

# Stabilization time of chemical attributes and nutritional quality of manipueira for biofertilization

## *Tempo de estabilização dos atributos químicos e qualidade nutricional da manipueira para biofertilização*

Marcelo Hentges<sup>1</sup>, José Maria Arcanjo Alves<sup>2</sup>, Luiz Fernandes Silva Dionísio<sup>3</sup>, Deyse Cristina Oliveira da Silva<sup>4</sup>, Yenara Alves Guedes<sup>5</sup>, Alberlan Ferreira Gomes<sup>6</sup>, Paulo Roberto Ribeiro Rocha<sup>7</sup>

**Abstract:** Manioc flour and gum (starch) have a cultural value for Amazonians. The processing of cassava roots releases manipueira, a liquid waste with a high polluting potential, due to its high levels of hydrocyanic acid. The large volumes of manipueira produced in this sector require safe disposal, whether for cooking (tucupi, flour), drinking or agronomic purposes. The aim of this study was to evaluate the stabilization time of chemical attributes and the nutritional quality of manipueira. For this study, cassava roots of the Amazonas cultivar (bitter or wild) harvested 12 months after the manioc was grown, were processed to extract the manipueira, which was stored and sampled at 0; 2; 5; 8; 11; 18; 25; 32; 46; 62 and 92 days. The variables evaluated were: pH and total cyanide content. Nutrients (N, P, K, Ca, Mg and S) were assessed at 0, 47, 62 and 92 days after storage (DAA). The pH stabilized at 10 DAA, varying between 3.8 and 4.0. The total cyanide content stabilized at 62 DAA, containing 410 mg L<sup>-1</sup>. The macronutrient contents did not vary with storage time, with the following decreasing order of concentration: K > N > P > Mg > Ca > S, corresponding to the contents: 7.49; 1.25; 1.06; 0.68; 0.41 and 0.18 g<sup>-1</sup>, respectively.

**Key words:** Alternative fertilizer. Fertilizer effluent. By-product of *Manihot esculenta* Crantz.

**Resumo:** A farinha e goma (amido) de mandioca têm valor cultural pelos amazônidas. O processamento das raízes da mandioca libera a manipueira, resíduo líquido com alto potencial poluidor, devido aos altos teores de ácido cianídrico. Os grandes volumes de manipueira produzidos nesse setor requerem sua destinação segura, seja na culinária (tucupi, farinha), bebida ou para fins agrônômicos. Assim, objetivou-se avaliar o tempo de estabilização de atributos químicos e a qualidade nutricional da manipueira. Para esse estudo, raízes de mandioca da cultivar Amazonas (amarga ou brava) colhidas aos 12 meses após o cultivo da maniva, foram processadas para extração da manipueira, que foi armazenada e amostrada aos 0; 2; 5; 8; 11; 18; 25; 32; 46; 62 e 92 dias. As variáveis avaliadas, foram: pH e teor de cianeto total. Os nutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) foram avaliados aos 0, 47, 62 e 92 dias após o armazenamento (DAA). A estabilização do pH foi aos 10 DAA, variando entre 3,8 e 4,0. O teor de cianeto total estabilizou-se aos 62 DAA, contendo 410 mg L<sup>-1</sup>. Os teores de macronutrientes não variaram com o tempo de armazenamento, tendo-se a seguinte ordem decrescente de concentração: K > N > P > Mg > Ca > S, correspondendo aos teores: 7,49; 1,25; 1,06; 0,68; 0,41 e 0,18 g<sup>-1</sup>, respectivamente.

**Palavras-chave:** Fertilizante alternativo. Efluente fertilizante. Subproduto da *Manihot esculenta* Crantz.

\*Corresponding author

Submitted for publication on 02/10/2023, approved on 10/10/2023 and published on 31/12/2023

<sup>1</sup>Artigo extraído da Tese do Primeiro Autor.

<sup>2</sup>Doutor. Programa de Pós-Graduação em Agronomia-POSAGRO, Universidade Federal de Roraima. E-mail: marcelohentges@hotmail.com

<sup>3</sup>Professor Titular. Depto. Fitotecnia/CCA/UFRR. Membro permanente do Programa de Pós-Graduação em Agronomia\_POSAGRO. E-mail: arcanjo.alves@ufrr.br; paulo.ribeiro.rocha@hotmail.com

<sup>4</sup>Professor Visitante do Programa de Pós-Graduação em Agronomia\_POSAGRO, Universidade Federal de Roraima. E-mail: fernandesluiz03@gmail.com

<sup>5</sup>Bolsista de Pós-Doutoramento do Programa de Pós-Graduação em Agronomia\_POSAGRO, Universidade Federal de Roraima. E-mail: deyse.cris@hotmail.com

<sup>6</sup>Bolsista CAPES. Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-POSAGRO, Universidade Federal de Roraima. E-mail: yenara\_rr@hotmail.com

<sup>7</sup>Bolsista PIBIC-CNPq, Universidade Federal de Roraima. E-mail: alberlan.fg17@gmail.com

## INTRODUCTION

Organic waste can be used as a sustainable alternative to recycle nutrients and minimize the negative environmental impacts resulting from the inadequate final disposal of waste (ARAÚJO *et al.*, 2019). Among this waste is the effluent from processing the tuberous root of cassava (*Manihot esculenta*), known to producers as manipueira (DUARTE *et al.*, 2013) or tucupi (COSTA *et al.*, 2019). This effluent has a high organic load, with chemical oxygen demand (COD) and biochemical oxygen demand (BOD) of 158.34 and 108.35 mg L<sup>-1</sup>, respectively, requiring care due to the high concentrations of cyanide (SOUZA *et al.*, 2014), which indicates a high polluting potential, higher than that of domestic sewage (TSCHOEKE *et al.*, 2017). There are also reports of the presence of high concentrations of heavy metals (IZAH *et al.*, 2017).

