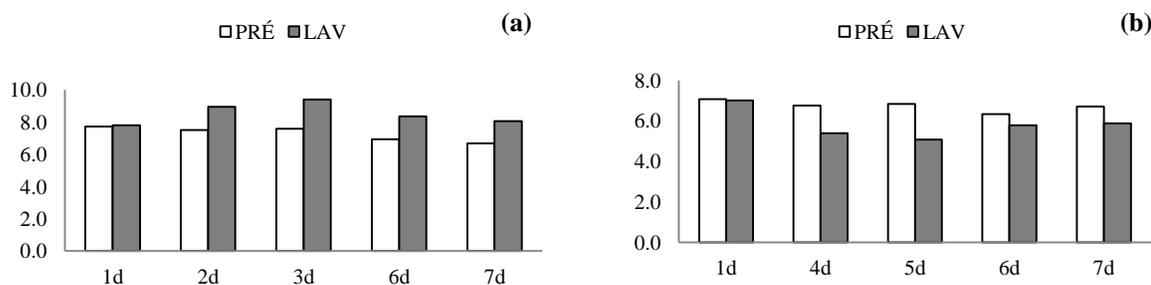
Figura 51 – Variação de  $P-PO_4^{3-}$  ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) em LAV em relação a PRÉ no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) em tanque.



Fonte: Do autor.

O sulfato (Figura 52) se apresentou de forma distinta quando se compararam os dois experimentos. No primeiro as concentrações em LAV foram superiores a PRÉ; no entanto, no segundo experimento, ocorreu o inverso. Este é outro parâmetro hidrogeoquímico que também não apresentou padrão de variação das concentrações nos igarapés monitorados, e que, portanto, qualquer alteração de suas concentrações não pode ser atribuída à lavagem das raízes de mandioca.

Figura 52 – Variação de  $SO_4^{2-}$  ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) em LAV em relação a PRÉ no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) em tanque.



Fonte: Do autor.

A análise de cluster (Figura 53) realizada para os experimentos de mandioca em tanque evidenciaram o observado durante a interpretação das figuras dos parâmetros avaliados. Verificou-se, no cluster, que todos os tempos amostrados em PRÉ agruparam-se, indicando uma hidroquímica similar, pois não observou-se uma distância euclidiana acentuada. No entanto, PRÉ não se agrupou com LAV, indicando diferença na hidroquímica entre PRÉ e LAV, e apresentando maior alteração em LAV com três dias de lavagem, revelada pela maior distância euclidiana da análise de cluster. Foram formados vários grupos, conforme a semelhança entre os tempos de lavagem, configurando uma maior variabilidade das concentrações em LAV. A análise de cluster, como um todo, corrobora a hipótese de alteração na hidrobiogeoquímica do ambiente fluvial como resposta à atividade de lavagem de mandioca.

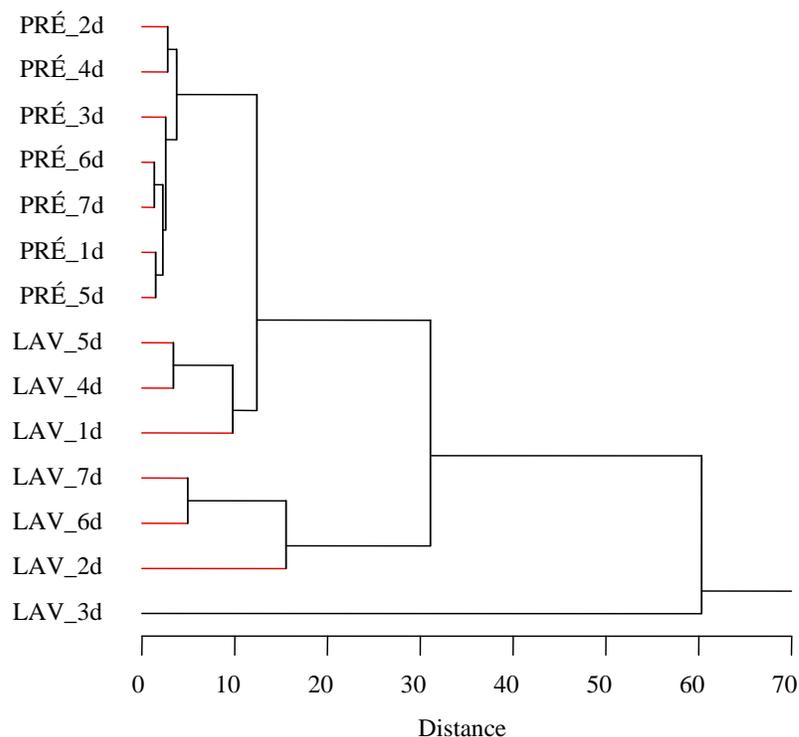
Favaro et al. (2008), por sua vez, encontrou altos teores de nutrientes em mandioca com 12 meses de idade, e discutiu as diferenças nutricionais que podem ser encontradas de acordo com o tipo e a idade do produto. Pode-se dizer também que a composição química da mandioca é variável e depende de fatores como a idade, ambiente em que foi produzida e, principalmente, fatores genéticos associados (CENI et al., 2009; CEREDA, 1994; DANSO et al., 2001; MARQUES; MAGGIONE, 2011).

Destaca-se que a influência dos fatores citados decorre de processos como o crescimento, acúmulo e mobilização de substâncias nas raízes da mandioca, interferindo diretamente na composição do produto. Estas circunstâncias podem explicar as diferenças entre os igarapés monitorados e experimentos realizados em tanque, visto que os produtos utilizados foram coletados em períodos distintos e não se teve o controle das áreas onde a mandioca foi cultivada, bem como não foram contempladas, neste estudo, análises de teores nutricionais da mandioca.

Uma vez que a mandioca libera grandes quantidades de nutrientes para o meio aquático, durante seu processamento, a maneira ideal de realizar sua lavagem seria a utilização de tanques. Neste caso o processamento seria mais rápido, durando cerca de três dias, e o efluente da lavagem poderia ser utilizado como fonte de nutrientes para cultivos agrícolas, pois vários estudos sugerem a viabilidade de reutilização de resíduos da mandioca como adubo orgânico/biofertilizante como alternativa (CAMILI; CABELLO, 2008; CARDOSO, 2005; PONTE, 2000) para diferentes tipos de solos (PINHO, 2007; SILVA et al., 2003). Entretanto,

recomenda-se a realização de estudos específicos para avaliar a viabilidade e sustentabilidade desta técnica na região estudada.

Figura 53 – Análise de Cluster para os experimentos de lavagem de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz).



Fonte: Do autor.

## 4.2 LAVAGEM DE PLANTAS DE MALVA (*Urena lobata* L.)

### 4.2.1 Avaliação dos efeitos da lavagem de plantas de malva na hidrogeoquímica de igarapés

Os valores de média e erro padrão em PRÉ, LAV e PÓS observados para os parâmetros avaliados durante o monitoramento da lavagem de plantas de malva nos igarapés Escura (ESC), Poraquê (POR), “sem nome” (TRIB) (tributário do Igarapé Peripindeua), Areia

(ARE) e Cajuaçu (CAJ) estão expressos na Tabela 4. Imagens dos igarapés monitorados quanto à lavagem de plantas de malva podem ser visualizadas nos apêndices G a K.

Tabela 4 – Valores médios e erros padrão ( $n$  variando de 1 a 3) dos parâmetros avaliados nos igarapés monitorados em relação à lavagem de plantas de malva (*Urena lobata* L.).

PARÂMETRO	ESC (n=3)			POR (n=3)			TRIB (n=2)			ARE (n=1)			CAJ (n=1)		
	PRÉ	LAV	PÓS	PRÉ	LAV	PÓS	PRÉ	LAV	PÓS	PRÉ	LAV	PÓS	PRÉ	LAV	PÓS
<b>pH</b>	5,33 (0,24)	5,28 (0,15)	5,18 (0,14)	5,06 (0,22)	5,07 (0,25)	5,20 (0,28)	4,67 (0,09)	4,70 (0,01)	4,75 (0,18)	5,06	4,99	4,99	5,68	5,71	5,57
<b>H<sup>+</sup> (µM)</b>	5,89 (2,17)	5,92 (2,03)	7,34 (2,47)	10,67 (3,87)	11,80 (6,51)	8,60 (3,86)	21,74 (4,44)	19,87 (0,50)	19,31 (7,48)	8,73	10,35	10,19	2,09	1,95	2,72
<b>OD (mg L<sup>-1</sup>)</b>	4,32 (0,13)	3,34 (0,49)	4,43 (0,25)	3,75 (0,14)	1,82 (0,38)	2,39 (0,54)	2,50 (0,30)	3,20 (1,49)	2,47 (0,07)	6,16	6,15	6,49	4,23	2,22	3,66
<b>OD (% sat)</b>	54,17 (1,44)	41,37 (6,24)	55,27 (3,32)	46,80 (1,16)	23,00 (4,62)	27,43 (5,67)	28,35 (3,05)	44,90 (18,00)	29,50 (0,60)	74,90	74,70	76,20	51,80	30,60	44,70
<b>CE (µS)</b>	24,37 (1,53)	25,47 (1,62)	24,63 (1,16)	23,60 (1,35)	25,77 (0,93)	26,03 (0,59)	23,90 (1,50)	26,40 (1,90)	26,60 (0,40)	20,70	20,50	20,80	35,40	41,30	36,20
<b>TURBIDEZ (FTU)</b>	3,93 (0,52)	3,92 (0,08)	5,82 (1,38)	1,71 (1,17)	1,71 (1,23)	2,11 (1,34)	1,47 (0,93)	3,52 (0,67)	5,17 (1,07)	5,45	5,40	4,55	6,00	10,12	7,69
<b>COD (mg L<sup>-1</sup>)</b>	1,88 (0,13)	1,96 (0,15)	2,03 (0,12)	2,02 (0,07)	2,25 (0,16)	2,62 (0,12)	2,76 (0,62)	2,80 (0,16)	2,69 (0,14)	1,72	1,63	1,67	2,27	2,54	2,33
<b>CID (mg L<sup>-1</sup>)</b>	1,09 (0,42)	1,10 (0,44)	1,23 (0,51)	2,05 (0,69)	2,27 (0,72)	2,27 (0,76)	2,46 (0,10)	2,92 (0,14)	2,75 (0,28)	1,86	1,77	1,78	2,81	3,30	3,04
<b>NT (mg L<sup>-1</sup>)</b>	0,15 (0,01)	0,17 (0,01)	0,19 (0,01)	0,20 (0,01)	0,18 (0,02)	0,24 (0,04)	0,21 (0,04)	0,23 (0,05)	0,20 (0,01)	0,11	0,20	0,16	0,23	0,12	0,20
<b>NOD (mg L<sup>-1</sup>)</b>	<0,01 (0,00)	0,09 (0,04)	0,06 (0,03)	0,06 (0,05)	<0,01 (0,00)	0,07 (0,00)	0,03 (0,02)	0,07 (0,03)	0,10 (0,04)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
<b>Ca<sup>2+</sup> (µeq L<sup>-1</sup>)</b>	37,40 (2,04)	40,41 (2,21)	40,31 (2,43)	82,18 (4,47)	86,14 (2,19)	90,36 (1,04)	36,08 (3,98)	48,01 (3,48)	47,70 (0,76)	29,75	29,86	32,91	158,64	170,95	159,48
<b>Mg<sup>2+</sup> (µeq L<sup>-1</sup>)</b>	37,90 (0,79)	40,89 (1,04)	40,97 (0,83)	31,87 (2,64)	37,24 (2,73)	40,93 (1,40)	37,74 (3,96)	42,69 (2,16)	44,66 (3,12)	32,98	32,59	33,67	51,76	63,98	53,43
<b>Na<sup>+</sup> (µeq L<sup>-1</sup>)</b>	94,93 (2,08)	95,14 (1,54)	103,33 (7,37)	79,05 (5,79)	75,18 (6,75)	81,25 (6,43)	95,77 (16,90)	85,33 (3,26)	83,88 (0,40)	90,94	87,66	94,01	83,05	77,97	81,90
<b>K<sup>+</sup> (µeq L<sup>-1</sup>)</b>	18,58 (1,43)	21,45 (0,11)	20,66 (1,22)	6,66 (1,08)	8,70 (1,35)	9,37 (1,19)	20,12 (8,57)	19,88 (5,15)	20,17 (4,14)	9,14	8,58	8,89	19,01	31,52	30,22
<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (µeq L<sup>-1</sup>)</b>	0,60 (0,56)	0,94 (0,45)	0,20 (0,15)	0,55 (0,52)	0,21 (0,11)	0,13 (0,10)	2,39 (1,75)	0,59 (0,03)	0,75 (0,24)	0,03	0,06	0,08	0,01	0,06	2,05
<b>Cl<sup>-</sup> (µeq L<sup>-1</sup>)</b>	90,02 (5,24)	92,02 (5,04)	91,42 (4,18)	71,82 (3,62)	75,76 (3,09)	74,76 (3,91)	85,99 (2,71)	80,31 (0,30)	80,43 (0,40)	88,13	56,85	89,03	99,70	101,20	104,96
<b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (µeq L<sup>-1</sup>)</b>	0,75 (0,01)	0,81 (0,10)	0,60 (0,05)	0,84 (0,05)	1,00 (0,32)	0,52 (0,24)	0,68 (0,01)	0,31 (0,19)	0,09 (0,05)	0,94	0,75	1,07	0,57	0,42	0,73
<b>P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (µeq L<sup>-1</sup>)</b>	0,13 (0,09)	0,08 (0,05)	0,06 (0,02)	0,48 (0,26)	1,44 (0,91)	0,38 (0,37)	0,05 (0,02)	0,16 (0,13)	0,08 (0,02)	0,05	0,04	<0,01	0,04	0,02	<0,01
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (µeq L<sup>-1</sup>)</b>	10,20 (1,19)	9,86 (0,94)	10,11 (0,83)	16,72 (1,10)	17,50 (1,21)	17,09 (1,46)	11,41 (2,38)	10,08 (0,89)	9,55 (0,70)	9,66	6,53	9,82	18,81	17,96	17,84

Fonte: Do autor.

Nos igarapés monitorados quanto à lavagem de plantas de malva, foi realizado um número de amostragem muito pequeno, com  $n$  variando de 1 a 3. Isto se deve ao fato de que a periodicidade da campanha de campo foi mensal e o ciclo do manejo da malva dura cerca de três a quatro meses, entre a colheita, lavagem e secagem (imagens do processo de desfibramento e

secagem de malva podem ser visualizadas nos apêndices M e N, respectivamente). Dessa maneira, no caso do presente trabalho, foram coletadas amostras de água para monitoramento da lavagem de malva nos meses de julho, agosto e setembro de 2010.

Devido às campanhas mensais e ao curto ciclo de processamento de malva (*Urena lobata* L.), nos igarapés ESC e POR foram coletadas amostras em três ocasiões, no igarapé “sem nome” (TRIB) foram coletadas amostras em duas datas; já nos igarapés ARE e CAJ a amostragem foi realizada em apenas uma data para cada igarapé, cujos valores apresentados na Tabela 4 correspondem aos valores absolutos, medidos em campo, e não a valores de média e erro padrão.

Observando os dados dos parâmetros avaliados nesta pesquisa, verificou-se que cada igarapé monitorado apresentou variações diversificadas. No ESC foram encontrados o menor valor médio de CID e maior concentração média para  $\text{Na}^+$  e  $\text{N-NH}_4^+$ . Os menores valores médios de OD, turbidez,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  foram encontrados no igarapé POR; no entanto, neste mesmo ambiente foram observadas as maiores concentrações médias de NT e  $\text{P-PO}_4^{3-}$ .

No TRIB, observou-se o menor valor médio para os componentes pH e  $\text{N-NO}_3^-$ ; já o íon  $\text{H}^+$ , o COD e NOD, foram observados em maiores concentrações médias neste ambiente. No igarapé ARE foi onde observou-se menores valores de CE, COD,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{P-PO}_4^{3-}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ , quando comparado com os demais igarapés monitorados; no entanto, também se observou as maiores concentrações médias de OD e  $\text{N-NO}_3^-$ .

O menor valor do íon  $\text{H}^+$  foi identificado no igarapé CAJ. No entanto, este mesmo igarapé apresentou concentrações maiores, excedendo os demais igarapés monitorados, para os componentes pH, CE, turbidez, CID,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ .

Quando se analisam os dados de todos os igarapés monitorados, verifica-se que os valores de pH variaram de 4,67 a 5,71, correspondendo à variação de 1,95 a 21,74  $\mu\text{M}$  do íon  $\text{H}^+$ . Mesmo apresentando valores mais elevados de pH, quando comparado aos dados observados nos igarapés monitorados em relação à lavagem de raízes de mandioca, ainda assim encontram-se em discordância aos padrões de qualidade de água definidos pela Resolução nº 357/2005 do CONAMA, a qual falha por não considerar as características peculiares das bacias amazônicas, como comentado anteriormente.

Por sua vez a faixa de variação das médias de OD foi de 1,42 a 6,49  $\text{mg L}^{-1}$  (ou de 23,00 a 76,20 % de saturação). Os maiores valores de OD concentraram-se no ARE, estando

apenas este em concordância com os padrões de qualidade de água, definidos na Resolução nº 357/2005 do CONAMA, que é de  $6,00 \text{ mg L}^{-1}$ .

As médias de condutividade variaram de 20,50 a  $41,30 \mu\text{S}$ , estando os maiores valores associados à maior disponibilidade de íons dissolvidos no ambiente aquático. Observa-se que tal afirmativa é reforçada quando se avaliam os dados de cátions e ânions dissolvidos.

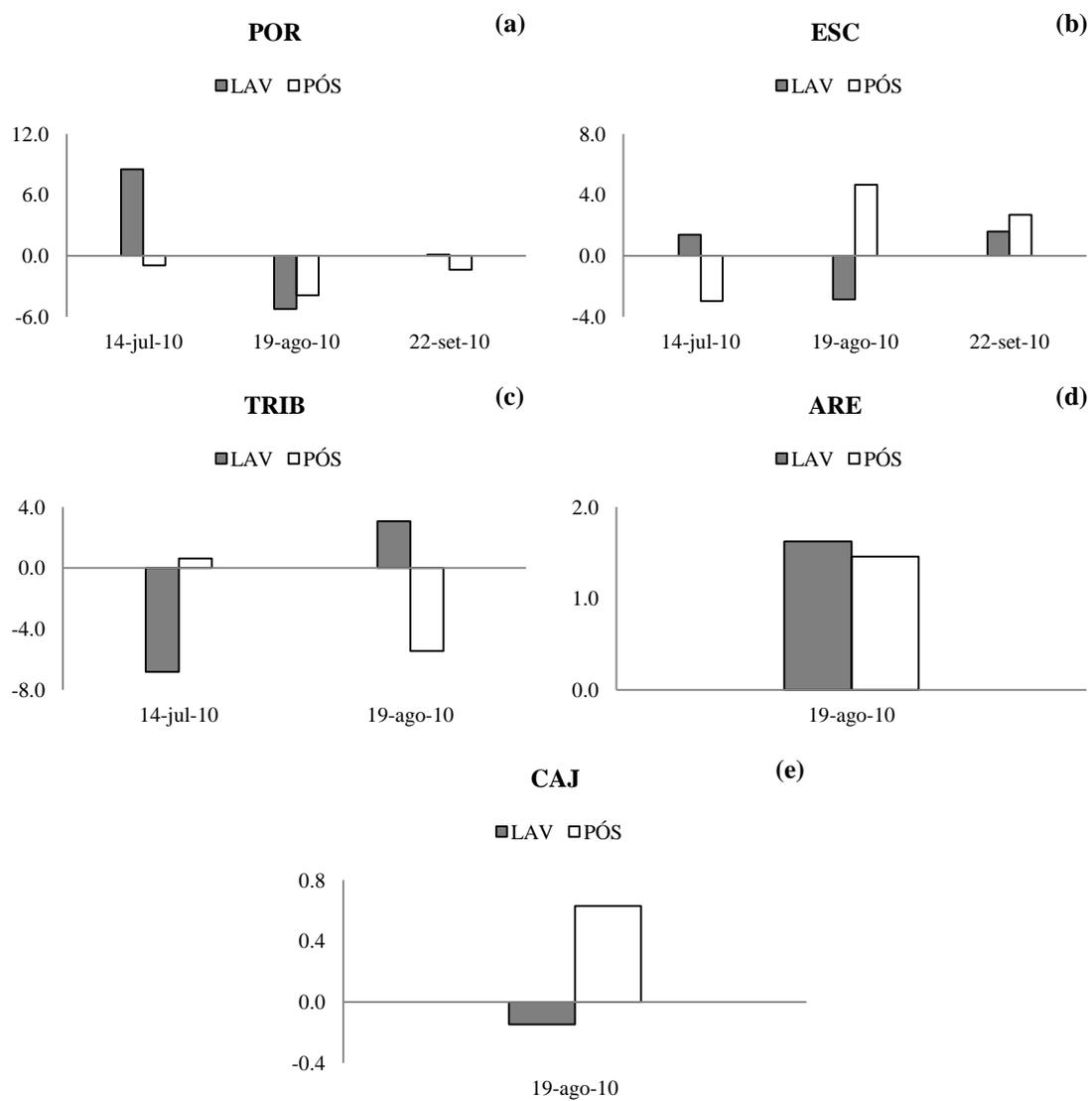
As médias de turbidez variaram de 1,71 a 10,12 FTU. As concentrações médias de COD variaram de 1,63 a  $2,80 \text{ mg L}^{-1}$ . Já o CID apresentou concentrações médias variando de 1,09 e  $3,30 \text{ mg L}^{-1}$ . As concentrações médias de NT apresentaram uma pequena variação de 0,11 a  $0,24 \text{ mg L}^{-1}$ , assim como NOD que variou de 0,01 a  $0,10 \text{ mg L}^{-1}$ , em valores médios de concentração.

Observando a variação das concentrações das amostras coletadas em LAV e PÓS, com relação às amostras coletadas em PRÉ, pode-se fazer uma avaliação mais detalhada e precisa dos possíveis efeitos da lavagem da malva sobre a biogeoquímica fluvial. A seguir realiza-se uma comparação das referidas amostragens para cada parâmetro medido neste estudo. Destaca-se que os valores apresentados nos gráficos das Figuras 54 a 68 correspondem à diferença dos valores das concentrações encontradas em LAV e PÓS em relação às observadas em PRÉ.

Como pode ser observado na Figura 54, o íon  $\text{H}^+$  apresentou um padrão de variação complexo, pois em determinadas ocasiões, em todos os igarapés monitorados, ocorreu aumento de concentração com relação a PRÉ (caracterizado por variação positiva nos gráficos) e, em outras uma redução de concentração. A maior disponibilidade de íons  $\text{H}^+$  configura aumento no teor de acidez no ambiente em determinadas datas, provavelmente provocado pelo aumento nos teores de ácidos orgânicos derivados da malva.