When manipueira is deposited directly in the soil, without any environmental control, it can cause contamination of surface and groundwater, cause changes in the physical and chemical attributes of the soil, due to the high concentrations of nutrients (IZAH *et al.*, 2018), flocculation of clays and nutritional imbalance due to the high levels of P, K, Ca, Mg and Na, in addition to having a high salinization potential (DUARTE *et al.*, 2013). Disposal into watercourses leads to oxygen deficit and toxicity due to cyanide (OKUNADE; ADEKALU, 2013), acidification (pH<5), increased turbidity, eutrophication and groundwater contamination (IZAH *et al.*, 2017; IZAH; OHIMAIN, 2017).

Disposal requires prior treatment to reduce the organic load, and its reuse as fertilizer is an alternative for the safe disposal of this waste, which despite having high COD and BOD, has a low COD/BOD ratio, which indicates the effluent's high biodegradable potential (TSCHOEKE *et al.*, 2017; AMORIN *et al.*, 2021). As well as causing changes to the soil, manipueira can also have nematicidal and insecticidal effects due to the presence of cyanides in its composition (SANTOS *et al.*, 2020).

## INTRODUÇÃO

Os resíduos orgânicos podem ser utilizados como alternativa sustentável para reciclar nutrientes e minimizar os impactos ambientais negativos resultantes da destinação final inadequada de resíduos (ARAÚJO *et al.*, 2019). Entre esses resíduos destaca-se o efluente do processamento da raiz tuberosa da mandioca (*Manihot esculenta*), denominado pelos produtores de manipueira (DUARTE *et al.*, 2013) ou tucupi (COSTA *et al.*, 2019). Esse efluente apresenta alta carga orgânica, com demanda química de oxigênio (DQO) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO) de 158,34 e 108,35 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente, requerendo cuidados devido as altas concentrações de cianeto (SOUZA *et al.*, 2014), o que indica alto potencial poluidor, superior ao do esgoto doméstico (TSCHOEKE *et al.*, 2017). Há relatos, ainda, sobre a presença de elevada concentração de metais pesados (IZAH *et al.*, 2017).

A manipueira ao ser depositada diretamente no solo, sem qualquer controle ambiental, pode provocar contaminação de águas superficiais e subterrâneas, causar alterações em atributos físicos e químicos do solo, devido às elevadas concentrações de nutrientes (IZAH *et al.*, 2018), floculação das argilas e desbalanço nutricional em razão dos altos teores de P, K, Ca, Mg e Na, além de ter alto potencial de salinização (DUARTE *et al.*, 2013). O descarte em cursos de água leva ao déficit de oxigênio e toxicidade devido ao cianeto (OKUNADE; ADEKALU, 2013), acidificação (pH<5), aumento da turbidez, eutrofização e contaminação das águas subterrâneas (IZAH *et al.*, 2017; IZAH; OHIMAIN, 2017).

O descarte requer tratamento prévio para diminuição da carga orgânica, sendo o seu reaproveitamento como fertilizante, uma alternativa para destinação segura desse resíduo, que apesar de apresentar alta DQO e DBO, possui baixa relação DQO/DBO, o que indica alto potencial biodegradável do efluente (TSCHOEKE *et al.*, 2017; AMORIN *et al.*, 2021). Além de causar alterações no solo, a manipueira também pode apresentar efeitos nematicida e inseticida provenientes da presença de cianetos na sua composição (SANTOS *et al.*, 2020).

According to the chemical analysis of the effluent, the macro and micronutrient content of the manipueira is 201.5 mg L<sup>-1</sup> of phosphorus (P), 4,044.0 mg L<sup>-1</sup> of potassium (K), 29.5 mg L<sup>-1</sup> of calcium (Ca), 288.4 mg L<sup>-1</sup> of magnesium (Mg), 22.7 mg L<sup>-1</sup> of sulphur (S), 1.2 mg L<sup>-1</sup> of copper (Cu), 3.6 mg L<sup>-1</sup> of iron (Fe) and 3.5 mg L<sup>-1</sup> of zinc (Zn), highlighting the high levels of potassium observed in the effluente (NEVES *et al.*, 2014), as well as the Ca:Mg imbalance. Given the high organic load, it should be used as a biofertilizer from diluted manipueira, at a ratio of 1 L of manipueira to 2.7 L of water (FERNANDES *et al.*, 2019). On the other hand, it can only be disposed of when the free cyanide content is less than 0.2 mg L<sup>-1</sup> and the total cyanide content is 1.0 mg L<sup>-1</sup> (CONAMA, 2008).

Despite being acidic and having a high polluting potential, manipueira is highly nutritious and there are indications that it can be used to produce biofertilizer for various crops (CORREA *et al.*, 2022). In this way, in the environmental context, the manipueira residue obtained from pressing cassava is of significant importance, since it can be used as a raw material to obtain bioproducts, strengthening the sustainable use of natural resources by flour mills and other agro-industry sectors (COSTA *et al.*, 2023).

The use of manipueira as a biofertilizer requires its chemical stabilization in terms of pH and free cyanide for subsequent use as a biofertilizer. Therefore, it is important that studies evaluate the stabilization of this effluent so that it can be better used as manipueira. The aim of this study was to evaluate the stabilization time of chemical attributes and the nutritional quality of manipueira stored under ambient conditions for subsequent use as a biofertilizer.