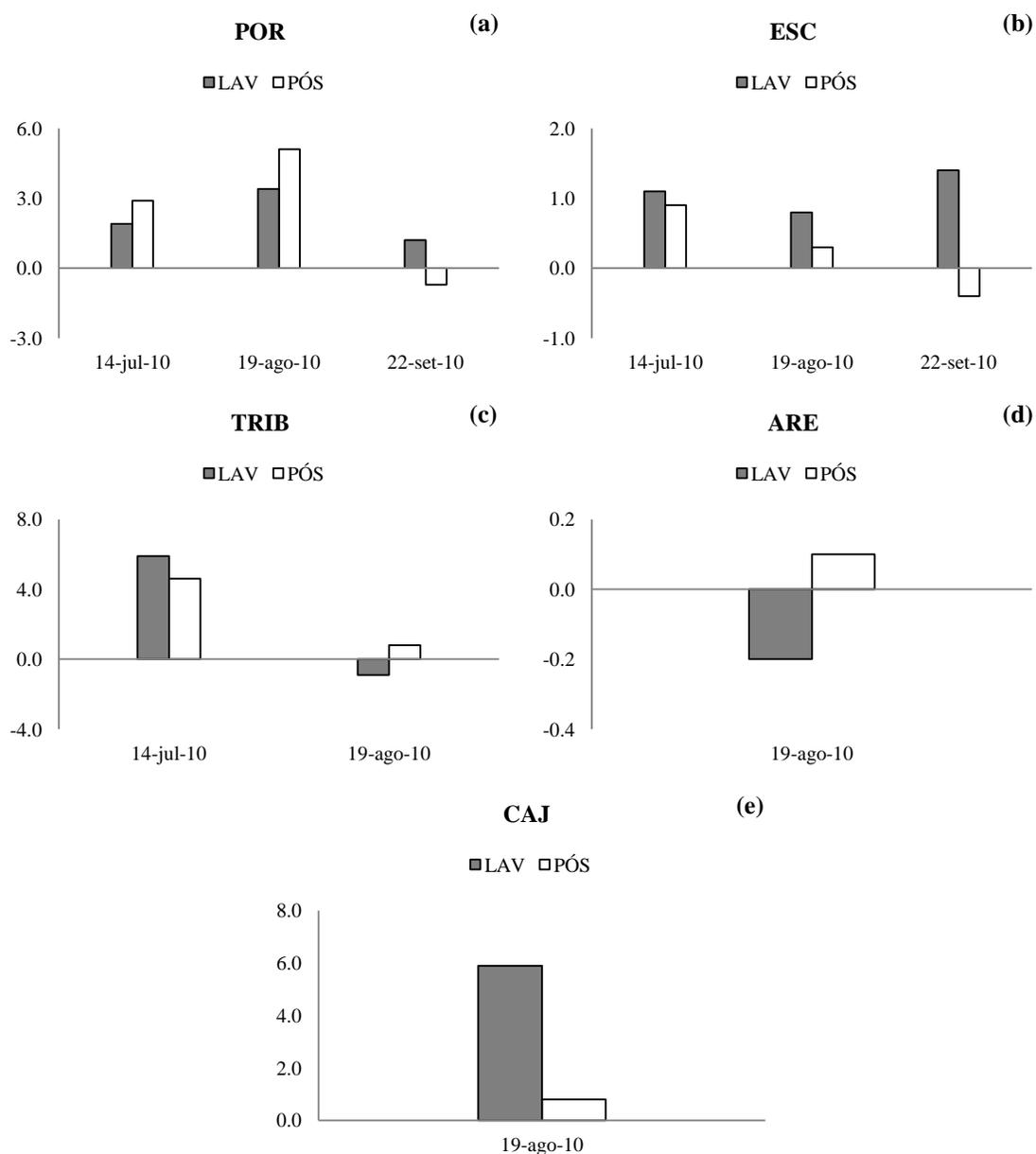
A condutividade elétrica (Figura 55) apresentou, em todos os igarapés monitorados, maiores concentrações em LAV com relação a PRÉ na maioria das datas de amostragem. Observa-se também que as alterações em LAV tenderam a permanecer nas medidas realizadas em PÓS. Além disso, em duas datas, no igarapé POR, os valores de CE em PÓS chegaram até a exceder os observados em LAV. Tal efeito provavelmente foi causado pela maior disponibilidade de restos vegetais, provenientes da zona ripária, depositados no leito do igarapé em PÓS. Este material alóctone, em processo de mineralização, pela ação de microorganismos, pode ser uma fonte de íons dissolvidos, contribuindo para o aumento da condutividade neste ponto de coleta.

Figura 54 – Variação do íon  $H^+$  ( $\mu M$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Poraquê - POR; (b) Igarapé Escura - ESC; (c) Igarapé Tributário - TRIB; (d) Igarapé Areia - ARE; e (e) Igarapé Cajuaçu - CAJ.



Fonte: Do autor.

Figura 55 – Variação de CE ( $\mu\text{S}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Poraquê - POR; (b) Igarapé Escura - ESC; (c) Igarapé Tributário - TRIB; (d) Igarapé Areia - ARE; e (e) Igarapé Cajuçu - CAJ.

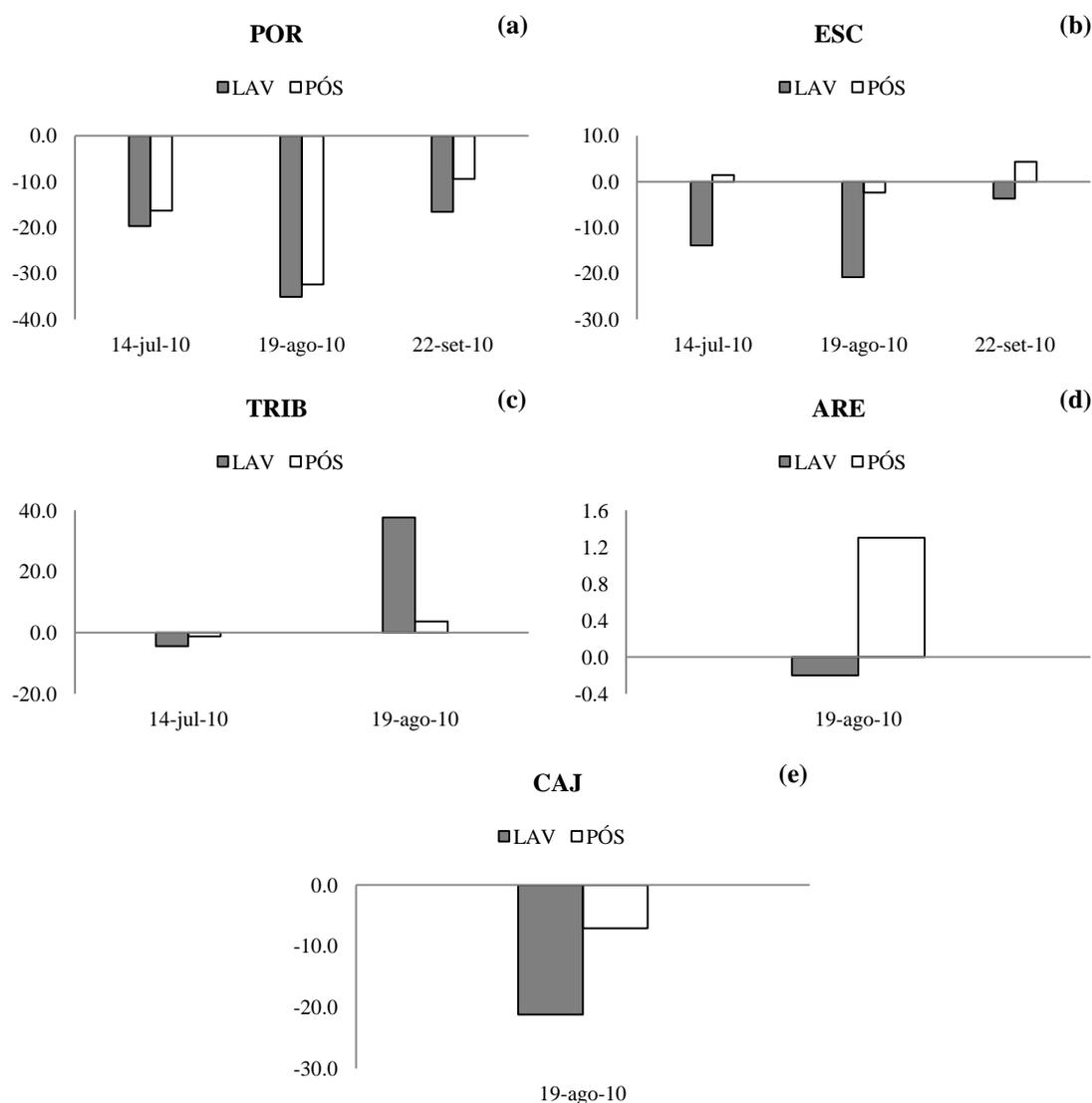


Fonte: Do autor.

As concentrações do OD (% sat) foram menores em LAV em relação a PRÉ, na grande maioria das datas, em todos os igarapés monitorados (Figura 56). Tal configuração pode estar relacionada ao maior consumo do oxigênio, disponível no ambiente aquático, demandado para a realização de processos metabólicos de decomposição da matéria orgânica derivada da malva. Essa redução foi mais intensa no igarapé POR, inclusive com expressiva permanência da

alteração em PÓS. Sugere-se que esses menores valores de OD foram ocasionados pela presença de material alóctone no leito desse trecho do igarapé, como observado em campo, intensificando o processo de decomposição aeróbica e o conseqüente consumo do oxigênio.

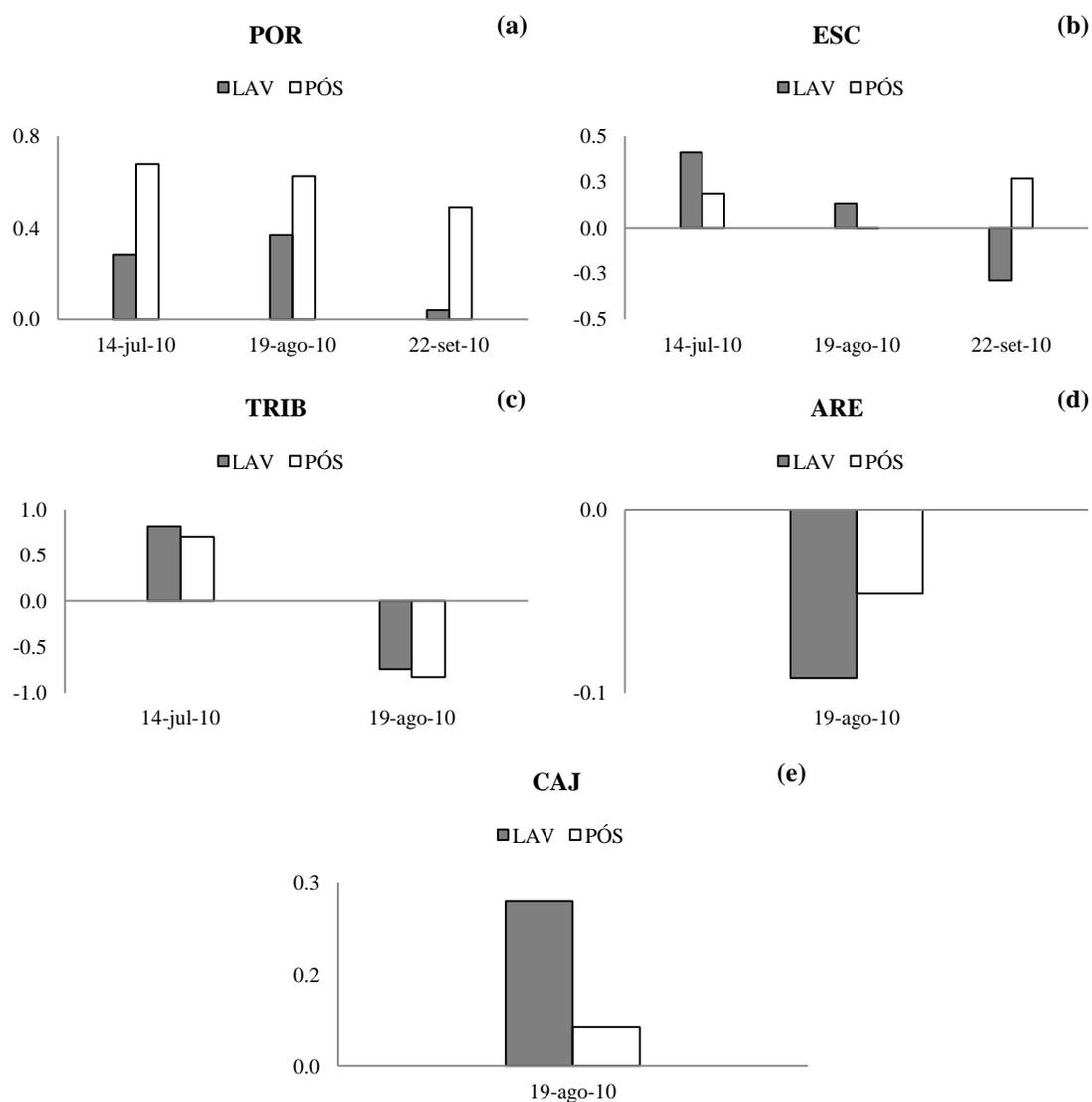
Figura 56 – Variação de OD (% sat) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Poraquê - POR; (b) Igarapé Escura - ESC; (c) Igarapé Tributário - TRIB; (d) Igarapé Areia - ARE; e (e) Igarapé Cajuçu - CAJ.



Fonte: Do autor.

As concentrações de COD (Figura 57) variaram positivamente em LAV, ainda que em pequena proporção, na maioria das datas e igarapés monitorados. Em determinadas ocasiões a alteração se prolongou por pelo menos até dez metros (referente a PÓS) após o depósito de plantas de malva. No igarapé POR (Figura 57a) as concentrações de COD em PÓS foram superiores a LAV, comportamento justificado pela maior presença de matéria orgânica observada, em PÓS, nas campanhas de campo.

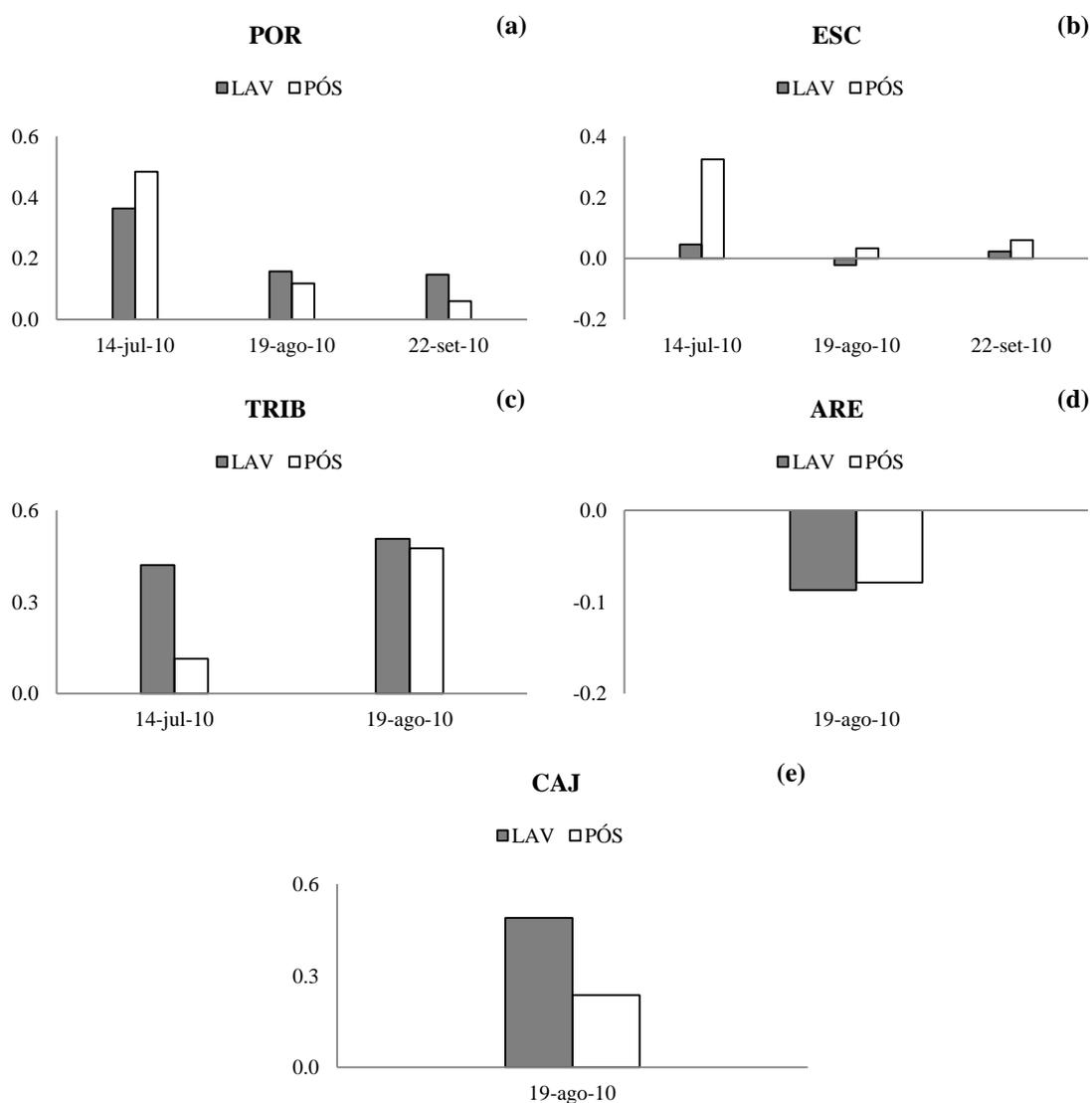
Figura 57 – Variação de COD ( $\text{mg L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Poraquê - POR; (b) Igarapé Escura - ESC; (c) Igarapé Tributário - TRIB; (d) Igarapé Areia - ARE; e (e) Igarapé Cajuçu - CAJ.



Fonte: Do autor.

As concentrações de CID ( $\text{mg L}^{-1}$ ) também tenderam a apresentar incremento em LAV (Figura 58), mesmo que em pequenas proporções. Tal aumento de concentração permanece em PÓS na maioria das datas de coleta. A maior ou menor disponibilidade de CID em ambientes naturais está associada ao intemperismo de solos e rochas adjacentes, às reações de mineralização da matéria orgânica, bem como aos processos respiratórios.

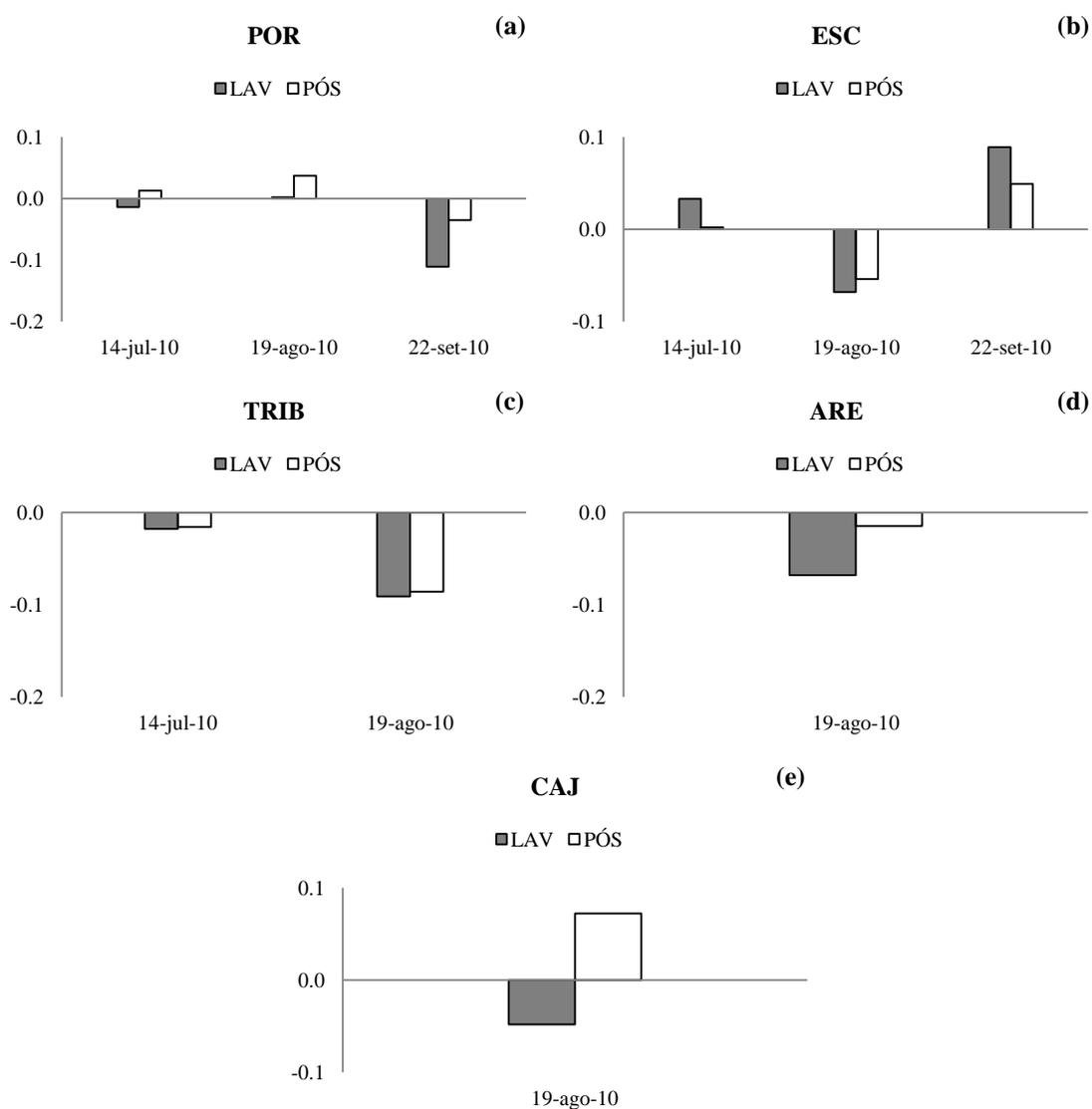
Figura 58 – Variação de CID ( $\text{mg L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Poraquê - POR; (b) Igarapé Escura - ESC; (c) Igarapé Tributário - TRIB; (d) Igarapé Areia - ARE; e (e) Igarapé Cajuauçu - CAJ.



Fonte: Do autor.

Por outro lado, as concentrações de NT ( $\text{mg L}^{-1}$ ) apresentaram queda em LAV na maioria das datas, em todos os igarapés monitorados (Figura 59). Tal característica configura possível aumento no consumo de nitrogênio em LAV. No entanto, o NT apresentou um padrão de variação complexo, pois em determinadas ocasiões variou positivamente em LAV em dois igarapés. Destaca-se que as variações de NT relacionam-se a concentrações bem baixas e que a dinâmica de nitrogênio é muito complexa, uma vez que possui inclusive etapas que incluem perdas gasosas e grande influência da população microbiana.

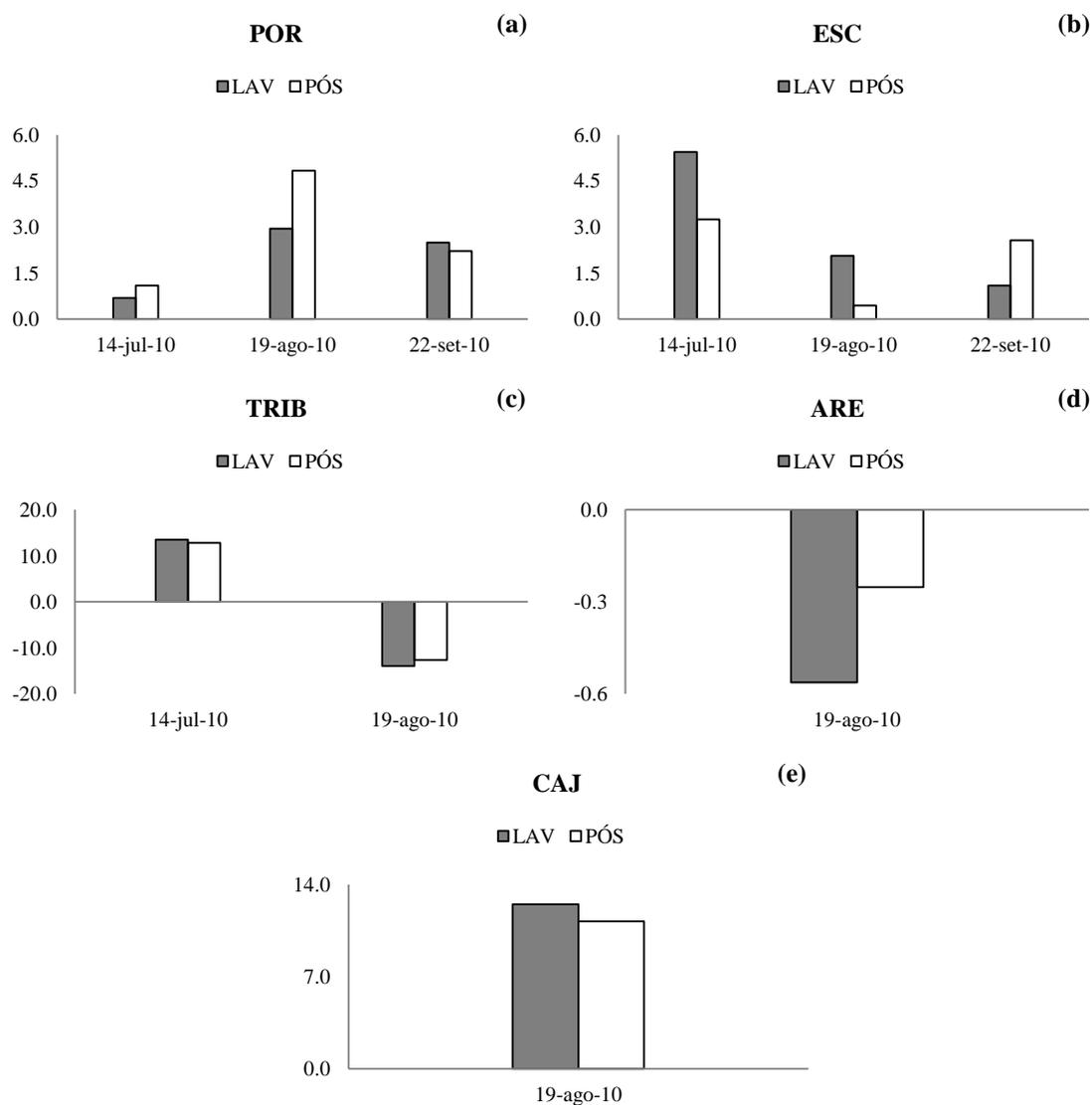
Figura 59 – Variação de NT ( $\text{mg L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Poraquê - POR; (b) Igarapé Escura - ESC; (c) Igarapé Tributário - TRIB; (d) Igarapé Areia - ARE; e (e) Igarapé Cajuaçu - CAJ.



Fonte: Do autor.

Na avaliação dos cátions dissolvidos conservativos (cálcio, magnésio, potássio e sódio) foi observado aumento nas concentrações de  $K^+$  em LAV na maioria dos igarapés (Figura 60), sendo a exceção do ARE, que apresentou variação negativa, indicando o maior consumo deste nutriente em LAV. As alterações observadas em LAV sofreram incremento em PÓS no Igarapé Poraquê, devido este ambiente apresentar grandes quantidades de matéria orgânica em estado de decomposição em PÓS, propiciando o incremento. O  $K^+$  apresentou maior correlação com o íon  $Cl^-$  ( $r_s = 0,749$ ;  $p < 0,001$ ).

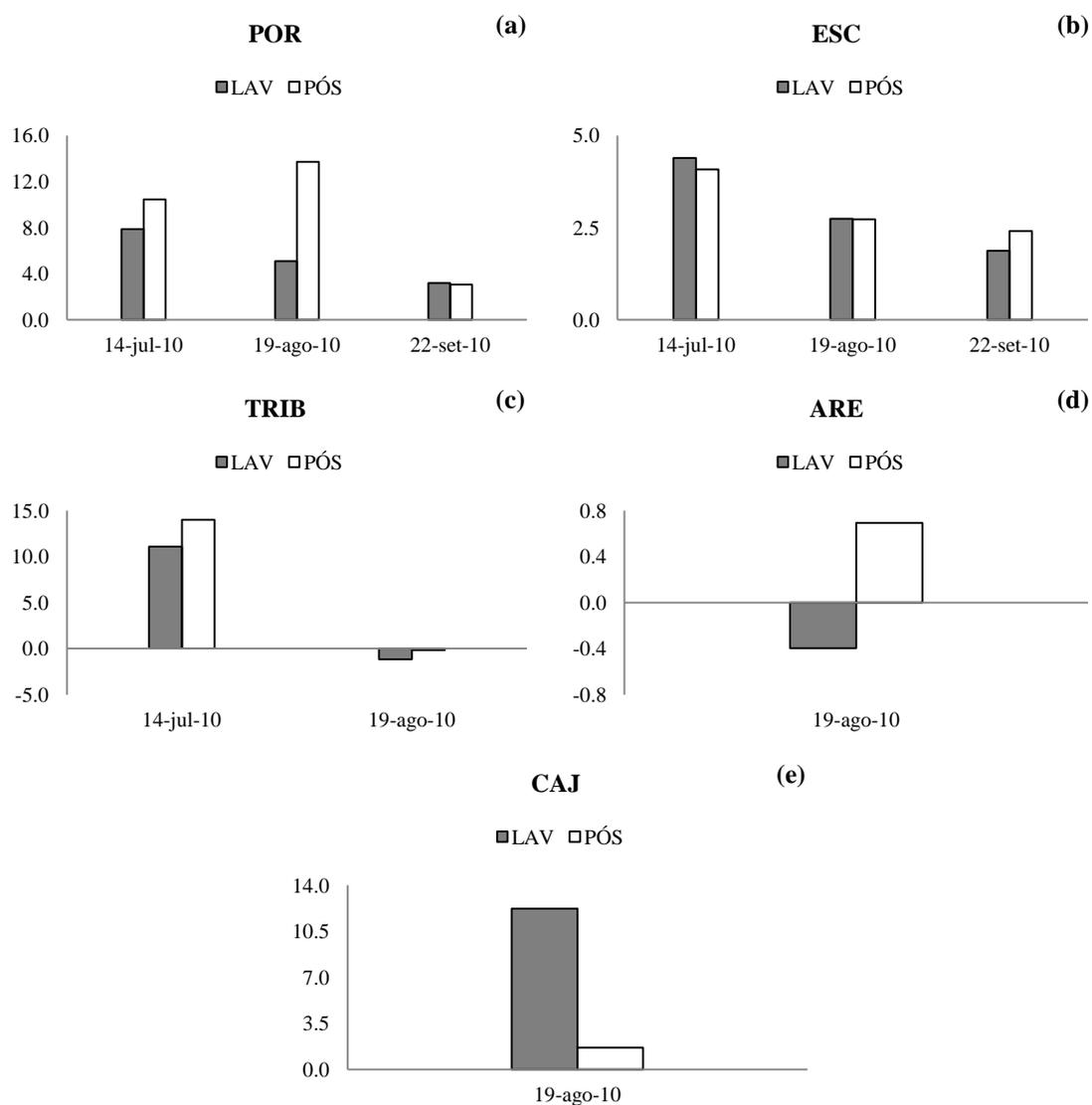
Figura 60 – Variação de  $K^+$  ( $\mu eq L^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Poraquê - POR; (b) Igarapé Escura - ESC; (c) Igarapé Tributário - TRIB; (d) Igarapé Areia - ARE; e (e) Igarapé Cajuacu - CAJ.



Fonte: Do autor.

Ao avaliar o íon  $Mg^{2+}$  verificou-se comportamento similar ao  $K^+$ , variando positivamente em LAV e também em PÓS na maioria das datas amostradas nos igarapés monitorados (Figura 61).

Figura 61 – Variação de  $Mg^{2+}$  ( $\mu eq L^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Poraquê - POR; (b) Igarapé Escura - ESC; (c) Igarapé Tributário - TRIB; (d) Igarapé Areia - ARE; e (e) Igarapé Cajuáçu - CAJ.



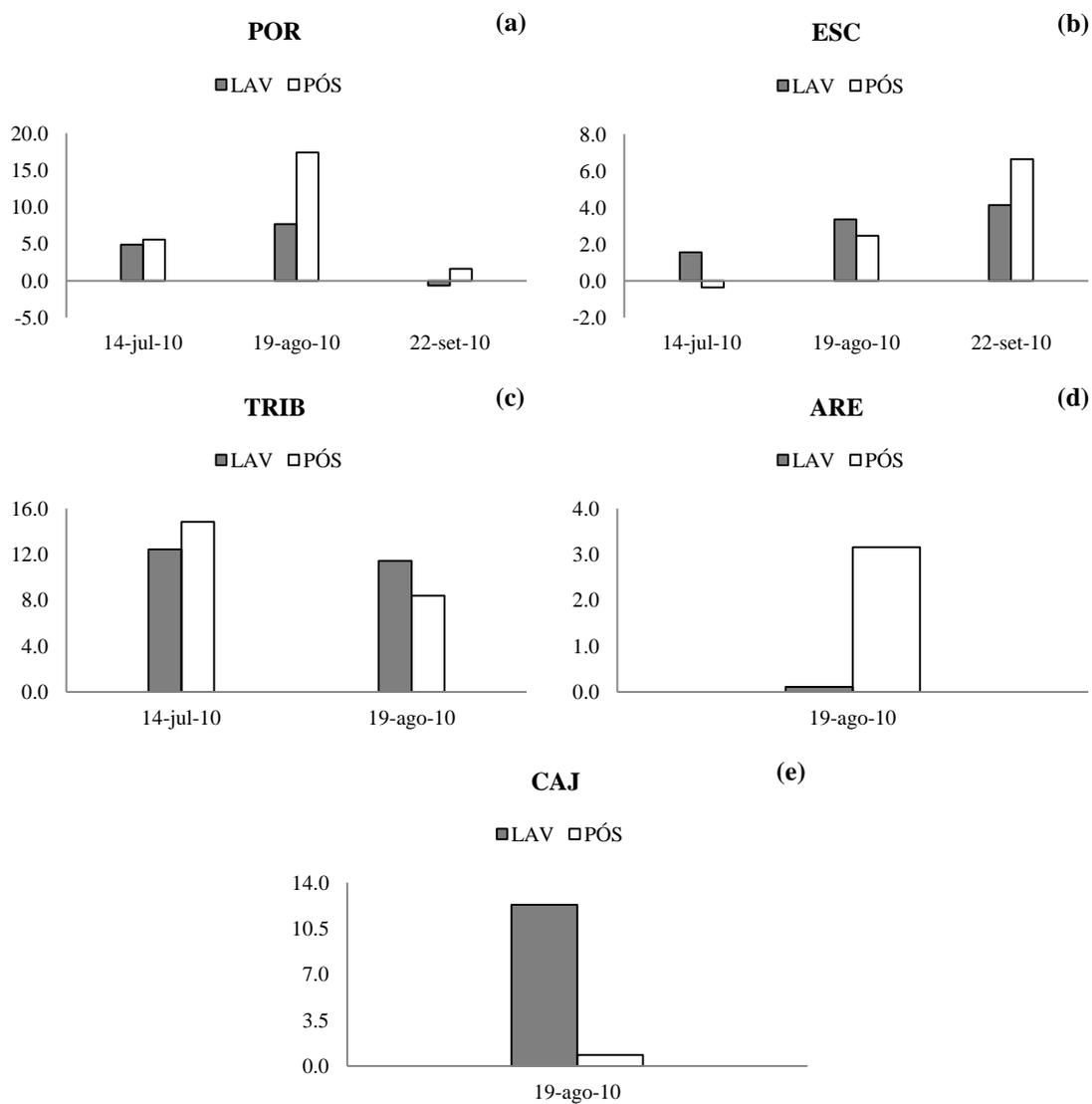
Fonte: Do autor.

Para o  $\text{Ca}^{2+}$  (Figura 62) também foram observadas maiores concentrações em LAV, com relação a PRÉ, na maioria das datas em todos os igarapés monitorados. Em determinadas ocasiões esta alteração, provocada em LAV, permanece em PÓS. Tal fato indica contribuições para as concentrações desses cátions (potássio, magnésio e cálcio) promovidas pela lavagem da malva nesses pequenos igarapés, que podem ser observadas além de dez metros a jusante do ponto de lavagem.

Souza Filho et al. (2000), em estudo experimental sobre a capacidade de absorção de nutrientes da planta de malva em diferentes faixas de pH, constataram que este vegetal possui habilidade de absorver maiores concentrações de potássio, cálcio e magnésio, na parte aérea, quando se desenvolve em solos com caráter ácido. Tal afirmativa pode explicar as altas concentrações destes nutrientes em LAV na maioria das datas amostradas. No entanto o  $\text{Ca}^{2+}$  também está correlacionado diretamente com o íon  $\text{SO}_4^{2-}$  ( $r_s = 0,704$ ;  $p < 0,001$ ), como observado na matriz de correlação de Spearman (apêndice C).

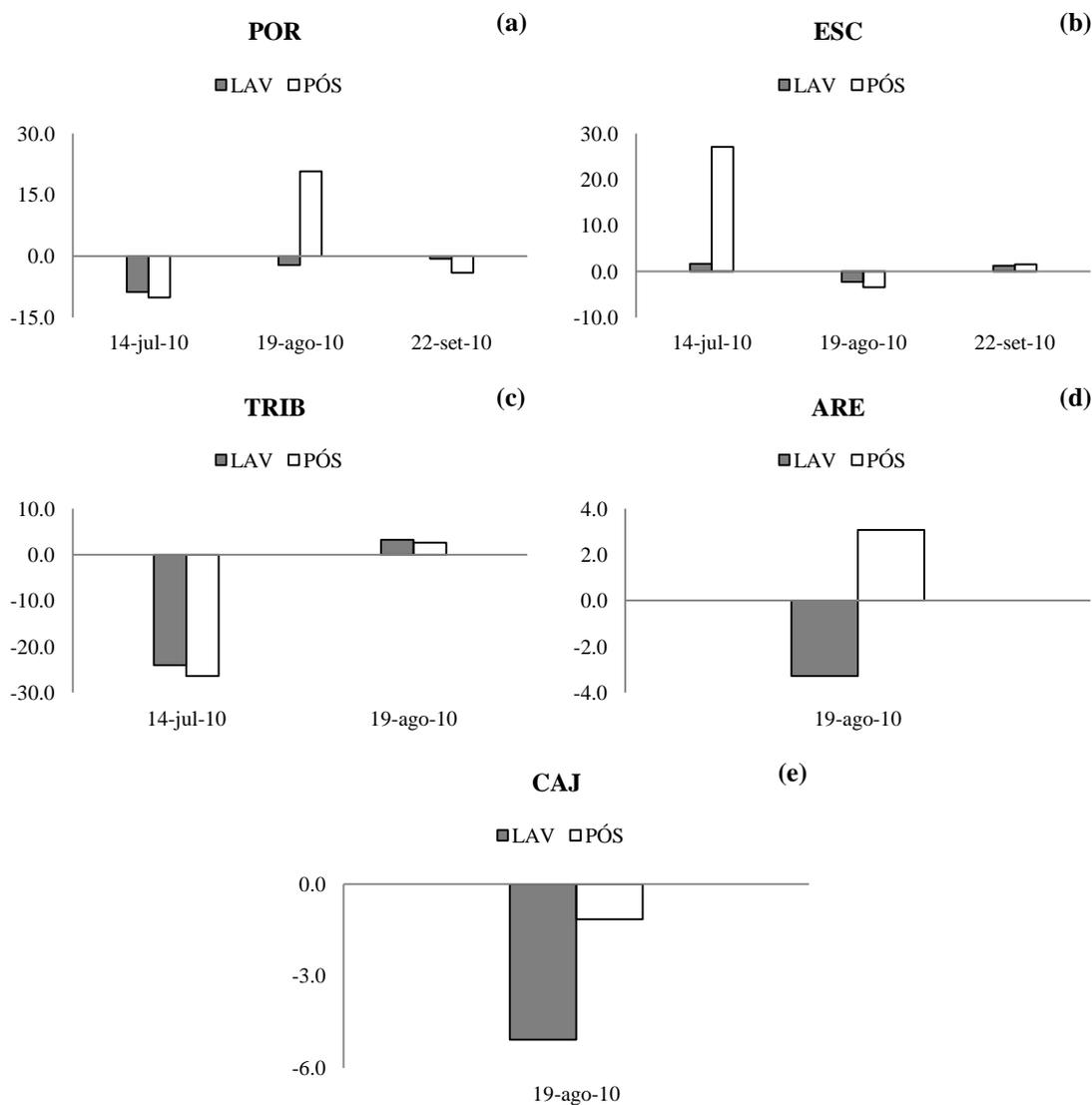
As concentrações de  $\text{Na}^+$  foram menores em LAV na maioria das datas amostradas em todos os igarapés monitorados (Figura 63). Isso demonstra que o comportamento desse cátion não segue o mesmo padrão e etapas dos fluxos de potássio, magnésio e cálcio. Tendo em vista que em determinadas ocasiões, as concentrações de sódio aumentaram em PÓS a níveis maiores que PRÉ, pode-se inferir que a dinâmica de  $\text{Na}^+$  nesses igarapés ocorre sem muita interferência do processo de lavagem de malva, ao contrário dos outros três cátions conservativos anteriormente enfocado.

Figura 62 – Variação de  $\text{Ca}^{2+}$  ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Poraquê - POR; (b) Igarapé Escura - ESC; (c) Igarapé Tributário - TRIB; (d) Igarapé Areia - ARE; e (e) Igarapé Cajuaçu - CAJ.



Fonte: Do autor.

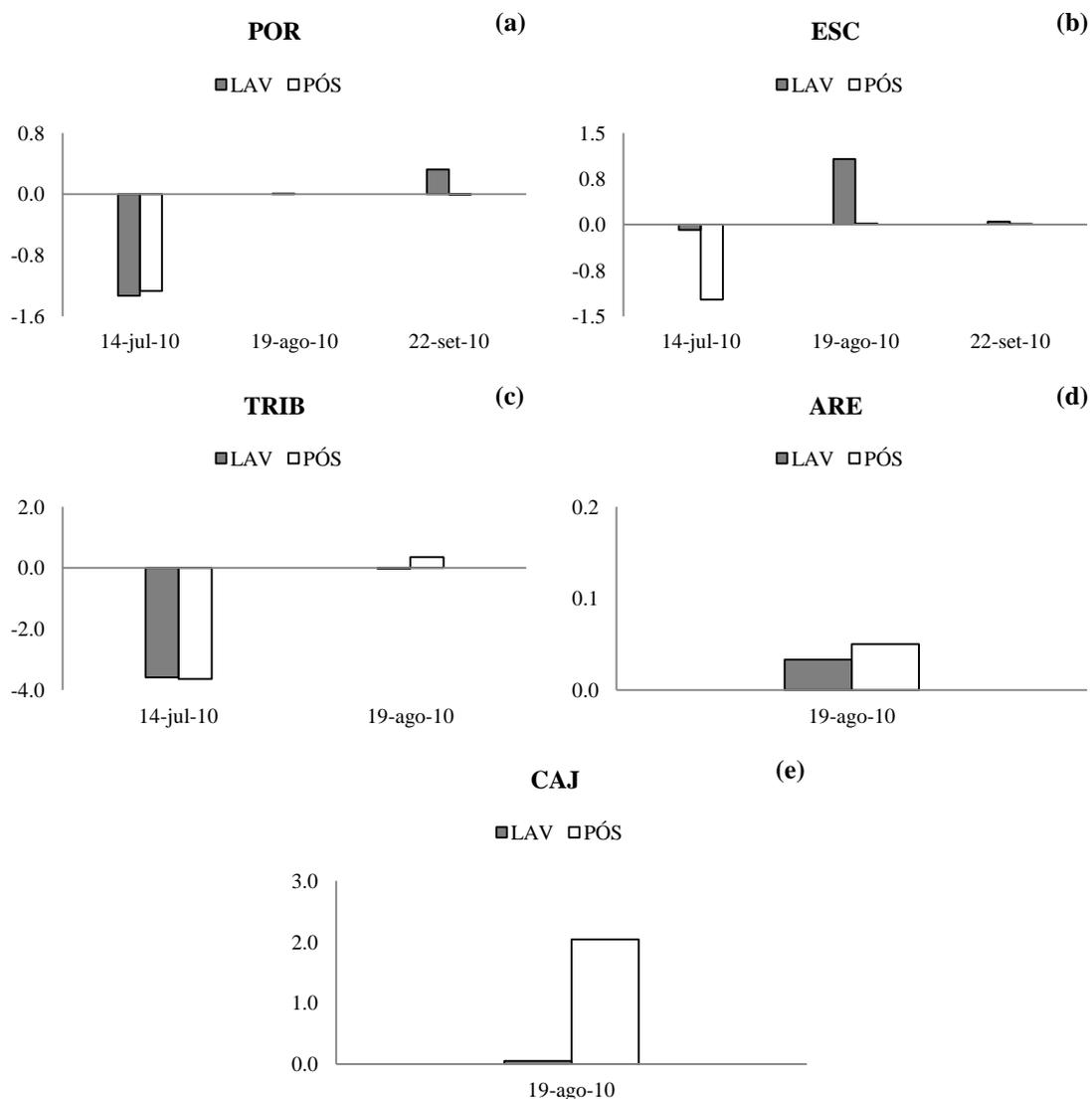
Figura 63 – Variação de  $\text{Na}^+$  ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Poraquê - POR; (b) Igarapé Escura - ESC; (c) Igarapé Tributário - TRIB; (d) Igarapé Areia - ARE; e (e) Igarapé Cajuaçu - CAJ.