## MATERIAL E METHODS

This study was conducted in partnership with family cassava producers in the Industrial District of Boa Vista-RR and the Agronomy Graduate Program of the Federal University of Roraima, *Campus Cauamé*, Boa Vista - RR, Brazil (Geographic Coordinates 02° 52'17'' N and 60° 42'39'' O and 90 m altitude).

O teor de macro e micronutrientes na manipueira, de acordo com a análise química do efluente, é de 201,5 mg L<sup>-1</sup> de fósforo (P), 4.044,0 mg L<sup>-1</sup> de potássio (K), 29,5 mg L<sup>-1</sup> de cálcio (Ca), 288,4 mg L<sup>-1</sup> de magnésio (Mg), 22,7 mg L<sup>-1</sup> de enxofre (S), 1,2 mg L<sup>-1</sup> de cobre (Cu), 3,6 mg L<sup>-1</sup> de ferro (Fe) e 3,5 mg L<sup>-1</sup> de zinco (Zn), destacando-se os altos níveis de potássio observados no efluente (NEVES *et al.*, 2014), bem como o desbalanço Ca:Mg. Dada a elevada carga orgânica, a sua utilização como biofertilizante deve ser feita a partir da manipueira diluída, na relação 1L de manipueira para 2,7 L de água (FERNANDES *et al.*, 2019). Por outro lado, o seu descarte só é possível após os teores de cianeto livre for menor que 0,2 mg L<sup>-1</sup> e cianeto total de 1,0 mg L<sup>-1</sup> (CONAMA, 2008).

Apesar de ácida e com elevado potencial poluidor, a manipueira é altamente nutritiva, havendo indicativos de sua utilização para a produção de biofertilizante para diversas culturas (CORREA *et al.*, 2022). Dessa forma, no contexto ambiental, o resíduo manipueira, obtido a partir da prensagem da mandioca, obtém relevância significativa, uma vez que pode ser utilizado como matéria-prima para obtenção de bioprodutos, fortalecendo o uso sustentável dos recursos naturais por casas de farinha e outros setores da agroindústria (COSTA *et al.*, 2023).

A utilização da manipueira como biofertilizante requer sua estabilização química em relação ao pH e cianeto livre para posterior uso como biofertilizante. Portanto, é relevante que estudos avaliem a estabilização desse efluente para que se possa dar melhor destinação a manipueira. Assim, objetivou-se avaliar o tempo de estabilização de atributos químicos e a qualidade nutricional da manipueira armazenada em condições ambiente para posterior uso como biofertilizante.

## MATERIAL E MÉTODOS

Esse estudo foi conduzido em parceria com produtores familiar de mandioca do Distrito Industrial de Boa Vista-RR e o Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Roraima, *Campus Cauamé*, Boa Vista - RR, Brasil (Coordenadas Geográficas 02° 52'17'' N e 60° 42'39'' O e 90 m de altitude).

The tuberous manioc roots of the Amazonas cultivar, yellow-fleshed manioc brava, used in Roraima to make yellow flour or farinha puba and tucupi (UCHÔA *et al.*, 2020), were harvested in the producers' area, which had been cultivated for 6 years, without the use of fire, using lime to correct the acidity, in order to increase base saturation to 55% and the availability of Ca and Mg, as well as fertilizing with mineral fertilizers such as N, P, K and micronutrients. Plant protection was always carried out when necessary. To further protect the soil, plant residues, rice husks and sawdust from adjacent industries were used to cover the soil.

The tuberous roots were harvested 12 months after the maniocs were planted, washed under running water, peeled manually using stainless steel knives and crushed. The resulting mass was transferred to fiber bags and then pressed to extract the liquid portion (manipueira), without adding water. This process took place in a flour mill. The mass to effluent ratio was slightly higher at 3, close to that obtained by Ponte (2006).

The suspension resulting from the pressing process was placed in a 50 L plastic container with a perforated lid and covered with a screen, in order to allow gas exchange, but also to prevent insects and impurities from entering, and was left to stand for 72 hours at room temperature ( $27 \pm 2$  °C). During resting, the starch was precipitated, followed by the removal of the supernatant, manipueira (CHISTÉ; COHEN, 2011). The Manipueira was stored in covered containers and packed in a Styrofoam box with ice gel and sent to the laboratory.

In the laboratory, a volume of 2,000 mL of manipueira was poured into a colorless bottle graduated in mL, with a perforated lid with three 2.5 mm holes, to allow for gas exchange and the release of gases. The bottle remained on the laboratory bench during the evaluations, at a temperature of  $25 \pm 2$  °C and protected from sunlight.

As raízes tuberosas de mandioca da cultivar Amazonas, mandioca brava de polpa amarela, utilizada em Roraima para a fabricação de farinha amarela ou farinha puba e tucupi (UCHÔA *et al.*, 2020), foram colhidas em área dos produtores com histórico de 6 anos de cultivo, sem uso de fogo, empregando correção da acidez com calcário, visando aumento da saturação por base em 55% e disponibilidade de Ca e Mg, fertilização com adubos minerais como fonte N, P, K e micronutrientes. A proteção da planta foi realizada, sempre, quando necessária. Para maior proteção do solo, foi empregado resíduos vegetais para cobertura do solo, casca de arroz e serragem, oriundos das indústrias adjacentes.

As raízes tuberosas foram colhidas, aos 12 meses após o plantio das manivas, lavadas em água corrente, descascadas manualmente com auxílio de facas de aço inoxidável e trituradas. A massa resultante foi transferida para sacos de fibra com posterior prensagem, para extração da porção líquida (manipueira), sem adição de água. Esse processo se deu em casa de farinha. A relação massa e efluente foi ligeiramente superior 3, próxima a obtida por Ponte (2006).

A suspensão resultante da prensagem foi acondicionada em recipiente plástico de 50 L com tampa perfurada e revestida com tela, a fim de permitir as trocas gasosas, mas também, evitar a entrada de insetos e impurezas, permanecendo em repouso por 72 h em temperatura ambiente ( $27 \pm 2$  °C). Durante o repouso, houve a precipitação da fécula (amido), seguido da remoção do sobrenadante, a manipueira (CHISTÉ; COHEN, 2011). Amostras da manipueira foram armazenadas em recipientes tampados e acondicionados em caixa de isopor, com gelo gel, e enviados ao laboratório.

No laboratório, o volume de 2000 mL de manipueira foi passada para em frasco incolor graduado em mL, com tampa perfurada com três orifícios de 2,5 mm, para permitir trocas gasosas e a liberação de gases. O frasco permaneceu sobre bancada do laboratório durante as avaliações, em temperatura de  $25 \pm 2$  °C e ao abrigo da luz solar.



To collect the sample, the entire volume of manipueira was lightly stirred with a glass rod in a circular motion to homogenize any possible phases in the solution. After taking the sample, the graduation of the bottle was noted and marked with a permanent marker in order to control volume loss due to evaporation. If there was a reduction due to evaporation, the contents were topped up with distilled water.

In order to assess the pH stabilization time and total cyanide content ( $\text{mg L}^{-1}$ ), the manipueira was sampled over 92 days: 0; 2; 5; 8; 11; 18; 25; 32; 46; 62 and 92 days after stabilization began in the laboratory and a further 72 hours of fermentation in the flour house. The pH was determined using the electrometric method, in the range from 2 to 13, according to the Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW), 22nd Edition 2012, method 4500H<sup>+</sup> B.

Analyses for total cyanide were carried out according to the ISO 14403-2: 2012 methodology, where the cyanide bound to the complex is decomposed by ultraviolet light flowing continuously over the sample at pH 3.8. In this method, a UV-B lamp (312 nm) and a glass (borosilicate) decomposition spiral are used to filter out light with a wavelength of less than 290 nm, in order to limit the conversion of thiocyanate into cyanide. The hydrogen cyanide is separated by in-line distillation at 125 °C under vacuum or membrane gas diffusion at 30 °C.

To determine the macronutrients, the analyses were carried out at four different storage times: 0, 40, 62 and 92 days after the sample was received in the laboratory. All the analyses were carried out in duplicate, according to the methodology used to quantify each nutrient in the sample.

Phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg) and sulphur (S) were analyzed using Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES), according to the methodology proposed by Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW), 22nd Edition 2012. P, K, Ca and Mg were determined using method 3120 B/preparation: EPA 3010 A:1992; S was determined using method EPA 6010 D: 2014/preparation: EPA 3051 A:2007, both methodologies applied to effluent analysis.

Para a coleta de amostra, todo volume da manipueira era levemente agitada com bastão de vidro em movimentos circulares para homogeneização de possíveis fases na solução. Após a retirada da amostra, a graduação do frasco era anotada e assinala com marcador permanente, a fim de controlar perda de volume por evaporação. Caso houvesse redução por evaporação, o conteúdo era completado com água destilada.

Para avaliar o tempo de estabilização do pH e teor de cianeto total ( $\text{mg L}^{-1}$ ), a manipueira foi amostrada durante 92 dias, sendo: 0; 2; 5; 8; 11; 18; 25; 32; 46; 62 e 92 dias após início da estabilização no laboratório e mais 72 h de fermentação na casa de farinha. A determinação do pH foi realizada pelo método eletrométrico, na faixa de 2 a 13, de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW), 22ª Edição de 2012, método 4500H<sup>+</sup> B.

As análises para cianeto total foram realizadas de acordo com a metodologia ISO 14403-2: 2012, onde o cianeto ligado ao complexo é decomposto pela luz ultravioleta que flui de forma contínua sobre a amostra em pH 3,8. Nesse método são utilizados uma lâmpada UV-B (312 nm), e um espiral de decomposição de vidro (borossilicato) para filtrar a luz com comprimento de onda inferior a 290 nm, a fim de limitar a conversão de tiocianato em cianeto. O cianeto de hidrogênio é separado por destilação em linha a 125 °C sob vácuo ou difusão de gás de membrana a 30 °C.

Para a determinação dos macronutrientes, as análises foram realizadas em quatro diferentes tempos de armazenamento, sendo: 0; 40; 62 e 92 dias, após o recebimento da amostra no laboratório. Todas as análises foram realizadas em duplicata, de acordo com a metodologia empregada para quantificação de cada nutriente na amostra.

Para fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) as análises foram realizadas por Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES), de acordo com a metodologia proposta por Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater (SMWW), 22ª Edição de 2012. Para P, K, Ca e Mg seguiu-se o método 3120 B/preparo: EPA 3010 A:1992; para S seguiu-se o método de determinação por EPA 6010 D: 2014/preparo: EPA 3051 A:2007, ambas metodologias aplicadas para análise de efluentes.

To determine total nitrogen, the POP PA 005 procedure was used, in which total nitrogen (N) is determined by means of sulphuric solubilization using the semi-micro Kjeldahl method.

Para determinação de nitrogênio total, empregou-se o procedimento POP PA 005, em que o nitrogênio (N) total é determinado por meio de solubilização sulfúrica pelo método semi-micro Kjeldahl.