Fonte: Do autor.

Por outro lado, o  $\text{N-NH}_4^+$  apresentou um padrão de variação complexo, sendo observado, em LAV, tanto queda como aumento de concentração (Figura 64). Parte dessa variação do amônio pode ser explicada pela alta sensibilidade deste nutriente em ser alterado, devido o processo de mineralização da matéria orgânica que é fonte deste íon ao meio natural, onde o mesmo é rapidamente assimilado por organismos fotossintéticos. A menor disponibilidade deste nutriente no meio é evidenciada pela menor ocorrência do processo de nitrificação, devido a diminuição dos teores de oxigênio dissolvido no ambiente (CARMOUZE, 1994).

Figura 64 – Variação de  $\text{N-NH}_4^+$  ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Poraquê - POR; (b) Igarapé Escura - ESC; (c) Igarapé Tributário - TRIB; (d) Igarapé Areia - ARE; e (e) Igarapé Cajuaçu - CAJ.

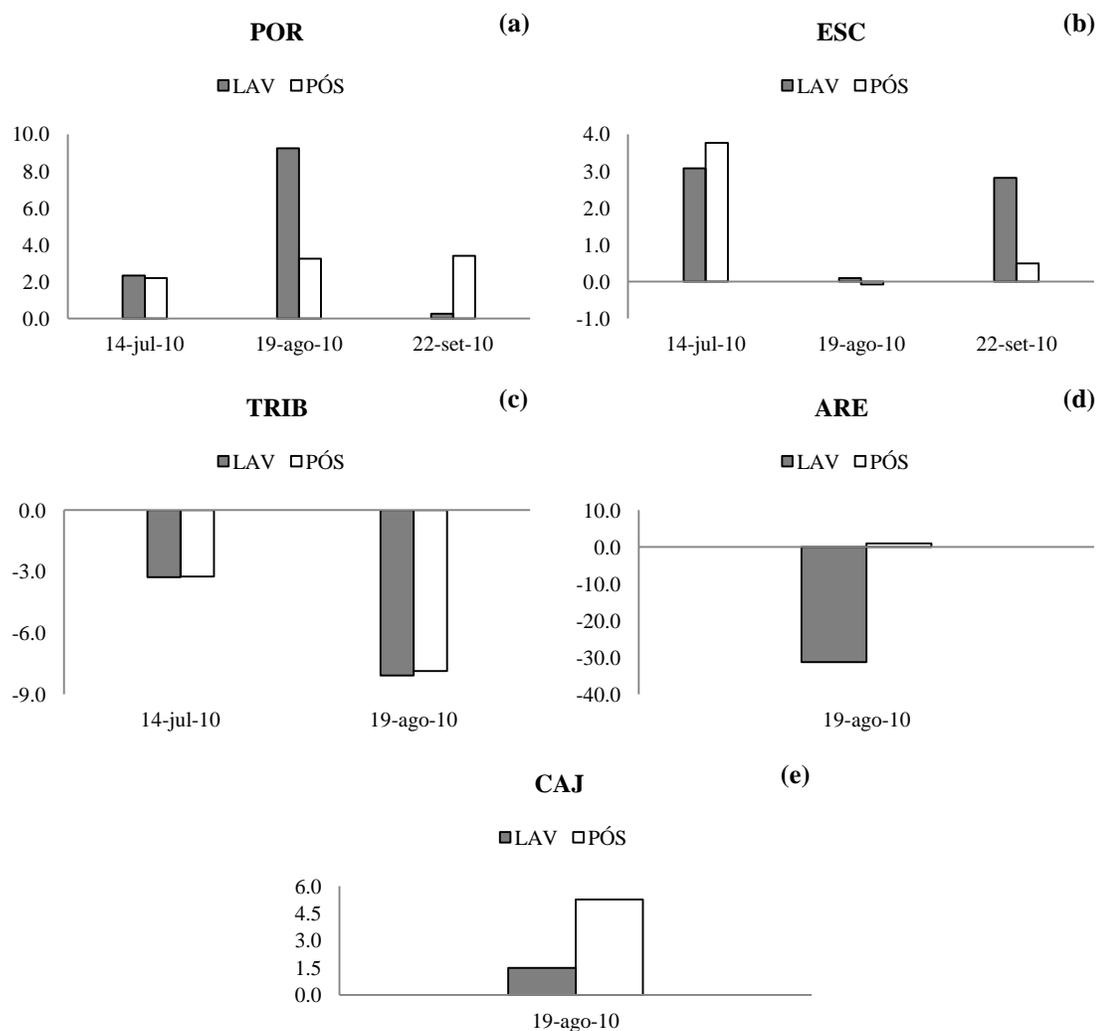


Fonte: Do autor.

Passando a analisar a variação dos ânions inorgânicos dissolvidos, observa-se que as concentrações de  $\text{Cl}^-$  foram maiores em LAV nos igarapés POR, ESC e CAJ (Figura 65). Tal alteração foi observada por pelo menos dez metros após o local de depósito de malva, indicado por PÓS nos gráficos. Nos igarapés ARE e TRIB, porém, foram observadas concentrações em LAV inferiores a PRÉ. Nesse monitoramento, assim como aconteceu com o  $\text{Na}^+$ , não foi possível identificar relações entre as concentrações de  $\text{Cl}^-$  com a lavagem da malva. Por sua vez, tem sido relatado na literatura que as concentrações e fluxos desses dois importantes

componentes da hidrogeoquímica fluvial na região tendem a ser regulados basicamente pela contribuição atmosférica, sistema solo-rocha (no caso do sódio) e alterações no uso da terra, em especial aquelas ligadas à pecuária (FIGUEIREDO et al., 2010; WICKEL, 2004).

Figura 65 – Variação de  $\text{Cl}^-$  ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Poraquê - POR; (b) Igarapé Escura - ESC; (c) Igarapé Tributário - TRIB; (d) Igarapé Areia - ARE; e (e) Igarapé Cajuacu - CAJ.

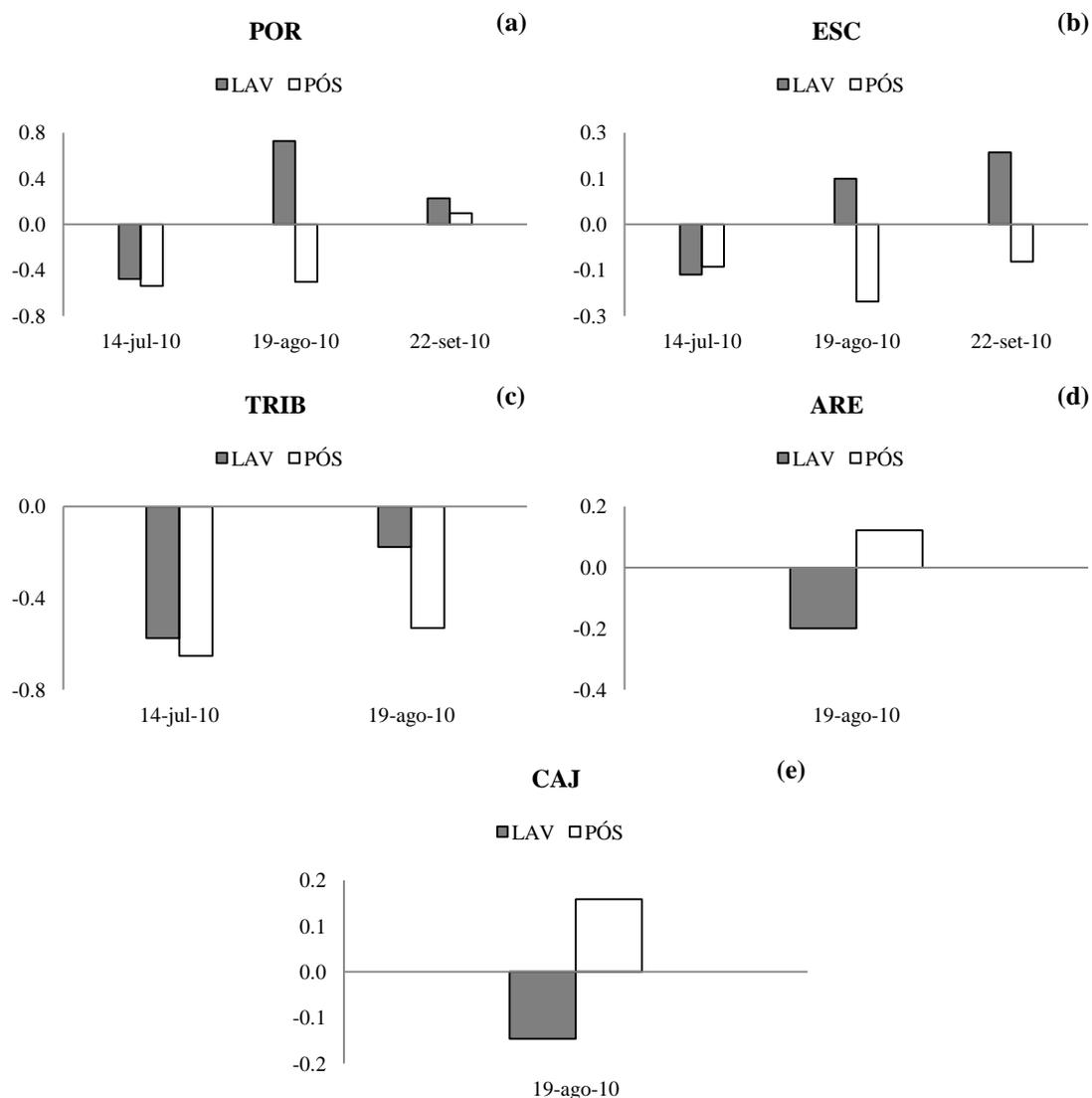


Fonte: Do autor.

O nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ) apresentou, em todos os igarapés, menores concentrações em LAV em relação a PRÉ em várias ocasiões (Figura 66). Tal fato pode ser explicado pela maior assimilação deste nutriente por microorganismos e produtores primários. Essas quedas de concentração, apesar de pequenas, permanecem em PÓS, indicando o aumento do consumo e

menor disponibilidade de nitrato em PÓS, o que pode estar ligado em parte às menores taxas de nitrificação e perdas gasosas associadas.

Figura 66 – Variação de  $\text{N-NO}_3^-$  ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Poraquê - POR; (b) Igarapé Escura - ESC; (c) Igarapé Tributário - TRIB; (d) Igarapé Areia - ARE; e (e) Igarapé Cajuauçu - CAJ.



Fonte: Do autor.

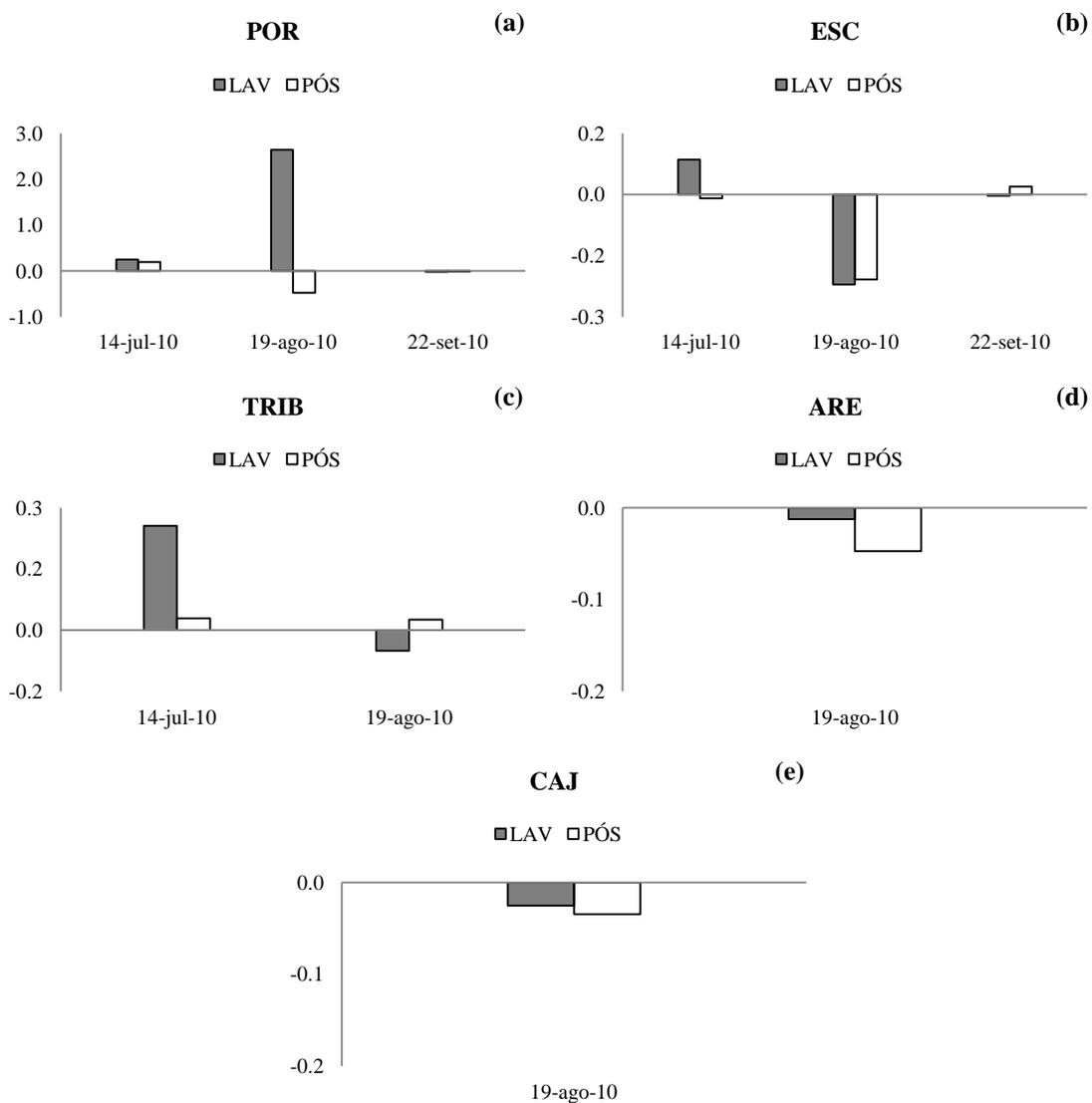
O fosfato ( $\text{P-PO}_4^{3-}$ ) apresentou um padrão de variação complexo: em determinadas datas foram observados aumentos de concentração em LAV, mas em outras ocorreu o inverso (Figura 67). Tal comportamento do fosfato, com muitas oscilações nas concentrações entre os pontos de amostragem, pode ser devido ao fato deste ser um nutriente que exerce papel limitante

no desenvolvimento da biota e ocorrer em concentrações muito baixas. Isto pode explicar as reduções nas concentrações de  $\text{P-PO}_4^{3-}$  no meio. Destaca-se o pico de concentração medido em LAV no Igarapé Poraquê, onde a malva estava sendo lavada há duas semanas.

A causa para isso pode estar associada às diferentes taxas de aporte de íons para o corpo d'água dependendo do tempo de interação da malva com o meio aquoso. Mas essa hipótese não foi sustentada pelo experimento em tanque como apresentado mais adiante neste trabalho. Portanto, não se tem uma explicação para o pico de fosfato medido com base na coleta de dados realizadas nesta pesquisa, podendo ser atribuído outros interferentes que não a malva. Fatos como este revelam a dificuldade na condução dessa pesquisa, assim como a utilidade da realização do experimento em tanque, onde alguns interferentes puderam ser evitados.

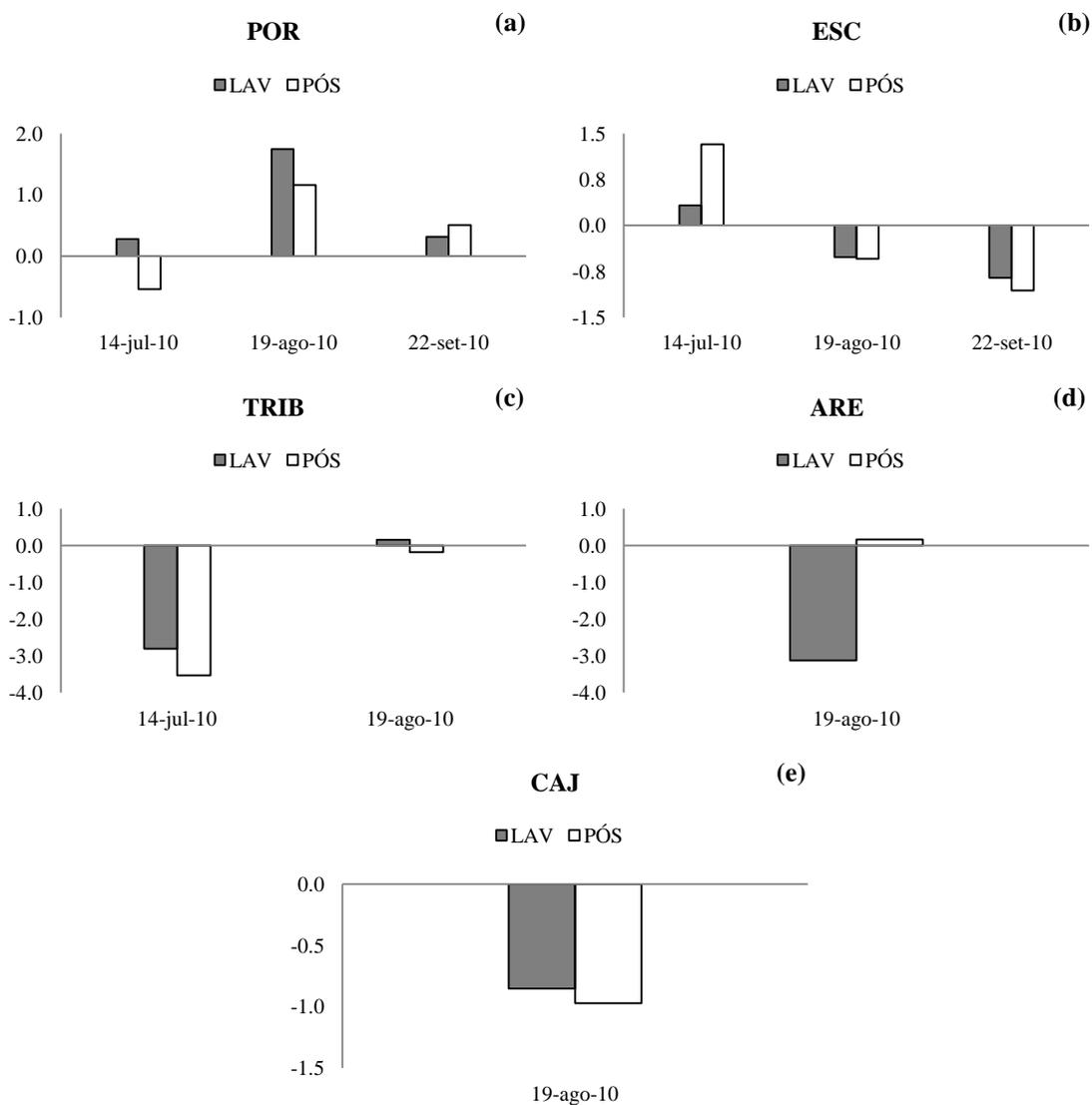
O sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) apresentou variação negativa em LAV na maioria das datas amostradas (Figura 68). No entanto, em determinadas ocasiões as concentrações em LAV superaram as concentrações observadas em PRÉ. Pelo fato de não se tratar de um fator limitante para o desenvolvimento de organismos, suas concentrações são pouco afetadas por processos biogeoquímicos. Destaca-se, no entanto, que as variações observadas são de pequena ordem e que não pode ser observado um padrão de comportamento para as concentrações de sulfato nos igarapés monitorados.

Figura 67 – Variação de  $P-PO_4^{3-}$  ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Poraquê - POR; (b) Igarapé Escura - ESC; (c) Igarapé Tributário - TRIB; (d) Igarapé Areia - ARE; e (e) Igarapé Cajuaçu - CAJ.



Fonte: Do autor.

Figura 68 – Variação de  $\text{SO}_4^{2-}$  ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) das amostras coletadas em LAV e PÓS em relação as amostras coletadas em PRÉ no: (a) Igarapé Poraquê - POR; (b) Igarapé Escura - ESC; (c) Igarapé Tributário - TRIB; (d) Igarapé Areia - ARE; e (e) Igarapé Cajuaçu - CAJ.



Fonte: Do autor.

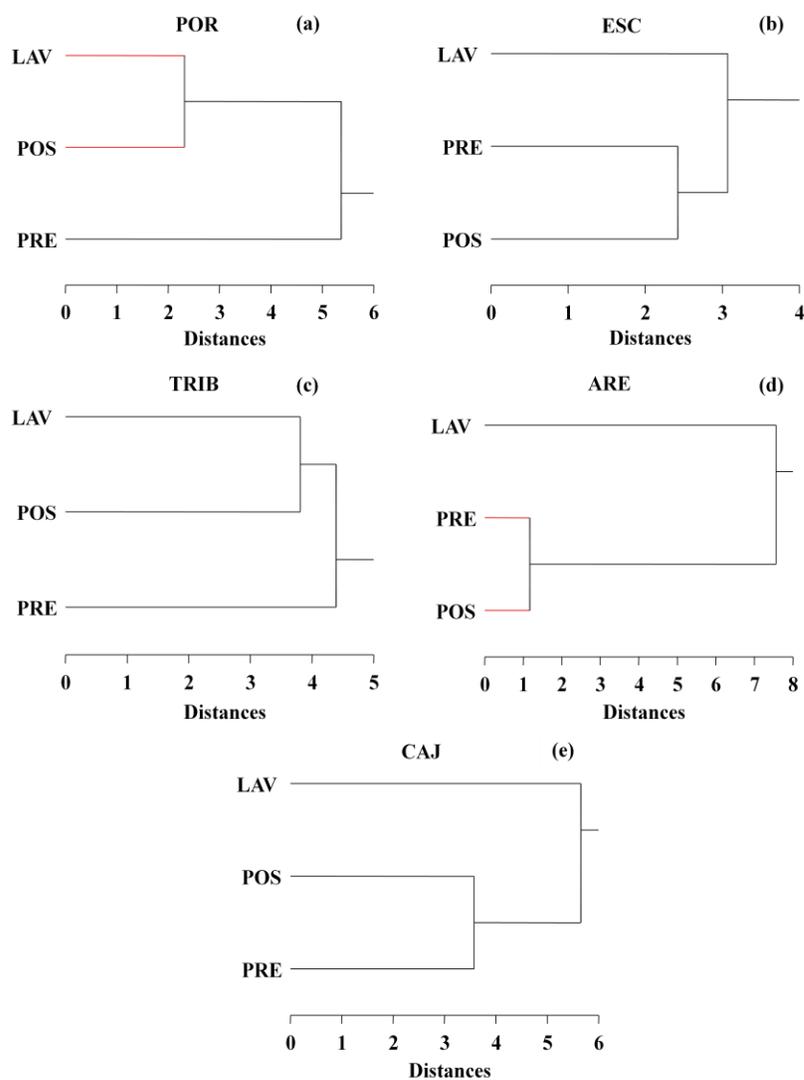
A fim de melhor visualizar o comportamento da hidrobiogeoquímica nos igarapés foi realizada uma análise de cluster (Figura 69), onde se observou as seguintes respostas à lavagem da parte aérea de plantas de malva (*Urena lobata* L.):

- Nos igarapés ESC, ARE e CAJ o ponto LAV não se agrupou com PRÉ e PÓS, fortalecendo a hipótese de que pequenos igarapés amazônicos monitorados na presente pesquisa podem ter sua hidrobiogeoquímica alterada localmente em função do processamento de malva e as alterações observadas não permaneceram por até dez metros do ponto de lavagem. No entanto

as distâncias euclidianas apresentadas nos clusters para estes igarapés foram distintas, pois o igarapé ARE foi o que apresentou maior distância entre os agrupamentos.