## RESULTS E DISCUSSION

The pH range of the manipueira was 5.3 to 3.8. From the 5th day onwards, the pH fell below 4.0, stabilizing at 3.8, corresponding to a decrease of 28% in relation to the first analysis (Figure 1), in shaded conditions without refrigeration.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A faixa de pH da manipueira foi de 5,3 a 3,8. A partir do 5º dia, o pH ficou abaixo de 4,0, estabilizando-se em 3,8 no 10º dia, correspondendo a um decréscimo de 28% em relação a primeira análise (Figura 1), em condições de ambiente à sombra sem refrigeração.

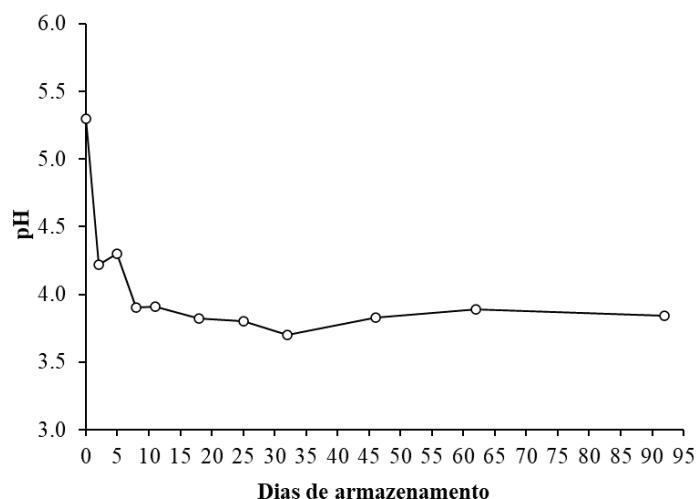


Figure 1 - pH as a function of storage time of manipueira in controlled environment conditions.

*Figura 1 - pH em função do tempo de armazenamento da manipueira em condições de ambiente controlado.*

In the raw effluent, the pH was stabilized at 3.93 (IZAH *et al.*, 2017). After 30 days of storage in airtight plastic buckets, the pH of the manipueira was stabilized in the acidic range (MOTA *et al.* (2015). Campos *et al.* (2017) found that in the grated mass of cassava roots, during processing for flour production, the pH ranged from 5.1 to 5.6, in natural manipueira from 3.3 to 5.9, in fermented manipueira, under room temperature conditions, the pH ranged from 3.1 to 4.4, and from 3.3 to 4.0 for manipueira fermented after cooking.

No efluente bruto, o pH foi estabilizado em 3,93 (IZAH *et al.*, 2017). Após 30 dias de armazenamento em baldes plásticos herméticos, o pH da manipueira foi estabilizado na faixa ácida (MOTA *et al.* (2015). Campos *et al.* (2017) verificaram que na massa ralada de raízes de mandioca, durante processamento para produção de farinha, o pH variou de 5,1 a 5,6, na manipueira natural de 3,3 a 5,9, na manipueira fermentada, sob condições de temperatura ambiente, o pH variou de 3,1 a 4,4, e de 3,3 a 4,0 para a manipueira fermentada após cocção.

These results show that this effluent is acidic in nature and tends to become more acidic with fermentation time. The application of this effluent to the soil caused acidification (OSAKWE, 2012). The acidity of manipueira is a limiting factor in its application to soils, especially those that have not had their acidity corrected.

In soil with a pH of 5.2 for growing *Brachiaria brizantha* cv. 'Marandu', Bezerra *et al.* (2017) applied 2 Mg ha<sup>-1</sup> of dolomitic limestone (45% PRNT) to raise the pH to 6.2, and only after correcting the acidity were the doses of cassava wastewater applied (0, 15, 30, 60 and 120 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), taking care to manage the effluent in two installments, to avoid possible harmful effects on the pasture, especially at the higher doses.

Figure 2 shows the effect of storage time on the total cyanide content under protected conditions. The total cyanide content showed a downward trend up to 62 days as a function of storage time, stabilizing at 411 mg L<sup>-1</sup>, a decrease of 20%.

Esses resultados mostram que esse efluente é de natureza ácida, tendendo a ficar mais ácida com o tempo de fermentação. A aplicação desse efluente ao solo causou acidificação (OSAKWE, 2012). A acidez da manipueira é um limitador da sua aplicação nos solos, sobretudo naqueles que não tiveram a correção da acidez.

Em solo com pH 5,2 para cultivo de *Brachiaria brizantha* cv. 'Marandu', Bezerra *et al.* (2017) aplicaram 2 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico (45% de PRNT) para elevar o pH para 6,2, só após a correção da acidez é que foram aplicadas as doses de água residuária de mandioca (0, 15, 30, 60 e 120 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), tendo-se ainda o cuidado de manejar o efluente em dois parcelamentos, para evitar possíveis efeitos nocivos no pasto, sobretudo nas doses mais altas.

Na Figura 2 é apresentado efeito do tempo de armazenamento no teor de cianeto total, em condições protegidas. O teor de cianeto total apresentou comportamento decrescente até 62 dias em função do tempo de armazenamento, estabilizando-se em 411 mg L<sup>-1</sup>, decréscimo de 20%.