- Nos clusters relativos aos igarapés POR e TRIB não foram evidenciadas diferenças entre LAV e PÓS. Conclui-se então que as alterações da hidrogeoquímica fluvial nesses dois igarapés permaneceram por até dez metros do ponto de lavagem da malva nas ocasiões onde estes cursos d'água foram monitorados.

Figura 69 – Análise de cluster para os igarapés: (a) Poraquê - POR; (b) Escura - ESC; (c) Tributário - TRIB; (d) Areia - ARE e (e) Cajuçu - CAJ.



Fonte: Do autor.

#### 4.2.1 Experimento em tanque para avaliação dos efeitos da lavagem de plantas de malva na hidrogeoquímica fluvial

A fim de verificar se as variações hidrobiogeoquímicas observadas nos igarapés monitorados são provocadas pela lavagem de plantas de malva, foram realizados dois experimentos em tanque com vazões, de entrada e saída, controladas. Essas vazões foram reguladas antes do início do experimento e corresponderam a valores médios de 800 e 850 mL min<sup>-1</sup>, na entrada e saída, respectivamente. Precedendo o início dos experimentos, as porções aéreas das plantas de malva foram separadas em dois fardos. Ressalta-se que os valores medidos no tempo zero (0 d) servem como referência da hidroquímica da água de entrada (em PRÉ) e da relativa assepsia do tanque quando medida a água de saída (em LAV), porém tais dados não são apresentados na presente dissertação.

A Tabela 5 apresenta os valores das concentrações médias e erros padrão para cada tempo de lavagem durante o experimento. Após dois dias do início da lavagem foi observado o amarelecimento da água, bem como o surgimento de espuma e odor no tanque, provavelmente provocado pelo fornecimento de ácidos orgânicos provenientes da malva. A partir da análise dos valores médios apresentados na Tabela 5 destaca-se que o pH variou entre 3,65 e 3,93 em PRÉ e entre 4,19 e 4,64 em LAV. O percentual de saturação de OD variou de 40,70 a 58,75 % em PRÉ e de 8,45 a 54,60 % em LAV. Os maiores valores médios de condutividade elétrica foram 49,89 µS em PRÉ e 83,07 µS em LAV, este último observado após dois dias do início da lavagem.

O carbono orgânico dissolvido (COD) apresentou valores médios que variaram entre 0,32 e 0,52 mg L<sup>-1</sup> em PRÉ e entre 1,27 e 21,19 mg L<sup>-1</sup> em LAV, tendo este valor máximo ocorrido após dois dias de lavagem da malva. O carbono inorgânico dissolvido (CID) também apresentou maior concentração média em LAV com dois dias de experimento, correspondendo ao valor de 5,94 mg L<sup>-1</sup>. Já o nitrogênio total foi observado variando de 0,11 a 0,16 mg L<sup>-1</sup> em PRÉ e de 0,10 a 0,29 mg L<sup>-1</sup> em LAV. Os maiores valores médios de cátions e ânions inorgânicos dissolvidos concentraram-se em LAV no tempo de lavagem de dois dias. As exceções a este padrão foram o amônio e nitrato, que justamente com dois dias de lavagem apresentaram as menores concentrações em LAV, e também o cloreto, que apresentou valor médio mais elevado em LAV após apenas um dia do início da lavagem.

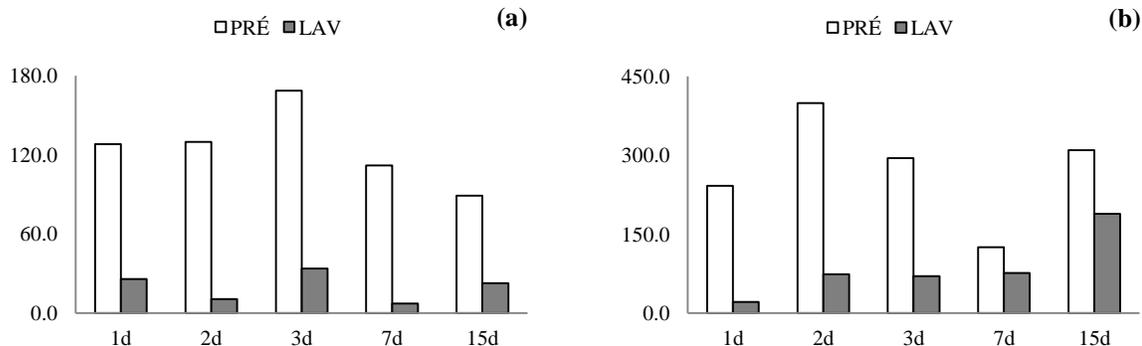
Tabela 5 – Concentrações médias e erro padrão dos elementos avaliados nos dois experimentos em tanque sob lavagem de plantas de malva (*Urena lobata* L.).

PARÂMETRO	1 d		2 d		3 d		7 d		15 d	
	PRÉ	LAV	PRÉ	LAV	PRÉ	LAV	PRÉ	LAV	PRÉ	LAV
pH	3,76 (0,14)	4,64 (0,05)	3,65 (0,25)	4,56 (0,42)	3,65 (0,12)	4,32 (0,16)	3,93 (0,03)	4,63 (0,51)	3,78 (0,27)	4,19 (0,47)
H <sup>+</sup> (µM)	184,60 (56,66)	23,38 (2,39)	264,37 (134,65)	41,90 (31,38)	231,55 (62,89)	51,74 (17,93)	118,34 (6,40)	41,57 (34,29)	199,33 (110,41)	105,67 (83,13)
OD (mg L <sup>-1</sup> )	4,00 (0,76)	1,78 (0,93)	3,10 (0,69)	0,68 (0,31)	3,67 (0,27)	1,14 (0,80)	3,87 (0,49)	2,02 (1,61)	4,55 (0,47)	3,84 (0,58)
OD (% sat)	52,80 (9,00)	24,00 (10,70)	40,70 (9,40)	8,45 (3,65)	49,25 (2,35)	15,10 (10,70)	49,70 (6,40)	26,85 (20,95)	58,75 (4,65)	48,60 (6,90)
CE (µS)	49,89 (3,41)	54,74 (0,27)	48,12 (3,69)	83,07 (28,94)	48,61 (3,09)	61,70 (15,91)	46,00 (2,50)	42,40 (7,80)	48,00 (5,20)	46,15 (2,55)
TURBIDEZ (UNT)	0,57 (0,31)	4,76 (1,04)	0,16 (0,16)	6,04 (2,18)	0,12 (0,12)	3,59 (0,14)	0,37 (0,37)	2,24 (0,13)	0,14 (0,14)	0,99 (0,62)
COD (mg L <sup>-1</sup> )	0,52 (0,09)	5,94 (1,04)	0,35 (0,06)	21,19 (8,94)	0,42 (0,09)	10,87 (7,23)	0,49 (0,16)	1,75 (0,74)	0,32 (0,02)	1,27 (0,75)
CID (mg L <sup>-1</sup> )	1,46 (0,46)	5,94 (3,16)	1,53 (0,00)	1,30 (0,64)	1,13 (0,39)	1,12 (0,05)	1,18 (0,47)	0,70 (0,11)	1,69 (0,18)	0,96 (0,16)
NT (mg L <sup>-1</sup> )	0,12 (0,02)	0,12 (0,06)	0,11 (0,01)	0,29 (0,17)	0,13 (0,01)	0,11 (0,06)	0,16 (0,00)	0,10 (0,01)	0,15 (0,02)	0,13 (0,05)
NOD (mg L <sup>-1</sup> )	<0,01 (0,20)	<0,01 (0,11)	<0,01 (0,11)	0,24 (0,23)	<0,01 (0,03)	<0,01 (0,06)	<0,01 (0,03)	<0,01 (0,12)	<0,01 (0,04)	<0,01 (0,02)
Ca <sup>2+</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	5,28 (0,38)	44,66 (9,87)	5,32 (0,42)	154,90 (77,96)	6,18 (0,26)	94,82 (45,02)	4,62 (0,96)	58,25 (26,22)	6,26 (0,42)	42,08 (23,52)
Mg <sup>2+</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	11,06 (0,93)	121,89 (36,39)	12,13 (0,02)	318,40 (152,92)	12,31 (0,07)	177,68 (95,95)	8,26 (3,86)	63,01 (28,57)	12,11 (0,05)	28,76 (11,04)
Na <sup>+</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	205,29 (13,84)	225,08 (1,85)	214,94 (0,66)	228,07 (4,07)	215,70 (1,23)	219,45 (2,26)	159,77 (62,47)	219,18 (1,86)	216,17 (3,46)	212,96 (4,54)
K <sup>+</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	7,59 (0,50)	48,49 (9,83)	7,79 (0,28)	78,42 (47,25)	9,42 (0,35)	28,02 (16,46)	5,80 (2,39)	9,02 (0,67)	8,52 (0,27)	7,73 (0,14)
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	0,74 (0,37)	0,02 (0,01)	1,21 (0,41)	0,02 (0,01)	3,25 (1,01)	0,04 (0,03)	0,44 (0,36)	0,02 (0,02)	0,61 (0,37)	0,30 (0,29)
Cl <sup>-</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	304,11 (0,08)	328,19 (18,84)	301,32 (2,79)	317,95 (0,94)	301,04 (1,68)	302,60 (0,92)	303,68 (1,54)	304,32 (2,42)	300,61 (5,03)	295,15 (5,33)
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	2,42 (0,79)	0,43 (0,13)	2,13 (0,42)	0,21 (0,20)	1,72 (0,09)	0,41 (0,01)	1,96 (0,12)	0,74 (0,46)	2,08 (0,03)	1,24 (0,22)
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	0,25 (0,23)	1,31 (1,29)	0,06 (0,02)	15,76 (11,78)	0,06 (0,04)	4,10 (4,07)	0,04 (0,00)	0,03 (0,02)	0,14 (0,10)	0,01 (0,00)
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	6,44 (0,01)	7,56 (0,30)	6,42 (0,13)	9,11 (1,61)	6,38 (0,09)	6,91 (0,30)	6,46 (0,15)	4,71 (1,27)	6,44 (0,06)	5,71 (0,60)

Pode-se fazer uma avaliação mais detalhada dos possíveis efeitos da lavagem da malva sobre a hidrobiogeoquímica fluvial observando a variação das amostras coletadas em PRÉ e LAV, a cada tempo de lavagem, nos dois experimentos conduzidos. A seguir realiza-se uma comparação das referidas medidas para cada parâmetro avaliado.

Observa-se na Figura 70 que as concentrações do íon  $H^+$  ( $\mu M$ ) apresentaram uma tendência a reduzirem-se em LAV com relação aos valores de PRÉ, revelando redução no teor de acidez no tanque, provocado pela interação da malva com a água. No entanto, como visto anteriormente, esta redução de acidez foi observada apenas em algumas datas amostradas nos igarapés monitorados nesta pesquisa. Observou-se que o íon  $H^+$  correlacionou-se diretamente com o OD ( $r_s = 0,788$ ;  $p < 0,001$ ) e  $N-NH_4^+$  ( $r_s = 0,850$ ;  $p < 0,001$ ); por sua vez foram observadas correlações inversas entre o  $H^+$  e a turbidez ( $r_s = -0,811$ ;  $p < 0,001$ ) e DOC ( $r_s = -0,828$ ;  $p < 0,001$ ), como demonstrado no apêndice D.

Figura 70 – Variação de  $H^+$  ( $\mu M$ ) no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem da porção aérea de plantas de malva (*Urena lobata* L.) em tanque.

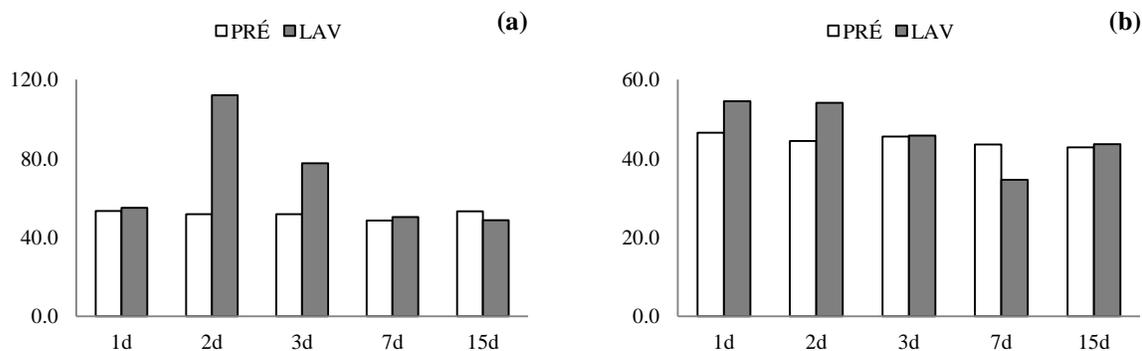


Fonte: Do autor.

Ao se avaliar os resultados de CE (Figura 71), observou-se uma tendência ao aumento dos valores em LAV. No primeiro experimento ocorre um pico de concentração com dois dias e uma redução da concentração no terceiro dia a partir do início da lavagem, mas ainda apresentando valor elevado em relação a PRÉ. Por sua vez, no segundo experimento também se observou maiores valores em LAV, mas com picos de concentração a partir do primeiro dia. Tal comportamento foi semelhante ao verificado em campo, durante o monitoramento da lavagem de malva nos igarapés, pois foram encontrados valores em LAV superiores a PRÉ. Porém os valores

encontrados nos experimentos para a condutividade excederam os observados nos igarapés, assim como foi possível observar uma correlação inversa entre a CE e o íon  $\text{Na}^+$  ( $r_s = 0,740$ ;  $p < 0,001$ ), fator que não foi possível na avaliação da lavagem em igarapés.

Figura 71 – Variação de CE ( $\mu\text{S}$ ) no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem da porção aérea de plantas de malva (*Urena lobata* L.) em tanque.

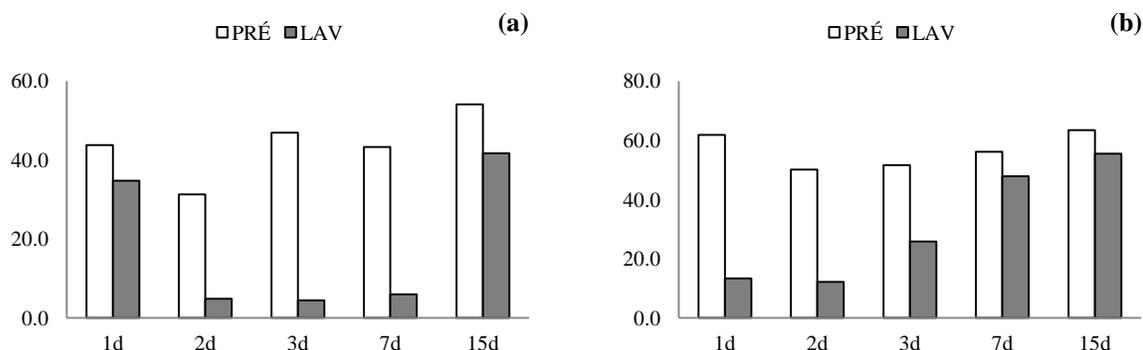


Fonte: Do autor.

Os teores de oxigênio dissolvido (% sat) reduziram-se gradativamente, em LAV com relação aos valores de PRÉ, com o aumento do tempo de lavagem da malva no tanque (Figura 72). No primeiro experimento observou-se uma diminuição mais gradativa do percentual de saturação de oxigênio até atingir o menor teor no segundo dia de lavagem, permanecendo reduzido até sete dias. Já no segundo experimento observou-se uma redução mais brusca com um dia de lavagem, permanecendo até dois dias. No entanto, no terceiro dia de lavagem o percentual de saturação de oxigênio tornou a aumentar, mas ainda apresentando níveis menores do que os que precederam a lavagem. Essas quedas de OD estão relacionadas a maiores contribuições de material orgânico, necessitando, portanto, do consumo do oxigênio dissolvido no meio para que esta sofresse degradação por ação microbiológica. Já o incremento no tempo de quinze dias pode estar relacionado à redução das concentrações de COD e turbidez observadas em ambos experimentos.

Ao correlacionar o OD com os demais parâmetros, verificou-se que o mesmo correlacionou-se diretamente com o íon amônio ( $r_s = 0,708$ ;  $p < 0,001$ ); no entanto as maiores correlações inversas foram observadas com a turbidez ( $r_s = -0,789$ ;  $p < 0,001$ ), COD ( $r_s = -0,823$ ;  $p < 0,001$ ) e o íon  $\text{K}^+$  ( $r_s = -0,701$ ;  $p < 0,001$ ).

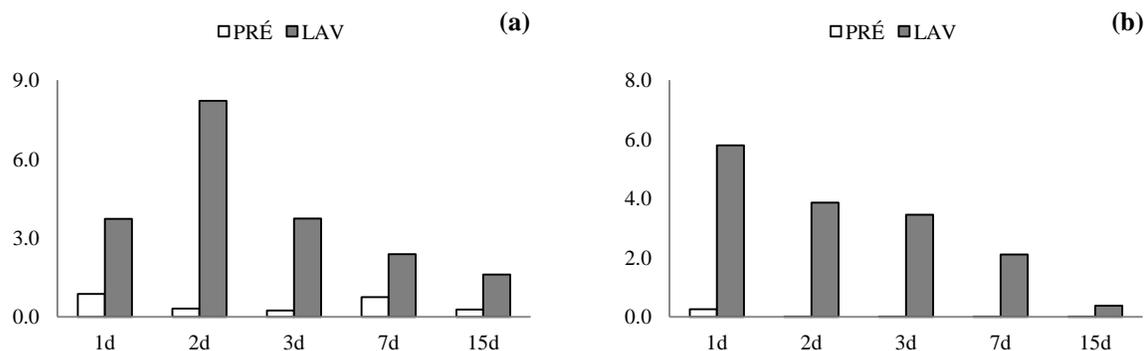
Figura 72 – Variação de OD (% sat) no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem da porção aérea de plantas de malva (*Urena lobata* L.) em tanque.



Fonte: Do autor.

A turbidez em LAV apresentou valores superiores a PRÉ a partir do primeiro dia do início dos experimentos. No primeiro experimento foi observada a maior concentração com 2 dias de lavagem, mas no segundo experimento foi encontrada a maior turbidez logo no primeiro dia, como pode ser visualizado na Figura 73. Tal comportamento se deve à presença de material particulado e coloidal em suspensão, ou mesmo à liberação de ácidos orgânicos húmicos e fúlvicos, promovendo a coloração turvo amarelada observada durante a realização dos experimentos, pois assim como a turbidez, os valores de CE e DOC também aumentaram em LAV. Esta suposição pode ser constatada ao se verificar maior correlação direta entre turbidez e COD ( $r_s = 0,874$ ;  $p < 0,001$ ),  $\text{Na}^+$  ( $r_s = 0,715$ ;  $p < 0,001$ ) e  $\text{Mg}^{2+}$  ( $r_s = 0,754$ ;  $p < 0,001$ ). No entanto, houve maior correlação inversa da turbidez com o íon amônio ( $r_s = -0,805$ ;  $p < 0,001$ ).

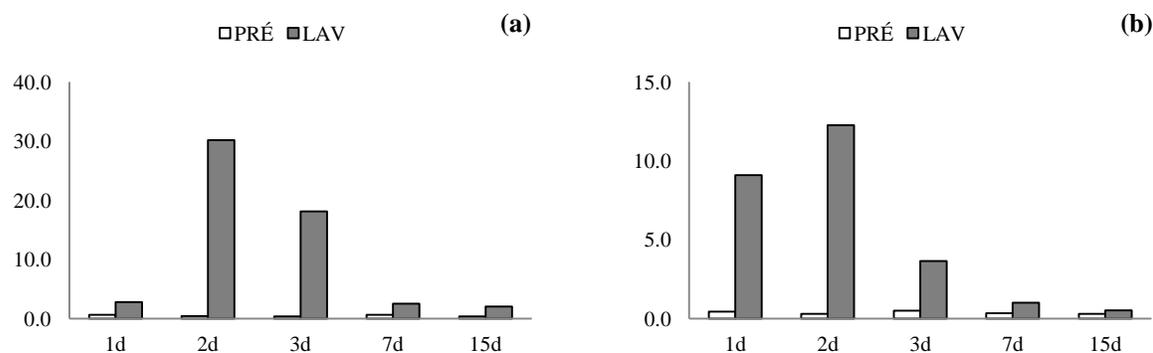
Figura 73 – Variação de Turbidez (FTU) no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem da porção aérea de plantas de malva (*Urena lobata* L.) em tanque.



Fonte: Do autor.

Em LAV o carbono orgânico dissolvido (COD) excedeu bastante as concentrações observadas em PRÉ, apresentando picos de concentração com dois dias de lavagem em ambos experimentos (Figura 74). Tal comportamento é explicado pelo aumento nos teores de matéria orgânica provocados pela lavagem das plantas de malva. Portanto, pode-se dizer que os aumentos de concentrações observados em LAV nos igarapés monitorados em campo são, de fato, provocados pela lavagem de plantas de malva, fato que foi possível confirmar pelas correlações observadas. O COD melhor correlacionou-se, positivamente, com a turbidez, como já mencionado,  $\text{Na}^+$  ( $r_s = 0,700$ ;  $p < 0,001$ ),  $\text{Mg}^{2+}$  ( $r_s = 0,758$ ;  $p < 0,001$ ) e  $\text{Ca}^{2+}$  ( $r_s = 0,760$ ;  $p < 0,001$ ); e inversamente com o amônio ( $r_s = -0,840$ ;  $p < 0,001$ ) e nitrato ( $r_s = -0,737$ ;  $p < 0,001$ ).

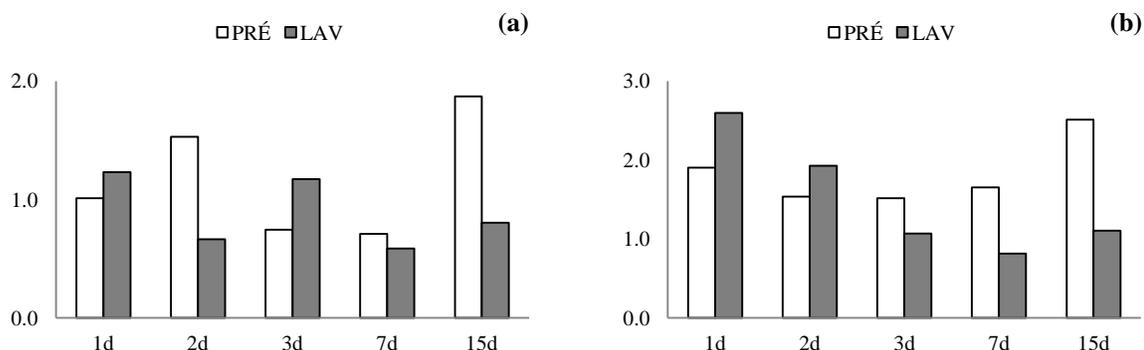
Figura 74 – Variação de COD ( $\text{mg L}^{-1}$ ) no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem da porção aérea de plantas de malva (*Urena lobata* L.) em tanque.



Fonte: Do autor.

O CID não apresentou padrão nas diferenças entre LAV e PRÉ (Figura 75). Porém, observou-se aumento em LAV nos tempos iniciais do experimento. No primeiro experimento houve aumento de concentração em LAV em relação a PRÉ no primeiro e terceiro dias. Já no segundo experimento, o incremento foi observado nos primeiros dois dias de lavagem. Quando se compara com o comportamento do CID nos igarapés, verifica-se que em determinadas ocasiões houve um aumento de concentrações em LAV com relação a PRÉ, no entanto sem padrão de variação. Além disso, valores altos de CID em PRÉ do experimento podem ser devido à água utilizada ser de origem subterrânea, podendo assim estar saturada de  $\text{CO}_2$ , uma das formas de CID.

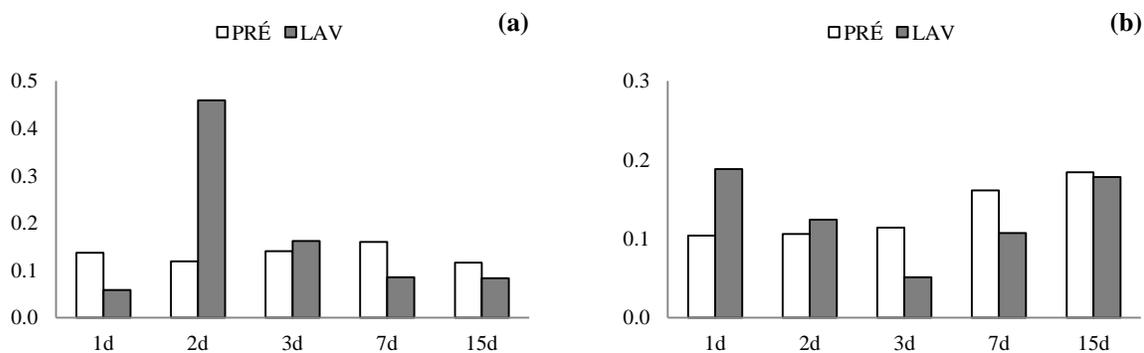
Figura 75 – Variação de CID ( $\text{mg L}^{-1}$ ) no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem da porção aérea de plantas de malva (*Urena lobata* L.) em tanque.



Fonte: Do autor.

O NT também não apresentou padrão de variação entre LAV e PRÉ ao longo do tempo de lavagem (Figura 76). Apesar de a variação da concentração de NT ter sido pequena, no primeiro experimento ela foi maior em LAV no tempo de dois dias a partir do início da lavagem. No segundo experimento a maior concentração medida foi no primeiro dia. Variações longitudinais diferenciadas foram observadas também no monitoramento dos igarapés avaliados.

Figura 76 – Variação de NT ( $\text{mg L}^{-1}$ ) no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem da porção aérea de plantas de malva (*Urena lobata* L.) em tanque.

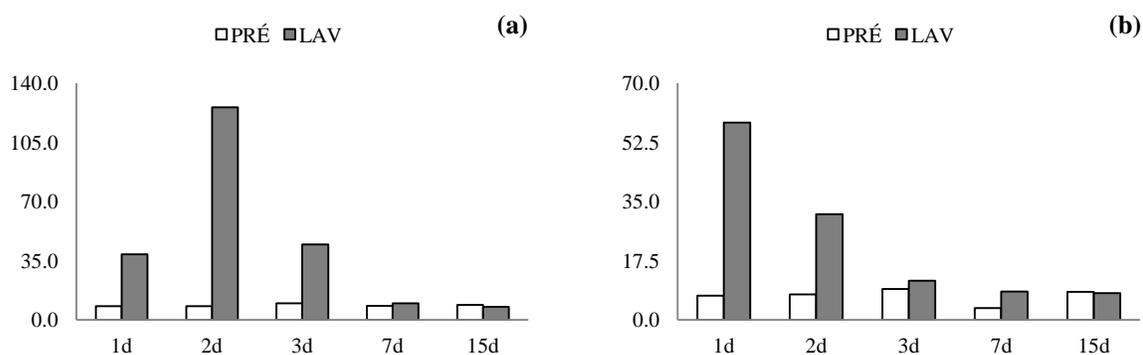


Fonte: Do autor.

Avaliando-se o comportamento do potássio ( $\text{K}^+$ ) verificou-se maiores concentrações em LAV em relação a PRÉ (Figura 77). No primeiro experimento a lavagem de malva apresentou maior concentração com dois dias de lavagem. Já no segundo experimento a maior concentração foi observada no tempo de um dia. As maiores concentrações observadas indicam que a malva

pode ser considerada uma fonte deste nutriente ao ambiente hídrico logo nos primeiros dias de lavagem, pelo menos no local de depósito de seus fardos, fato que foi observado também na maioria das datas, durante o monitoramento dos igarapés. Porém, as diferenças observadas no monitoramento nos igarapés (Figura 60) e que evidenciaram um consumo de potássio (variação negativa) pode significar um maior tempo de lavagem da malva (acima de dois dias). Vale destacar que foi observada maior correlação direta entre o potássio e o magnésio, com  $r_s = 0,710$  ( $p < 0,001$ ).

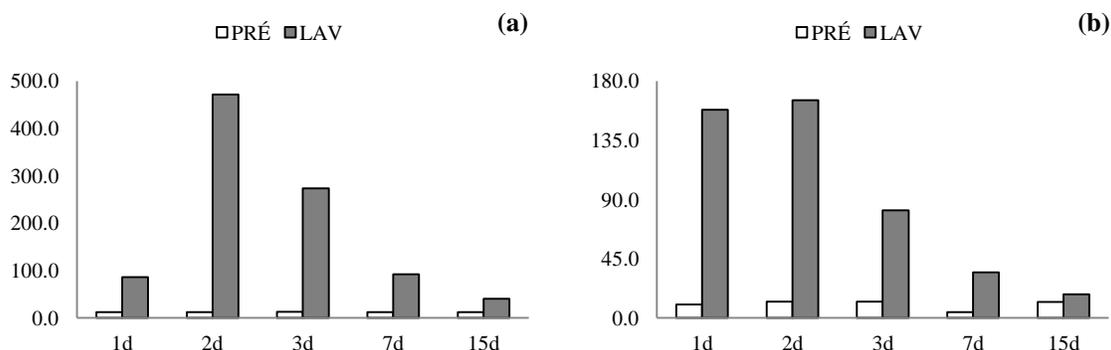
Figura 77 – Variação de  $K^+$  ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem da porção aérea de plantas de malva (*Urena lobata* L.) em tanque.



Fonte: Do autor.

As concentrações de magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) em LAV foram superiores às observadas em PRÉ, para os dois experimentos (Figura 78). No primeiro experimento a maior concentração foi verificada com dois dias de lavagem. Já no segundo experimento foram verificadas maiores concentrações com um e dois dias de lavagem. Por este motivo, a malva pode ser uma fonte do incremento de magnésio para o ambiente de lavagem, logo nos primeiros dias de lavagem, nos igarapés alvos desta pesquisa, pois neles também foram observadas maiores concentrações de magnésio em LAV com relação a PRÉ. Destaca-se que foi verificada uma forte correlação entre o magnésio e o cálcio ( $r_s = 0,920$ ), fator que pode explicar o comportamento similar de variação dos íons em questão. Porém com o íon nitrato, o magnésio apresentou correlação inversa ( $r_s = -0,811$ ;  $p < 0,001$ ).

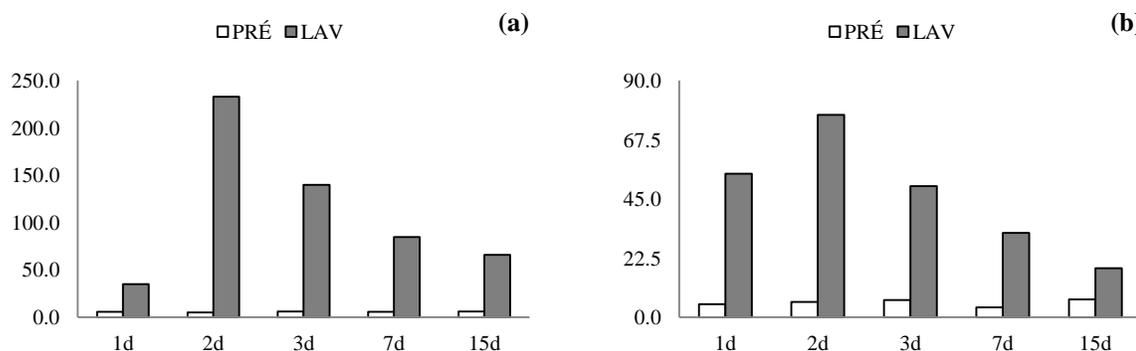
Figura 78 – Variação de  $Mg^{2+}$  ( $\mu eq L^{-1}$ ) no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem da porção aérea de plantas de malva (*Urena lobata* L.) em tanque.



Fonte: Do autor.

O cálcio ( $Ca^{2+}$ ) apresentou comportamento semelhante ao  $K^+$  e ao  $Mg^{2+}$ , pois as concentrações foram bem mais pronunciadas em LAV em relação às observadas em PRÉ (Figura 79). As maiores concentrações foram verificadas com dois dias de lavagem, em ambos experimentos. Apesar de apresentar-se de maneira mais discreta, foi observado o mesmo comportamento nos igarapés monitorados. Esta característica configura a malva como fonte de cálcio em seu local de lavagem. Além das correlações já observadas e mencionadas entre o cálcio e outras variáveis, lista-se ainda, como foi para o magnésio, uma correlação inversa também com o nitrato ( $r_s = -0,831$ ;  $p < 0,001$ ).

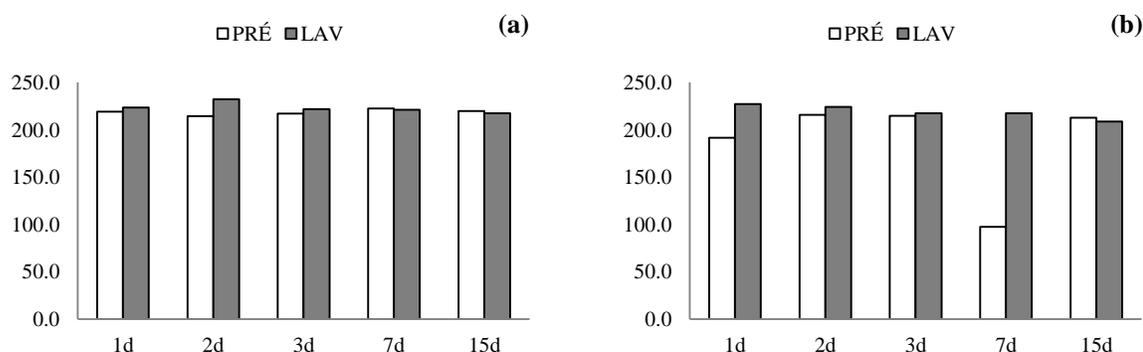
Figura 79 – Variação de  $Ca^{2+}$  ( $\mu eq L^{-1}$ ) no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem da porção aérea de plantas de malva (*Urena lobata* L.) em tanque.



Fonte: Do autor.

Na avaliação do sódio ( $\text{Na}^+$ ) verificou-se que, mesmo em pequenas variações, em alguns tempos de lavagem os valores em LAV foram maiores que os observados em PRÉ (Figura 80). Isto confere com a inferência resultante da observação dos dados de  $\text{Na}^+$ , nos igarapés monitorados, de que o processo de lavagem da malva não altera, substancialmente, as concentrações desse cátion no ambiente natural. Sua maior correlação foi observada com o íon cloreto, apresentando um  $r_s = 0,802$  ( $p < 0,001$ ).

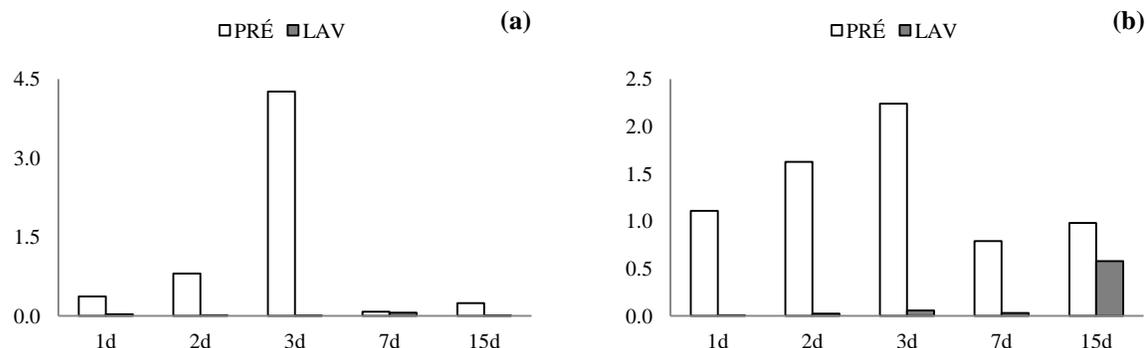
Figura 80 – Variação de  $\text{Na}^+$  ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem da porção aérea de plantas de malva (*Urena lobata* L.) em tanque.



Fonte: Do autor.

O amônio ( $\text{N-NH}_4^+$ ) foi menor em LAV na maioria dos tempos de lavagem, em ambos experimentos (Figura 81). Os valores reduzidos das concentrações em LAV, com relação a PRÉ indicam a possibilidade de aumento na assimilação de nitrogênio, na forma de amônio, por ação de microorganismos, pois este nutriente é considerado fator limitante ao desenvolvimento de organismos aquáticos, sendo necessário ao seu metabolismo. Por esse motivo suas concentrações são amplamente afetadas (FIGUEIREDO, 2009).

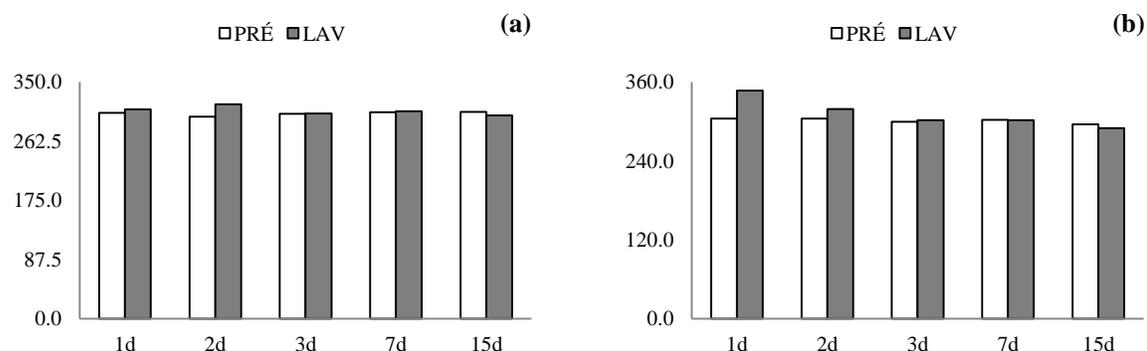
Figura 81 – Variação de  $\text{N-NH}_4^+$  ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem da porção aérea de plantas de malva (*Urena lobata* L.) em tanque.



Fonte: Do autor.

Apesar de serem pequenas as diferenças, as concentrações de cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) (Figura 82) foram maiores em LAV do que em PRÉ em alguns dos intervalos de lavagem, apresentando maiores valores no segundo dia no primeiro experimento, e no primeiro dia no segundo experimento. Como observado nos igarapés monitorados, não se pode dizer que o cloreto presente na água fluvial é alterado pela lavagem de plantas de malva.

Figura 82 – Variação de  $\text{Cl}^-$  ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem da porção aérea de plantas de malva (*Urena lobata* L.) em tanque.

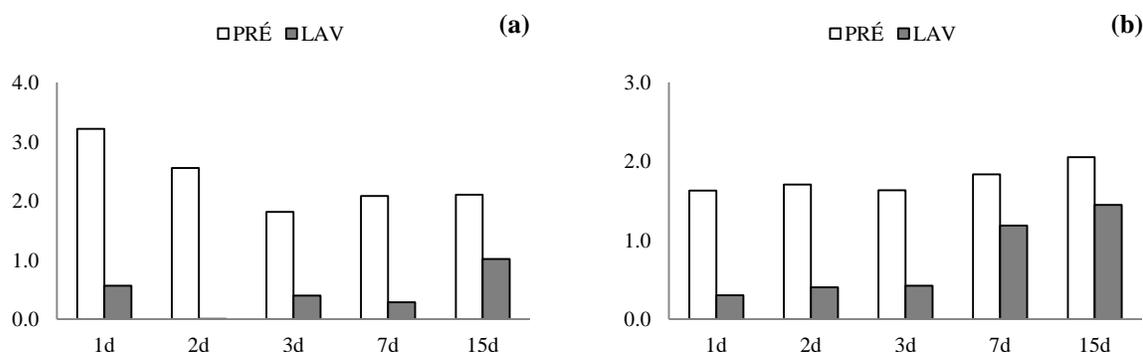


Fonte: Do autor.

No primeiro experimento, conforme o aumento no tempo de lavagem de plantas de malva foi observado uma redução nas concentrações de nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ) presente no meio (Figura 83). A diminuição foi gradativa em LAV até atingir um valor mínimo no segundo dia de lavagem, tornando a aumentar suas concentrações, nos intervalos seguintes, mas ainda em níveis inferiores a PRÉ.

Já no segundo experimento a redução do nitrato foi mais brusca, pois a menor concentração foi observada logo no primeiro dia do início do experimento, mas assim como no primeiro experimento, foi observada uma recuperação parcial dos teores de  $\text{N-NO}_3^-$ . A redução nas concentrações de  $\text{N-NO}_3^-$  também foi observada na maioria das ocasiões no monitoramento dos igarapés e pode ser explicada pela maior assimilação do nutriente pela biota aquática. Já o processo de nitrificação pode ser o responsável pela reinserção de nitrato no ambiente aquático.

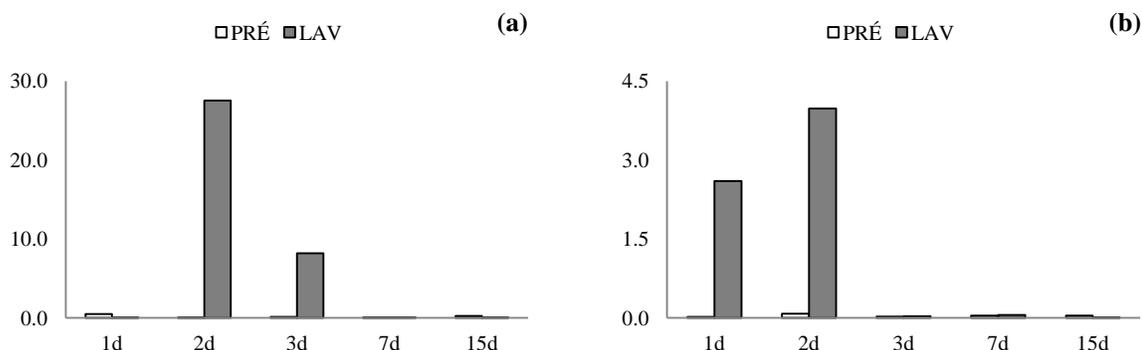
Figura 83 – Variação de  $\text{N-NO}_3^-$  ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem da porção aérea de plantas de malva (*Urena lobata* L.) em tanque.



Fonte: Do autor.

Com relação ao fosfato ( $\text{P-PO}_4^{3-}$ ), apesar de concentrações muito baixas, observaram-se valores máximos no segundo dia de lavagem em ambos experimentos (Figura 84), indicando ser esta lavagem uma atividade que contribui para alterar as concentrações de  $\text{P-PO}_4^{3-}$ , imediatamente após o local de depósito da malva. Por se tratar de um nutriente, o fosfato é demandado para o desenvolvimento de organismos. Dessa forma, Souza Filho et al. (2000), em estudo para verificar a capacidade de absorção de nutrientes pela planta de malva, constatou que um dos nutrientes dominantes no vegetal é o fósforo e, ainda, que a malva possui a habilidade de absorver nutrientes do ambiente em diferentes condições de pH da solução do solo, daí ser considerada como espécie invasora.

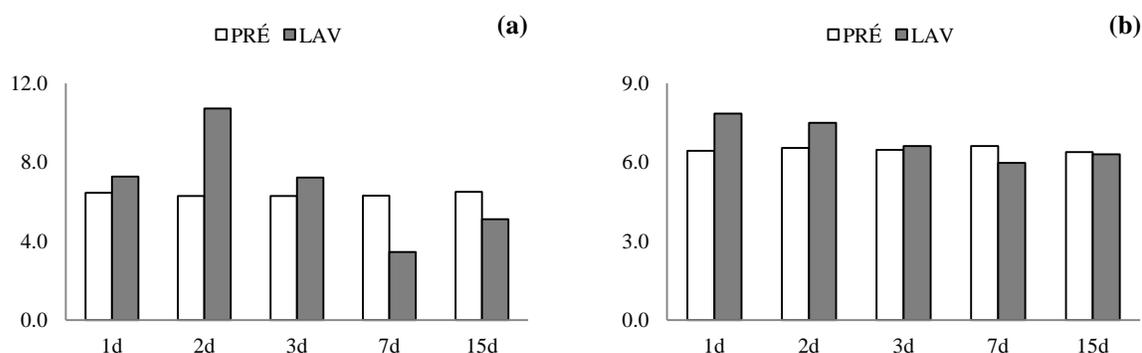
Figura 84 – Variação de  $P-PO_4^{3-}$  ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem da porção aérea de plantas de malva (*Urena lobata* L.) em tanque.