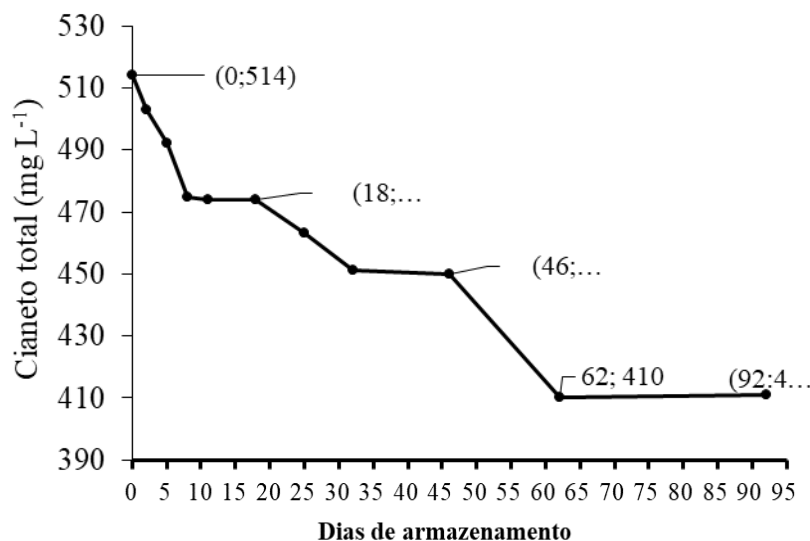


Figure 2 - Total cyanide content as a function of the storage time of the manipueira under natural conditions.

Figura 2 - Teor de cianeto total em função do tempo de armazenamento da manipueira em condições naturais.

The percentage reduction in total cyanide, 20% over 95 days of storage, can be explained by the method used, in which the manipueira remained in a semi-closed container, with little exposure of the manipueira to atmospheric air. It should also be added that the acidity of the fermentation effluent, pH 3.8, contributed to this result. According to Chisté and Cohen (2011), the fermentation process allows the action of linamarase, an enzyme that hydrolyzes linamarin (responsible for the release of hydrocyanic acid - HCN), but this enzyme is gradually inhibited by acidification and a drop in pH. These results corroborate those of Neves *et al.* (2014), who found stabilization after 62 days of storage, with free cyanide levels of 410 mg L<sup>-1</sup>.

Storing the manipueira in a semi-closed container restricted the volatilization of total cyanide into the environment, which could be a strategy to avoid toxicity in flour mills. Excess cyanide and rapid volatilization can be a risk for susceptible people. Zacarias *et al.* (2017) in studies of four flour mills found that cassava processors were chronically exposed to HCN at average levels between 0.464 and 3,328 mg m<sup>-3</sup>. The main agencies concerned with occupational health and the control of exposure to chemical agents set maximum permissible limits for HCN. NR-15 determines a critical value of 8 mg L<sup>-1</sup> (BRASIL, 1978). (BRASIL, 1978).

The average daily evolution of HCN in this study was 1.68 mg L<sup>-1</sup>, below the limits set at 8 mg L<sup>-1</sup> and 4.7 mg L<sup>-1</sup> by NR15 and international agencies (NIOSH - National Institute of Occupational Safety and Health; ACGIH - American Conference of Governmental Industrial Hygienists), respectively. Therefore, the use of a semi-closed tank contributes to occupational health in flour mills.

Few studies have been carried out under semi-closed conditions. In general, fermentation takes place in open buckets, without due care for the health of the processors. Campos *et al.* (2017) observed high levels of total cyanide in naturally fermented manipueira. Neves *et al.* (2014) reported a decrease from 129 to 21 mg L<sup>-1</sup> in free cyanide levels in manipueira, between the first hours after processing the roots and 20 days of storage (5.4 mg L<sup>-1</sup> daily HCN evolution), in open buckets under ambient conditions.

O percentual de redução de cianeto total, 20% ao longo de 95 dias de armazenamento, pode ser explicado pelo método empregado em que a manipueira permaneceu em recipiente semifechado, havendo baixa exposição da manipueira ao ar atmosférico. Acrescente-se também, que acidez do efluente em fermentação, pH 3,8, contribuiu para esse resultado. De acordo com Chisté e Cohen (2011), o processo fermentativo permite a ação da linamarase, enzima que hidrolisa a linamarina (responsável pela liberação de ácido cianídrico - HCN), mas aos poucos essa enzima é inibida pela acidificação e queda do pH. Esses resultados corroboram os de Neves *et al.* (2014) que, verificaram estabilização a partir de 62 dias de armazenamento, com teores de cianeto livre de 410 mg L<sup>-1</sup>.

O armazenamento da manipueira em recipiente semifechado restringiu a volatilização do cianeto total para o ambiente, o que pode ser uma estratégia para evitar toxicidade nas casas de farinha. O excesso de cianeto e a rápida volatilização pode ser um risco para pessoas susceptíveis. Zacarias *et al.* (2017) em estudos de quatro casas de farinhas verificaram que os processadores de mandioca foram cronicamente expostos ao HCN em níveis médios entre 0,464 e 3,328 mg m<sup>-3</sup>. As principais agências voltadas para área de Saúde Ocupacional e controle de exposição a agentes químicos definem limites máximos permitido para o HCN. A NR-15 determina o valor crítico de 8 mg L<sup>-1</sup> (BRASIL, 1978).

A média diária de evolução do HCN, no presente estudo, foi de 1,68 mg L<sup>-1</sup>, abaixo dos limites estabelecidos de 8 mg L<sup>-1</sup> e 4,7 mg L<sup>-1</sup>, pela NR15 e agências internacionais (NIOSH -National Institute of Occupational Safety and Health; ACGIH – American Conference of Governmental Industrial Hygienists), respectivamente. Portanto, o emprego de reservatório semi-fechado contribui para a Saúde Ocupacional nas casas de farinha.