Fonte: Do autor.

O sulfato ( $SO_4^{2-}$ ) apresentou pequenas variações quando comparados os valores em LAV e PRÉ em ambos experimentos (Figura 85). No entanto, observou-se que, na maioria dos tempos de lavagem, os valores em LAV foram superiores aos observados em PRÉ. No primeiro experimento foi verificada a maior alteração no segundo dia de lavagem. Já no segundo experimento o maior valor de concentração foi encontrado logo no primeiro dia do experimento. Porém, nos igarapés monitorados, este parâmetro apresentou um padrão complexo, pois suas concentrações apresentaram variações positivas e negativas. Provavelmente, é necessária uma quantidade bem maior de malva do que aquela usualmente depositada no leito dos igarapés para alterar-se substancialmente as concentrações de  $SO_4^{2-}$ .

Figura 85 – Variação de  $SO_4^{2-}$  ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) no 1º experimento (a) e no 2º experimento (b) de lavagem da porção aérea de plantas de malva (*Urena lobata* L.) em tanque.

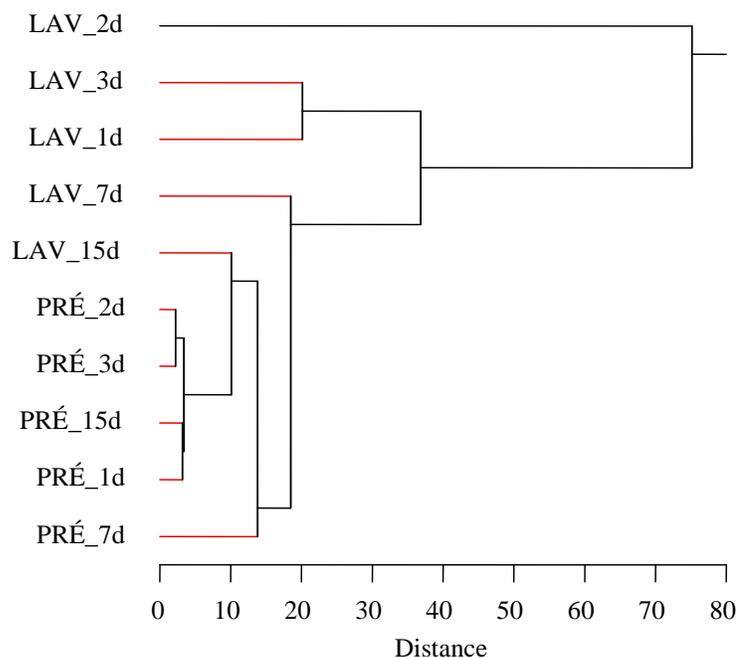


Fonte: Do autor.

A análise de cluster (Figura 86) realizada para os experimentos de malva em tanque confirmaram o observado durante as análises das figuras dos parâmetros avaliados nesta pesquisa. Verificou-se o agrupamento de PRÉ em todos os tempos amostrados, sugerindo a semelhança hidrogeoquímica entre as amostras. Porém, não observou-se agrupamento de PRÉ com LAV, significando que ambos tratamentos não apresentam semelhança hidrogeoquímica. A maior alteração em LAV foi verificada após dois dias de lavagem, revelada pela maior distância euclidiana da análise de cluster. Portanto, a análise de cluster corroborou a hipótese de alteração na hidrogeoquímica do ambiente fluvial como resposta à atividade de lavagem de malva.

Altos teores de nutrientes, notadamente fósforo, potássio, cálcio e magnésio em plantas de malva (*Urena lobata* L.) foram encontrados por Souza Filho et al. (2000) que constatou que essa habilidade do vegetal independe do pH do meio, porém em condições extremas de pH ocorre o aumento da capacidade de absorção. Tal estudo corrobora com o observado durante esta pesquisa, pois foram verificadas concentrações bem mais pronunciadas no local de lavagem das plantas de malva, significando que este vegetal, ao ter absorvido nutrientes do solo onde se desenvolveu, libera maiores concentrações destes nutrientes quando em processo de lavagem. Fato evidenciado quando se compara com as variações nos igarapés monitorados. Porém não foi investigado na presente pesquisa os teores nutricionais das plantas de malva e as diferenças observadas entre os experimentos e os igarapés monitorados, podem estar relacionadas a diferentes fatores: teor nutricional, tempo de permanência, quantidade de malva em processo de lavagem e ao volume de água escoada nos igarapés.

Figura 86 – Análise de Cluster para os experimentos de lavagem da porção aérea de plantas de malva (*Urena lobata* L.).



Fonte: Do autor.

Outro fator a ser considerado refere-se a variabilidade anual de clima. O presente estudo foi conduzido em um ano hidrológico com características de menor pluviosidade do que o normal para a região. Portanto, seus resultados configuram respostas a essa condição climática. Em anos mais chuvosos algumas dessas respostas serão, provavelmente, diferentes das observadas durante esta pesquisa. Dessa forma, apenas a repetição das mesmas avaliações poderão confirmar essa hipótese.

## 5 CONCLUSÕES

### 5.1 LAVAGEM DE RAÍZES DE MANDIOCA (*Manihot esculenta* Crantz)

Os igarapés monitorados demonstraram alterações na hidrobiogeoquímica fluvial sob influência da lavagem de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), identificando-se alterações a jusante em até pelo menos dez metros do local de depósito de mandioca nos igarapés.

Padrões de incremento nas concentrações dos íons dissolvidos  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  e  $P-PO_4^{3-}$ , bem como de COD, foram observadas nos igarapés monitorados, evidenciando a lavagem de raízes de mandioca como fonte localmente importante desses nutrientes. Foram constatadas reduções nos valores de pH e OD, assim como quedas nas concentrações de  $NO_3^-$  e  $SO_4^{2-}$ .

Essas alterações foram corroboradas pelos resultados do experimento em tanque, onde constataram-se efeitos provocados pela mandioca sobre a hidrobiogeoquímica, principalmente nos três primeiros dias de lavagem. Verificou-se, ainda, que as alterações variam conforme a quantidade de produto lavado e também em função da vazão do canal fluvial.

Como o processamento artesanal de mandioca é uma atividade agrícola importante na região estudada, recomenda-se não exceder-se na quantidade de mandioca a ser lavada, pois a intensificação da prática poderá ocasionar alterações maiores nos igarapés utilizados. Recomenda-se ainda que o uso da água dos igarapés nas propriedades agrícolas ocorra a montante ou após pelo menos dez metros a jusante do local de lavagem da mandioca.

Contudo, como este estudo foi pioneiro no que se refere a investigação dos impactos da lavagem de mandioca (pubagem) sobre pequenos igarapés, sugere-se ainda a continuidade do mesmo empregando-se análise de teores de cianeto em canais fluviais onde esta prática é realizada, bem como avaliando-se a variabilidade sazonal.

## 5.2 LAVAGEM DE PLANTAS DE MALVA (*Urena lobata* L.)

Verificou-se que a lavagem de plantas de malva (*Urena lobata* L.) contribuiu para alterar a hidrobiogeoquímica, de maneira mais expressiva do que a da mandioca, nos pequenos igarapés onde estas práticas foram identificadas e monitoradas. Constatou-se também que as alterações medidas podem manter-se além de dez metros a jusante do local de lavagem da malva. Observou-se um padrão no incremento de condutividade elétrica, COD e da maioria dos íons dissolvidos, principalmente,  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$  e  $Ca^{2+}$ . Verificou-se também redução nos teores de oxigênio dissolvido, pH,  $N-NO_3^-$  e  $N-NH_4^+$ . As alterações nestes componentes foram melhor evidenciadas nos experimentos, nos tempos de lavagem de um e dois dias, fortalecendo a hipótese de alteração na hidrobiogeoquímica provocada pelo processamento de plantas de malva.

Por estes motivos sugere-se: a redução da quantidade de malva a ser lavada nos igarapés; cuidado redobrado na utilização do igarapé nas propriedades agrícolas a jusante do ponto de lavagem de malva; e urgência quanto à aplicação de medidas alternativas ao processamento da malva em pequenos igarapés.

Levando-se em conta os resultados obtidos em relação às concentrações de carbono orgânico dissolvido, tanto no caso da lavagem de malva, como de mandioca, é importante que sejam realizadas pesquisas para avaliarem a possível presença de compostos orgânicos que possam ocasionar danos à saúde das populações ribeirinhas e agrícolas que fazem uso das águas dos igarapés da região.

Por fim, sugere-se para atividades de planejamento ambiental e monitoramento, que o pH, a CE e o oxigênio dissolvido sejam adotados como os parâmetros mais simples e indicativos de qualidade da água no tocante a influência da lavagem de raízes de mandioca e de malva em pequenos igarapés da Região Nordeste do Estado do Pará.

## REFERÊNCIAS

- ALLAN, J. D.; CASTILLO, M. M. *Stream ecology: structure and function of running waters*. 2<sup>nd</sup> ed. Netherlands: Springer, 2007. 436p.
- ALMEIDA, J. *Mandioca na alimentação animal*. Brasil: Agronline. 2006. Disponível em: <<http://www.agronline.com.br/artigos/artigo.php?id=189&pg=1&n=5>>. Acesso: 20 jan. 2009.
- ALMEIDA, J.; FERREIRA FILHO, J. R. Mandioca: uma boa alternativa para alimentação animal. *Bahia Agrícola*, Cruz das Almas, v.7, n.1, p. 50 – 56. 2005.
- ANDRIOLI, A. I. Agricultura familiar e sustentabilidade ambiental. *Revista Espaço Acadêmico*, n. 89. 2008. Disponível em: <<http://www.espacoacademico.com.br/089/89andrioli.pdf>>. Acesso em: 02 mar. 2010.
- BAIRD, C. *Química ambiental*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 622 p.
- BALLESTER, M. V. R. et al. A remote sensing/GIS-based physical template to understand the biogeochemistry of the Ji-Paraná river basin (Western Amazônia). *Remote Sensing of Environment*, n. 87, p. 429–445. 2003.
- BIGGS, T. W. et al. Relative influence of natural watershed properties and human disturbance on stream solute concentrations in the southwestern Brazilian Amazon basin. *Water Resources Research*, v. 38, n. 8. p.1-16. 2002. 1150, 10.1029/2001WR000271.
- BIGGS, T.W.; DUNNE, T.; MARTINELLI, L.A. Natural controls and human impacts on stream nutrient concentrations in a deforested region of the Brazilian Amazon basin. *Biogeochemistry*, 68, p. 227–257. 2004.
- BRAGA, B. et al. *Introdução à engenharia ambiental*. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 336 p.
- BRANCO, S. M. A dinâmica de populações microbiológicas na estabilidade aeróbica de resíduos orgânicos de feculárias de mandioca. *Revista da Saúde Pública*, São Paulo, v.1, n.2, p. 140-162. 1967.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. *Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasi*. Brasília: ANA; SPR, 2005.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. *Cuidando das águas: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos*. Brasília: ANA; PNUMA, 2011.
- BRASIL. Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. *Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/19433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/19433.htm)>. Acesso em: 22 dez. 2009.

CAMILI, E. A. ; CABELLO, C. Avaliação do processo de flotação no tratamento da manipueira originada da fabricação de farinha de mandioca. *Revista Energia na Agricultura*. Botucatu, v. 23, n.1, p.32-45. 2008.

CARDOSO, E. *Uso de manipueira como biofertilizante no cultivo do milho: avaliação do efeito no solo, nas águas subterrâneas e na produtividade do milho*. 2005. 53f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais), Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2005.

CARMOUZE, J.-P. *O metabolismo dos ecossistemas aquáticos: fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas*. São Paulo: Edgard Blücher; FAPESP, 1994.

CARVALHO, J. E. U. de. *Influência do método de descascamento de sementes de malva, Urena lobata L.* 1988. 84f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1988.

CENI, G. C. et al. Evaluation of nutritional of components of cassava's varieties (*Manihot esculenta* Crantz). *Alim. Nutr.*, Araraquara, v.20. n.1, p. 107-111. 2009.

CEREDA, M.P. *Resíduos da industrialização da mandioca no Brasil*. São Paulo: Paulicéia, 1994. 174 p.

CHRISTOPHERSEN, N. et al. Hydrochemical Studies. In: MOLDAN, B.; CERNY, J. (Eds.) *Biogeochemistry of Small Catchments: a tool for environmental research*. England: John Wiley & Sons, p. 285-298, 1994 (Series SCOPE report; 51).

CIMINELLI, V. S. T.; GOMES, A. D. Princípios da cianetação. In: TRINDADE, R. de B. E.; BARBOSA FILHO, O. (Ed.). *Extração de ouro – princípios, tecnologia e meio ambiente*. Rio de Janeiro, 2002. p. 51-86.

COHEN, K. de O.; OLIVEIRA, S. S.; CHISTÉ, R. C. *Quantificação dos teores de compostos cianogênicos totais em produtos elaborados com raízes de mandioca*. Belém: Embrapa Amazônia Oriental. 2007. 21 p. (Séries Documentos, n. 290).

COMPANHIA DE PESQUISAS E RECURSOS MINERAIS – CPRM. *Rochas carbonáticas de Marapanim – PA*. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=258&sid=32>>. Acesso em: 19 set. 2010.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. *Variáveis da qualidade das águas*. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/34-variaveis-de-qualidade-das-aguas---old>>. Acesso em: 28 jan. 2011.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. *Análise físico-química das águas*. São Paulo. 1978. 340 p. (Normalização Técnica NT-07.).

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. *Guia de coleta e preservação de amostras de água*. São Paulo. 1987. 150 p.

- CORDEIRO, A.H.F.; PACHÊCO, N.A.; SANTIAGO, A.V. Climatologia da precipitação no município de Igarapé-Açu, PA. Período: 1995-2009. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16., 2010, Belém-PA. *Anais...* Belém-Pa: SBMT, 2010.
- DANSO, K. E.; SERFOR-ARMAH, Y.; NYARKO, B. J. B.; S.; OSAE, E. K. Determination of some mineral components of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) using instrumental neutron activation analysis. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. v. 250, n. 1, p. 139–142. 2001.
- DIAS, L. T.; LEONEL, M. Caracterização físico-química de farinhas de mandioca de diferentes localidades do Brasil. *Ciênc. agrotec.*, Lavras, v. 30, n. 4, p. 692-700, jul./ago. 2005
- DIEGUES, A. C. S. *O mito moderno da natureza intocada*. São Paulo: NUPAUB, 1994.
- ESTEVEES, F. A. *Fundamentos de limnologia*. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência. 1998. 602 p.
- FAGUNDES, M. H. *Sementes de juta e malva: algumas observações*. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/conabweb/download/cas/especiais/sementes\\_juta\\_malva\\_internet.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/cas/especiais/sementes_juta_malva_internet.pdf)>. Acesso em: 20 jan. 2009.
- FAVARO, S. P. et al. The roles of cell wall polymers and intracellular components in the thermal softening of cassava roots. *Food Chem.*, v. 108, p. 220-227, 2008.
- FERREIRA, A. da S. et al. Inovação tecnológica e relação de poder: pensando uma alternativa ecologicamente viável e socialmente sustentável para produção de juta e/ou malva no Estado do Amazonas. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, 4., 2008, Brasília,DF. *Atas...* Brasília: ANPPAS, 2008.
- FIGUEIREDO, R. O. Processos hidrológicos e biogeoquímicos em bacias hidrográficas sob usos agrícola e agroflorestal na Amazônia Brasileira. In: PORRO, R. (Ed.). *Alternativa agroflorestal na Amazônia em transformação*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. p. 477-500.
- FIGUEIREDO, R. O. et al. Land-use effects on the chemical attributes of low-order streams in the eastern Amazon. *J. Geophys. Res.* 115, G04004, doi:10.1029/2009JG001200, 2010.
- FIGUEIREDO, R. O, MARKEWITZ, D., DAVIDSON, E. A., PIRES, C. S, GERHARD, P (2010), Rainwater chemistry in the Eastern Amazon along a Gradient from the Ocean, *Eos Trans. AGU*, 91(26), Meet. Am. Suppl., Abstract H42A-02.
- FIORETTO, R. A. Uso direto da manipueira em fertirrigação. In: CEREDA, M.P (Coord.) *Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca*. São Paulo: Fundação CARGILL, 2001. v 4, p.67 – 79.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, *Faostat*. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em: 03 mar. 2011.

- KATO, O. R. et al. Plantio direto na capoeira. *Ciência e Ambiente*, v 29, p. 99-111. 2004.
- KRUSCHE, A. V. et al. Efeitos das mudanças do uso da terra na biogeoquímica dos corpos d'água da bacia do rio Ji-Paraná, Rondônia. *Acta Amazônica*. v 35, n. 2, p. 197 – 205. 2005.
- LAMPERT, W.; SOMMER, U. *Limnoecology*. 2ª Ed. New York: Oxford, 2007.
- LEITE, N. K. et al. Groundwater quality comparison between rural farms and riparian wells in the Western Amazon, Brazil. *Quim. Nova*, v. 34, n. 1, p. 11-15. 2011.
- LENZI, E. et al. *Introdução à química da água: ciência, vida e sobrevivência*. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- MARKEWITZ, D. et al. Control of cation concentrations in stream waters by surface soil processes in an Amazonian watershed. *Nature*, v. 410, p.802-805, 2001.
- MARQUES, J. de A.; MAGGIONI, D. *Utilização dos subprodutos da mandioca na alimentação de ruminantes*. Disponível em: <<http://www.cerat.unesp.br/compendio/palestras/palestra17.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2011.
- MOLDAN, B.; CERNY, J. Small Catchments Research. In: Bedrich Moldan and Jiri Cerny (Eds.) *Biogeochemistry of Small Catchments: A Tool for Environmental Research*. England: John Wiley & Sons, p. 1-29, 1994 (Series SCOPE report; 51).
- NEILL, C. et. al. Deforestation for pasture alters nitrogen and phosphorus in small amazonian streams. *Ecological Applications*, v. 11, n. 6, p. 1817 – 1828. 2001.
- NEILL, C. et al. Hydrological and biogeochemical processes in a changing Amazon: results from small watershed studies and the large-scale biosphere-atmosphere experiment. *Hydrological Processes*, v. 20, p. 2467–2476. 2006.
- NODA, H. *Agricultura familiar na Amazônia, segurança alimentar e agroecologia*. Disponível em: <<http://www.emater.pa.gov.br/EmaterPortal/downloads/redestematicas/agriFamAmz.pdf>>. Acesso em: 25 jun. 2010.
- OLIVEIRA, R. R. S. et al. Análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra nas microbacias hidrográficas dos igarapés Timboteua e Peripindeua, Nordeste Paraense. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA, 14., 2010, Belém. *Resumo...* Belém: EMBRAPA, 2010.
- OLIVEIRA, R. R. S. et al. Análise da vulnerabilidade natural dos solos à erosão como subsídio ao planejamento territorial em área da microbacia do igarapé Peripindeua, Nordeste Paraense. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 15., 2011, Curitiba. *Anais...* Curitiba: INPE, 2011.

PARÁ, Secretaria de Estado de Agricultura - SAGRI. *Evolução da produção por município de 2003 a 2009*. Disponível em: <<http://www.sagri.pa.gov.br/?q=node/125>>. Acesso em: 03 mar. 2011.

PARÁ. Secretaria de Estado de Planejamento, Orçamento e Finanças - SEPOF. *Estatística municipal - Igarapé-Açu*. Disponível em: <[http://www.sie.pa.gov.br/sie/paginas/Estatistica\\_Municipal/pdf/IgarapeAcu.pdf](http://www.sie.pa.gov.br/sie/paginas/Estatistica_Municipal/pdf/IgarapeAcu.pdf)>. Acesso em: 18 jan. 2011.

PARÁ. Secretaria de Estado de Planejamento, Orçamento e Finanças - SEPOF. *Estatística municipal - Mãe do Rio*. Disponível em: <[http://www.sie.pa.gov.br/sie/paginas/Estatistica\\_Municipal/pdf/IgarapeAcu.pdf](http://www.sie.pa.gov.br/sie/paginas/Estatistica_Municipal/pdf/IgarapeAcu.pdf)>. Acesso em: 18 jan. 2011.

PINHO, M. M. C. de A. *Reaproveitamento de resíduo do processamento da mandioca (manipueira): avaliação de impactos químicos e microbiológicos no solo e utilização como fertilizante*. 2007. 65 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2007.

PONTE, J. J. da. Uso da manipueira como insumo agrícola: defensivo e fertilizante. In: CEREDA, M. P. (coord). *Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca*. São Paulo: Fundação Cargill, 2000. p. 80-95.

REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. 3ª Ed. São Paulo: Escritoras, 2006.

RICHEY, J. E. et al. Organic matter and nutrient dynamics in river corridors of the Amazon basin and their response to anthropogenic change. *Ciência e cultura*. v. 49, n. 1/2, p. 98 – 110. 1997.

ROSA, L. S. *Limites e possibilidades do uso sustentável dos produtos madeireiros e não madeireiros na Amazônia brasileira: o caso dos pequenos agricultores da Vila Boa Esperança, em Moju, no Estado do Pará*. 2002. 304f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará/Núcleo de Altos Estudos da Amazônia, Belém, 2002.

ROSA, M. B. S. *Dinâmica do carbono em pequenas bacias de drenagem sob uso de agricultura familiar na Amazônia Oriental*. 2007. 99 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.

SATYANARAYANA, K. G.; GUIMARÃES, J. L.; WYPYCH, F. Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part I: Source, production, morphology, properties and applications. *Science Direct*. Composites: Part A 38, p. 1694–1709. 2007.

SCHLESINGER, W. H. *Biogeochemistry: an analysis of global change*. 2ª Ed. San Diego: Academic Press, 1997.

SILVA, F. F. da et al. Flutuação das características químicas do efluente industrial de fecularia de mandioca. *Acta Scientiarum: Agronomy*. Maringá, v. 25, n. 1, p. 167-175. 2003.

SILVA, J. T. DA et al. Derivados de la yuca y componentes tóxicos en Brasil. *Temas Agrários*, v. 13, n. 2, p. 5-16. 2008.

SILVA, L. G. T. et al. Caracterização e mapeamento dos solos de duas mesobacias hidrográficas no Nordeste Paraense. In: I SEMINÁRIO GESTABACIAS: Resultados de pesquisas em mesobacias do Nordeste Paraense e sua aplicação no desenvolvimento rural, 1., 2010, Belém. *Resumo*. Belém: EMBRAPA, 2010.

SOMMER, R. et al. Nutrient balance of shifting cultivation by burning or mulching in the Eastern Amazon – evidence for subsoil nutrient accumulation. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. v. 68, p. 257–271. 2004.

SOUZA FILHO, A. P. S.; VELOSO, C. A. C. e GAMA, J. R. N. Capacidade de absorção de nutrientes do capim-marandu (*Brachiaria brizantha*) e da planta daninha malva (*Urena lobata*) em função do pH. *Planta Daninha*. v. 18, n. 3, p. 443-450. 2000.

SOUZA, J. R. S. de; ROCHA, E. J. P. da; COHEN, J. C. P. Avaliação dos impactos antropogênicos no ciclo da água na Amazônia. In: ARAGÓN, L. E.; CLÜSENER-GODT, M. *Problemática do uso local e global da água da Amazônia*. Belém: NAEA, 2003. p. 69-94.

TENÓRIO, R. *Preocupação ambiental abriu novo mercado para a juta*. Disponível em: <<http://sisflor.org.br/noticia/MostraNoticia.asp?par=693>>. Acesso em: 20 jan. 2009.

THOMAS, S. M. et al. Influences of land use and stream size on particulate and dissolved materials in a small Amazonian stream network. *Biogeochemistry*. v. 68, p. 135–151. 2004.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

VIEIRA, T. A. et al. Sistemas agroflorestais em áreas de agricultores familiares em Igarapé-Açu, Pará: caracterização florística, implantação e manejo. *Acta Amazonica*. v. 37, n. 4, p. 549 – 558. 2007.

WICKEL, B. A. J. Water and nutrient dynamics of a humid tropical watershed in Eastern Amazonia. 2004. 135f. – Thesis Center of Development Research-University of Bonn, Bonn, 2004. (Ecology and Development Series, n. 21.)

ZOLDAN, G. (Coord.). Manual de referência para casas de farinha boas práticas de fabricação diagnóstico ambiental saúde e segurança no trabalho. Maceió: SEBRAE, 2006. 24 p.

**APÊNDICE(S)**

**APÊNDICE A – LAVAGEM DE RAÍZES DE MANDIOCA (*MANIHOT ESCULENTA* CRANTZ) EM UM TRECHO DO IGARAPÉ PASSAGEM – PAS**



Fonte: Do autor

**APÊNDICE B – LAVAGEM DE RAÍZES DE MANDIOCA (*MANIHOT ESCULENTA* CRANTZ) EM UM TRECHO DO IGARAPÉ DIVISA – DIV**



Fonte: Do autor.

**APÊNDICE C – LAVAGEM DE RAÍZES DE MANDIOCA (*MANIHOT ESCULENTA* CRANTZ) EM UM TRECHO DO IGARAPÉ BREU – BRE**



Fonte: Do autor.

**APÊNDICE D – LAVAGEM DE RAÍZES DE MANDIOCA (*MANIHOT ESCULENTA* CRANTZ) EM UM TRECHO DO IGARAPÉ COLÔNIA – COL**



Fonte: Do autor.

**APÊNDICE E – LAVAGEM DE RAÍZES DE MANDIOCA (*MANIHOT ESCULENTA* CRANTZ) EM UM TRECHO DO IGARAPÉ AREIA – ARE**



Fonte: Do autor.

**APÊNDICE F – EXPERIMENTO DE LAVAGEM DE RAÍZES DE MANDIOCA (*MANIHOT ESCULENTA* CRANTZ) EM TANQUE**



Fonte: Do autor.

**APÊNDICE G – LAVAGEM DE RAÍZES DE PLANTAS DE MALVA (*URENA LOBATA* L.) EM UM TRECHO DO IGARAPÉ PORAQUÊ – POR**



Fonte: Do autor.

**APÊNDICE H – LAVAGEM DE RAÍZES DE PLANTAS DE MALVA (*URENA LOBATA* L.) EM UM TRECHO DO IGARAPÉ ESCURA – ESC**



Fonte: Do autor.

**APÊNDICE I – LAVAGEM DE RAÍZES DE PLANTAS DE MALVA (*URENA LOBATA* L.) EM UM TRECHO DO IGARAPÉ “SEM NOME”, TRIBUTÁRIO DO IGARAPÉ PERIPINDEUA – TRIB**



Fonte: Do autor.

**APÊNDICE J – LAVAGEM DE RAÍZES DE PLANTAS DE MALVA (*URENA LOBATA* L.) EM UM TRECHO DO IGARAPÉ AREIA – ARE**



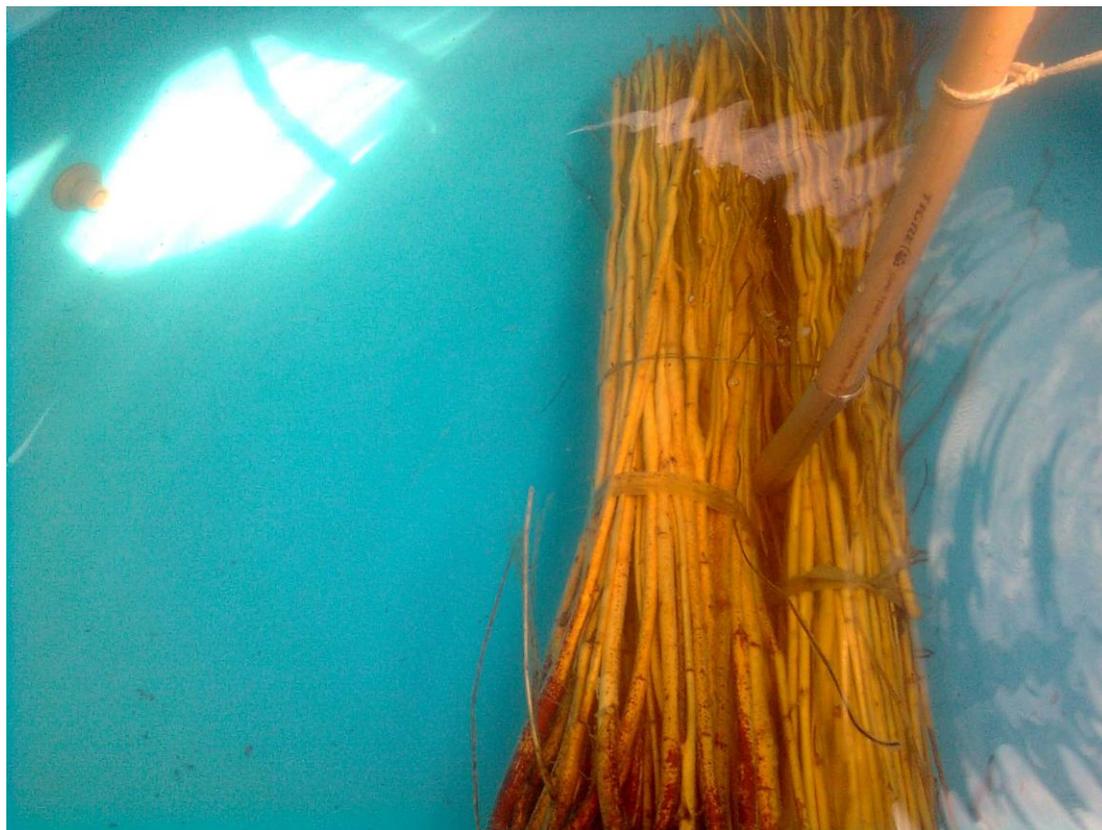
Fonte: Do autor.

**APÊNDICE K – LAVAGEM DE RAÍZES DE PLANTAS DE MALVA (*URENA LOBATA* L.) EM UM TRECHO DO IGARAPÉ CAJUAÇU – CAJ**



Fonte: Do autor.

**APÊNDICE L – EXPERIMENTO DE LAVAGEM DE PLANTAS DE MALVA (*URENA LOBATA* L.) EM TANQUE**



Fonte: Do autor.

**APÊNDICE M – PROCESSO DE DESFIBRAMENTO DA MALVA (*URENA LOBATA* L.) APÓS 15 DIAS DE LAVAGEM EM IGARAPÉ NA REGIÃO NORDESTE PARAENSE**



Fonte: Do autor.

**APÊNDICE N – PROCESSO DE SECAGEM DA MALVA (*URENA LOBATA* L.) APÓS DESFIBRAMENTO**

Fonte: Do autor.

**APÊNDICE O – MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN ENTRE AS VARIÁVEIS AVALIADAS DURANTE O MONITORAMENTO DA LAVAGEM DE MANDIOÇA (*MANIHOT ESCULENTA* CRANTZ) EM PEQUENOS IGARAPÉS.**

	H <sup>+</sup> ( $\mu$ M)	OD (% sat)	CE ( $\mu$ S)	COD (mg L <sup>-1</sup> )	CID (mg L <sup>-1</sup> )	NT (mg L <sup>-1</sup> )	NOD (mg L <sup>-1</sup> )	Na <sup>+</sup> ( $\mu$ eq L <sup>-1</sup> )	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ( $\mu$ eq L <sup>-1</sup> )	K <sup>+</sup> ( $\mu$ eq L <sup>-1</sup> )	Mg <sup>2+</sup> ( $\mu$ eq L <sup>-1</sup> )	Ca <sup>2+</sup> ( $\mu$ eq L <sup>-1</sup> )	Cl <sup>-</sup> ( $\mu$ eq L <sup>-1</sup> )	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ( $\mu$ eq L <sup>-1</sup> )	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ( $\mu$ eq L <sup>-1</sup> )	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ( $\mu$ eq L <sup>-1</sup> )
H <sup>+</sup> ( $\mu$ M)	1.000															
OD (% sat)	0.071	1.000														
CE ( $\mu$ S)	-0.168	-0.558 ***	1.000													
COD (mg L <sup>-1</sup> )	-0.300 *	-0.195	0.552 ***	1.000												
CID (mg L <sup>-1</sup> )	-0.500 ***	-0.251	0.430 **	0.256	1.000											
NT (mg L <sup>-1</sup> )	-0.283 *	0.042	0.287 *	0.722 ***	0.004	1.000										
NOD (mg L <sup>-1</sup> )	-0.144	-0.207	0.190	0.489 ***	-0.095	0.595 ***	1.000									
Na <sup>+</sup> ( $\mu$ eq L <sup>-1</sup> )	0.111	-0.695 ***	0.455 ***	0.346 *	0.120	0.086	0.271 *	1.000								
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ( $\mu$ eq L <sup>-1</sup> )	-0.134	0.060	0.167	0.251	0.426 **	0.074	-0.056	-0.089	1.000							
K <sup>+</sup> ( $\mu$ eq L <sup>-1</sup> )	-0.172	-0.410 **	0.526 ***	0.681 ***	0.235	0.399 **	0.449 ***	0.548 ***	0.072	1.000						
Mg <sup>2+</sup> ( $\mu$ eq L <sup>-1</sup> )	-0.408 **	-0.072	0.371 **	0.552 ***	0.307 *	0.453 ***	0.534 ***	0.316 *	-0.126	0.726 ***	1.000					
Ca <sup>2+</sup> ( $\mu$ eq L <sup>-1</sup> )	-0.455 ***	-0.026	0.319 *	0.531 ***	0.264	0.419 **	0.486 ***	0.234	-0.044	0.749 ***	0.961 ***	1.000				
Cl <sup>-</sup> ( $\mu$ eq L <sup>-1</sup> )	-0.070	-0.441 **	0.395 **	0.145	0.114	-0.089	0.204	0.353 **	-0.277 *	0.477 ***	0.488 ***	0.475 ***	1.000			
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ( $\mu$ eq L <sup>-1</sup> )	0.287 *	0.404 **	-0.405 **	-0.482 ***	-0.329 *	-0.272 *	-0.594 ***	-0.551 ***	0.140	-0.709 ***	-0.862 ***	-0.773 ***	-0.544 ***	1.000		
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ( $\mu$ eq L <sup>-1</sup> )	0.082 *	0.279 *	-0.100 **	-0.154	-0.125	-0.120	-0.314 **	-0.289 *	0.015	-0.356 **	-0.379 **	-0.333 *	-0.039	0.459 ***	1.000	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ( $\mu$ eq L <sup>-1</sup> )	0.220	0.610 ***	-0.399 **	-0.231	-0.453 **	-0.189	-0.093	-0.295 *	-0.202	-0.290 *	0.049	0.013	-0.083	0.112	0.083	1.000

\* Corresponde a valores de  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$  e \*\*\*  $p < 0,001$ .

Fonte: Do autor.

**APÊNDICE P – MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN ENTRE AS VARIÁVEIS AVALIADAS DURANTE O MONITORAMENTO DA LAVAGEM DE MANDIOCA (*MANIHOT ESCULENTA* CRANTZ) EM EXPERIMENTO EM TANQUE.**

	H <sup>+</sup> (µM)	OD (% sat)	CE (µS)	Turb. (FTU)	COD (mg L <sup>-1</sup> )	CID (mg L <sup>-1</sup> )	NT (mg L <sup>-1</sup> )	NOD (mg L <sup>-1</sup> )	Na <sup>+</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	K <sup>+</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	Mg <sup>2+</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	Ca <sup>2+</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	Cl <sup>-</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )
H <sup>+</sup> (µM)	1.000																
OD (% sat)	0.254	1.000															
CE (µS)	0.148	-0.517 **	1.000														
Turb. (FTU)	-0.609 *	-0.813 **	0.319	1.000													
COD (mg L <sup>-1</sup> )	-0.238 **	-0.831 ***	0.522 **	0.725 **	1.000												
CID (mg L <sup>-1</sup> )	-0.228 *	-0.498 *	0.158	-0.042	0.566 **	1.000											
NT (mg L <sup>-1</sup> )	0.115	-0.239 **	0.300	-0.820 **	0.522 **	0.448 *	1.000										
NOD (mg L <sup>-1</sup> )	-0.258	-0.115	0.323	0.676 *	0.200	-0.402	0.094	1.000									
Na <sup>+</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	-0.155 *	-0.296 *	0.427 *	0.567	0.275	-0.310	0.047	0.615 **	1.000								
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	-0.045	0.395	-0.251	-0.575	-0.231	-0.107	0.232	0.366	-0.011	1.000							
K <sup>+</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	-0.297 **	-0.718 ***	0.586 **	0.820 **	0.777 ***	0.221	0.320	0.524 **	0.629 **	-0.071	1.000						
Mg <sup>2+</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	-0.377 **	-0.730 ***	0.413 *	0.789 **	0.882 ***	0.352	0.435 *	0.401	0.484 *	-0.095	0.868 ***	1.000					
Ca <sup>2+</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	-0.517 **	-0.751 ***	0.427 *	0.844 ***	0.808 ***	0.263	0.318	0.485 *	0.446 *	-0.050	0.832 ***	0.905 ***	1.000				
Cl <sup>-</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	0.214	-0.389 *	0.470 *	-0.137 *	0.468 *	0.181	0.626 **	0.201	0.440 *	-0.007	0.405 *	0.432 *	0.337	1.000			
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	0.449 *	0.584 **	-0.418 *	-0.676 *	-0.626 **	-0.002	-0.099	-0.795 ***	-0.590 **	-0.005	-0.783 ***	-0.745 ***	-0.750 ***	-0.262	1.000		
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	-0.181	-0.014	0.148	0.188	-0.006	-0.524 **	0.028	0.818 ***	0.478 *	0.377	0.279	0.177	0.305	0.138	-0.529 **	1.000	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	-0.096	0.092	0.398	-0.371	0.177	-0.125	0.544 **	0.586 **	0.462 *	0.369	0.395	0.244	0.290	0.363	-0.292	0.428 **	1.000

\* Corresponde a valores de  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$  e \*\*\*  $p < 0,001$ .

Fonte: Do autor.

**APÊNDICE Q – MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN ENTRE AS VARIÁVEIS AVALIADAS DURANTE O MONITORAMENTO DA LAVAGEM DE PLANTAS DE MALVA (*URENA LOBATA* L.) EM PEQUENOS IGARAPÉS.**

	H <sup>+</sup> (µM)	OD (% sat)	CE (µS)	Turb. (FTU)	COD (mg L <sup>-1</sup> )	CID (mg L <sup>-1</sup> )	NT (mg L <sup>-1</sup> )	NOD (mg L <sup>-1</sup> )	Na <sup>+</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	K <sup>+</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	Mg <sup>2+</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	Ca <sup>2+</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	Cl <sup>-</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )
H <sup>+</sup> (µM)	1.000																
OD (% sat)	-0.226	1.000															
CE (µS)	-0.464 **	-0.431	1.000														
Turb. (FTU)	-0.339	0.326	0.267	1.000													
COD (mg L <sup>-1</sup> )	0.339	-0.687 ***	0.458 *	-0.022	1.000												
CID (mg L <sup>-1</sup> )	0.371 *	-0.435 *	0.101	0.080	0.621 ***	1.000											
NT (mg L <sup>-1</sup> )	-0.069	-0.111	0.173	0.074	0.285	0.277	1.000										
NOD (mg L <sup>-1</sup> )	0.335	-0.502 **	0.473 **	0.182	0.771 ***	0.589 ***	0.375 *	1.000									
Na <sup>+</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	-0.225 **	0.469 **	-0.108	0.094	-0.541 **	-0.732 ***	-0.287	-0.404 *	1.000								
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	0.342	-0.136	-0.113	-0.278	0.071	0.116	-0.267	0.004	0.065	1.000							
K <sup>+</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	-0.246	-0.061	0.571 ***	0.408 *	0.226	-0.122	-0.057	0.308	0.337	0.285	1.000						
Mg <sup>2+</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	-0.010	-0.352	0.588 ***	0.211	0.552 **	0.315	0.128	0.719 ***	-0.105	0.235	0.679 ***	1.000					
Ca <sup>2+</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	-0.237	-0.516 **	0.610 ***	-0.018	0.527 **	0.479 **	0.375 *	0.446 *	-0.623 ***	-0.207	-0.064	0.399 *	1.000				
Cl <sup>-</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	-0.534 **	0.294	0.408 *	0.535 **	-0.089	-0.272	0.182	0.005	0.463 **	0.003	0.749 ***	0.417 *	-0.109	1.000			
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	-0.470 **	0.301	-0.230	-0.150	-0.615 ***	-0.484 **	0.008	-0.808 ***	0.156	-0.132	-0.314	-0.685 ***	-0.182	0.050	1.000		
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	0.501 **	-0.331	-0.350	-0.342	0.256	0.332	-0.023	0.143	-0.380 *	0.051	-0.274	0.037	-0.001	-0.443 *	-0.278	1.000	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (µeq L <sup>-1</sup> )	-0.394 *	-0.325	0.498 **	-0.208	0.210	0.210	0.227	0.008	-0.357	-0.346	-0.248	-0.059	0.704 ***	-0.098	0.204	-0.225	1.000

\* Corresponde a valores de  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$  e \*\*\*  $p < 0,001$ .

Fonte: Do autor.

**APÊNDICE R – MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN ENTRE AS VARIÁVEIS AVALIADAS DURANTE O MONITORAMENTO DA LAVAGEM DE MALVA (*URENA LOBATA* L.) EM EXPERIMENTO EM TANQUE.**

	H <sup>+</sup> (μM)	OD (% sat)	CE (μS)	Turb. (FTU)	COD (mg L <sup>-1</sup> )	CID (mg L <sup>-1</sup> )	NT (mg L <sup>-1</sup> )	NOD (mg L <sup>-1</sup> )	Na <sup>+</sup> (μeq L <sup>-1</sup> )	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (μeq L <sup>-1</sup> )	K <sup>+</sup> (μeq L <sup>-1</sup> )	Mg <sup>2+</sup> (μeq L <sup>-1</sup> )	Ca <sup>2+</sup> (μeq L <sup>-1</sup> )	Cl <sup>-</sup> (μeq L <sup>-1</sup> )	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (μeq L <sup>-1</sup> )	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (μeq L <sup>-1</sup> )	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (μeq L <sup>-1</sup> )
H <sup>+</sup> (μM)	1.000																
OD (% sat)	0.788	1.000															
CE (μS)	***		1.000														
Turb. (FTU)	-0.561	-0.671		1.000													
COD (mg L <sup>-1</sup> )	**	***			1.000												
CID (mg L <sup>-1</sup> )	-0.811	-0.789	0.685			1.000											
NT (mg L <sup>-1</sup> )	***	***	***				1.000										
NOD (mg L <sup>-1</sup> )	-0.828	-0.823	0.582	0.874				1.000									
Na <sup>+</sup> (μeq L <sup>-1</sup> )	***	***	**	***					1.000								
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (μeq L <sup>-1</sup> )	0.286	0.313	-0.009	-0.071	-0.277					1.000							
K <sup>+</sup> (μeq L <sup>-1</sup> )	0.007	-0.017	0.090	0.046	0.026	0.090					1.000						
Mg <sup>2+</sup> (μeq L <sup>-1</sup> )	-0.309	-0.420	0.511	0.510	0.498	0.295	0.549					1.000					
Ca <sup>2+</sup> (μeq L <sup>-1</sup> )	*	*	*	*	*	*	**						1.000				
Cl <sup>-</sup> (μeq L <sup>-1</sup> )	-0.640	-0.677	0.740	0.715	0.700	-0.189	0.049	0.474						1.000			
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (μeq L <sup>-1</sup> )	***	***	***	***	***	***	*	*	1.000								
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (μeq L <sup>-1</sup> )	0.850	0.708	-0.487	-0.805	-0.840	0.166	-0.003	-0.474	-0.737						1.000		
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (μeq L <sup>-1</sup> )	***	***	*	***	***	***	*	*	***	1.000							
	-0.655	-0.701	0.597	0.642	0.685	-0.136	0.207	0.502	0.653	-0.511							
	***	***	**	***	***	*	*	*	***	*	1.000						
	-0.663	-0.679	0.522	0.754	0.758	-0.191	-0.038	0.474	0.687	-0.710	0.710						
	***	***	**	***	***	*	*	*	***	***	***	1.000					
	-0.677	-0.618	0.354	0.664	0.760	-0.230	-0.021	0.408	0.588	-0.747	0.658	0.920					
	***	**	*	***	***	*	*	*	**	***	***	***	1.000				
	-0.364	-0.371	0.610	0.477	0.381	0.064	-0.053	0.350	0.802	-0.429	0.361	0.432	0.294				
	***	**	**	*	*	*	*	*	***	*	*	*	*	1.000			
	0.650	0.592	-0.310	-0.669	-0.737	0.088	0.084	-0.400	-0.425	0.591	-0.558	-0.811	-0.831	-0.343			
	***	**	***	***	***	*	*	*	*	**	**	***	***	*	1.000		
	-0.267	-0.412	0.426	0.312	0.277	0.067	0.585	0.670	0.427	-0.227	0.507	0.162	0.100	0.302	-0.074		
	***	*	*	*	*	*	**	***	*	*	*	*	*	*	*	1.000	
	-0.172	-0.240	0.381	0.268	0.315	0.395	0.235	0.696	0.437	-0.276	0.420	0.302	0.253	0.545	-0.338	0.461	1.000
	***	*	*	*	*	*	*	***	*	*	*	*	*	**	*	*	*

\* Corresponde a valores de  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$  e \*\*\*  $p < 0,001$ .

Fonte: Do autor.