Poucos estudos são realizados em condições semifechadas. De modo geral, a fermentação se dá em baldes abertos, sem o devido cuidado com a saúde dos processadores. Campos *et al.* (2017) observaram altos teores de cianeto total na manipueira fermentada naturalmente. Neves *et al.* (2014) relataram decréscimo de 129 para 21 mg L<sup>-1</sup> nos níveis de cianeto livre na manipueira, entre as primeiras horas após o processamento das raízes e 20 dias de armazenamento (5,4 mg L<sup>-1</sup> de evolução de HCN diária), em baldes abertos em condições ambiente.



In this study, at 62 days after the start of storage, the HCN content stabilized at 410 mg L<sup>-1</sup> of total cyanide and pH 3.8. Its use as a biofertilizer should be careful, requiring dilution due to its high HCN content and low pH. Dantas *et al.* (2015) recommend that after applying manipueira in a single dose, you should wait 15 days before sowing in order to avoid the toxic effects of the hydrocyanic acid contained in the residue on the plants.

Fernandes *et al.* (2019), when evaluating the effect of manipueira, based on a solution of 9 L m<sup>-2</sup> of manipueira diluted in 24 L of water, on the dry mass production of spontaneous vegetation and on the physical and chemical attributes of a dystrochoic YELLOW LATOSOIL subjected to intense mechanical preparation, found an increase in the mass productivity of spontaneous vegetation in all treatments.

Increasing doses of manipueira (200, 330 and 500 mL diluted in 1,000 mL of water), used as a foliar fertilizer, provided a linear increase in the productivity of strawberry crops (*Fragaria x Ananassa*) (BORSZOWSKI *et al.*, 2009). In sunflower, the dose of manipueira was calculated based on the potassium content present in the residue.

Araújo *et al.* (2015) analyzed the growth and productivity of maize (*Zea mays*) fertilized via foliar spraying with a solution prepared with 1 L of manipueira and different proportions of water (4, 3, 2 and 1 L), and concluded that manipueira can be used as a source of nutrients for the crop, with the 1:3 ratio promoting the greatest stem diameter, number of leaves, leaf area and dry mass in the aerial part, ears and grains.

The levels of the nutrients N, P, K, Ca, Mg and S in mg L<sup>-1</sup>, extracted from the manipueira in four seasons are shown in Table 1. High levels of NPK were observed, making manipueira an alternative source of nutrients.

The nutrients contained in tuberous roots depend on the age of the plant, the soil and climate conditions and the cultivation methods used, especially fertilization (FERNANDES *et al.*, 2016). The nutrients present in the tuberous roots are passed on to the manipueira during root processing, as shown in Table 1.

Nesse estudo, aos 62 dias após o início do armazenamento, o teor de HCN estabilizou em 410 mg L<sup>-1</sup> de cianeto total e pH 3,8. O seu uso para fins como biofertilizante deve ser cuidadoso, requerendo diluição em razão do alto teor de HCN e baixo pH. Dantas *et al.* (2015) recomendam que após a aplicação da manipueira, em única dose, que se aguarde um período de 15 dias para fazer a semeadura a fim de evitar os efeitos tóxicos do ácido cianídrico contido no resíduo sobre as plantas.

Fernandes *et al.* (2019), ao avaliarem o efeito da manipueira, a partir da solução de 9 L m<sup>-2</sup> de manipueira diluída em 24 L de água, na produção da massa seca da vegetação espontânea e em atributos físicos e químicos de um LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso submetido a intensa preparação mecânica, constataram aumento na produtividade de massa da vegetação espontânea em todos os tratamentos.

Crescentes doses de manipueira (200, 330 e 500 mL diluídas em 1.000 mL de água), utilizadas como adubo foliar, proporcionaram aumento linear na produtividade da cultura do morangueiro (*Fragaria x Ananassa*) (BORSZOWSKI *et al.*, 2009). Em girassol, a dose de manipueira foi calculada com base no teor de potássio presente no resíduo,

Araújo *et al.* (2015) analisaram o crescimento e produtividade do milho (*Zea mays*) fertilizado via foliar com calda preparada com 1 L de manipueira e diferentes proporções de água (4, 3, 2 e 1 L), e concluíram que a manipueira pode ser utilizada como fonte de nutrientes para a cultura, sendo a proporção de 1:3 a que promoveu maior diâmetro do caule, número de folhas, área foliar e massa seca na parte aérea, espigas e grãos.

Os teores dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg e S em mg L<sup>-1</sup>, extraídos da manipueira em quatro épocas são apresentados na Tabela 1. Observou-se altos teores de NPK, o que torna a manipueira uma fonte alternativa de nutrientes.

Os nutrientes contidos nas raízes tuberosas são dependentes da idade da planta, das condições edafoclimáticas e tratos culturais empregados, com destaque para as adubações (FERNANDES *et al.*, 2016). Os nutrientes presentes nas raízes tuberosas são passados para a manipueira durante o processamento das raízes, conforme Tabela 1.

**Table 1** - Macronutrient contents, assessed at four times during the storage process at room temperature of  $25 \pm 2^\circ \text{C}$  and protected from sunlight. Boa Vista - RR, 2018

**Tabela 1** - Teores de macronutrientes, avaliados em quatro épocas do processo de armazenamento sob temperatura ambiente de  $25 \pm 2^\circ \text{C}$  e ao abrigo da luz solar. Boa Vista - RR, 2018

Storage days <sup>1</sup>	Chemical attributes (g L <sup>-1</sup> )					
	N	P	K	Ca	Mg	S
0	1,15	1,05	7,10	0,41	0,69	0,17
40	1,36	1,09	7,70	0,41	0,72	0,19
62	1,36	1,07	7,36	0,40	0,68	0,19
92	1,14	1,01	7,78	0,43	0,66	0,15
<b>Average</b>	<b>1,25</b>	<b>1,06</b>	<b>7,49</b>	<b>0,41</b>	<b>0,68</b>	<b>0,18</b>

1- Storage time in days from the arrival of the sample at the laboratory and processing of the first analysis taken as day 0.

1- Tempo de armazenamento em dias a partir da chegada da amostra no laboratório e processamento da primeira análise tido como dia 0.

The total N content (1.25 mg L<sup>-1</sup>) in the manipueira of Cv. Amazonas was higher than that obtained by Tschoeke *et al.* (2017), equivalent to 1.10 g L<sup>-1</sup>. Higher values were described by Dantas *et al.* (2016), equivalent to 3.06 g L<sup>-1</sup>.

The average total P content throughout the storage of the manipueira was 1.06 g L<sup>-1</sup>. Lower P values were expressed by Izah *et al.* (2017), Dantas *et al.* (2016) and Duarte *et al.* (2012), around 0.035, 0.312 and 0.740 g L<sup>-1</sup> of P, respectively.

Potassium was the nutrient with the highest concentration in the manipueira of cv. Amazonas, with an average of 7.49 g L<sup>-1</sup>, exceeding the values recorded in the literature: 0.48 g L<sup>-1</sup> (ARAÚJO *et al.*, 2015; MOTA *et al.*, 2015), 1.97 g L<sup>-1</sup> (DUARTE *et al.*, 2012), 2.94 g L<sup>-1</sup> (BEZERRA *et al.*, 2017) 3.20 g L<sup>-1</sup> (DANTAS *et al.*, 2016) and 5.9 g L<sup>-1</sup> (BARRETO *et al.*, 2014). The chemical composition of manipueira is directly dependent on the cassava variety (CAMPOS *et al.*, 2017), so the Amazonas cv. is a great accumulator of nutrients. Ribeiro *et al.* (1999) established a relationship between the volume of manipueira and the dose of K for local conditions, with 8.5 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> of manipueira being needed to add 25 kg ha<sup>-1</sup> of K. Dantas *et al.* (2015), using this relationship for sunflower, found a maximum response dose of 136 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

O teor de N total (1,25 mg L<sup>-1</sup>) na manipueira da Cv. Amazonas foi superior ao obtido por Tschoeke *et al.* (2017), equivalente a 1,10 g L<sup>-1</sup>. Valores superiores foram descritos por Dantas *et al.* (2016), equivalente a 3,06 g L<sup>-1</sup>.

O teor de P total médio, ao longo do armazenamento da manipueira, foi de 1,06 g L<sup>-1</sup>. Valores inferiores de P foram expressos por Izah *et al.* (2017), Dantas *et al.* (2016) e Duarte *et al.* (2012), cerca de 0,035, 0,312 e 0,740 g L<sup>-1</sup> de P, respectivamente.

O potássio foi o nutriente em maior concentração na manipueira da cv. Amazonas, média de 7,49 g L<sup>-1</sup>, superando os valores registrados na literatura, sendo: 0,48 g L<sup>-1</sup> (ARAÚJO *et al.*, 2015; MOTA *et al.*, 2015), 1,97 g L<sup>-1</sup> (DUARTE *et al.*, 2012), 2,94 g L<sup>-1</sup> (BEZERRA *et al.*, 2017) 3,20 g L<sup>-1</sup> (DANTAS *et al.*, 2016) e 5,9 g L<sup>-1</sup> (BARRETO *et al.*, 2014). A composição química da manipueira é dependente diretamente da variedade da mandioca (CAMPOS *et al.*, 2017), logo a cv. Amazonas é grande acumuladora de nutrientes. Ribeiro *et al.* (1999) estabeleceu relação entre volume de manipueira e dose de K para as condições locais, sendo necessários 8,5 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de manipueira para adicionar 25 kg ha<sup>-1</sup> de K. Dantas *et al.*, (2015), usando essa relação para girassol, encontraram a dose de máxima resposta de 136 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

The levels of Ca ( $0.41 \text{ g L}^{-1}$ ), Mg ( $0.68 \text{ g L}^{-1}$ ) and S ( $0.18 \text{ g L}^{-1}$ ) in manipueira were close to those found in the literature. Silva *et al.* (2005) obtained values for Ca ( $0.31 \text{ g L}^{-1}$ ) and Mg ( $0.37 \text{ g L}^{-1}$ ), Bezerra *et al.*, (2017) obtained values for Ca ( $0.20 \text{ g L}^{-1}$ ) and Mg ( $0.44 \text{ g L}^{-1}$ ) and Dantas *et al.* (2016) obtained  $0.24 \text{ g L}^{-1}$  of Ca in the manipueira. The exception was Mg, in which Barreto *et al.* (2014) obtained  $1.53 \text{ g L}^{-1}$ . The low Ca and Mg values reflect the soil levels. In general, cassava can withstand pH values close to 5.5 and base saturation of 55%.

For the production of biofertilizer, studies indicate diluting the manipueira in water, surface application and before planting, it is generally necessary to correct the soil beforehand, aiming for at least 55% base saturation (DUARTE *et al.*, 2012). The doses of manipueira are generally calculated taking into account the concentration of potassium in the manipueira and in the soil, as well as the crop's requirement for this nutrient (DUARTE *et al.*, 2013).

Considering the vulnerability and price of mineral fertilizers, the use of manipueira can bring savings to the sector. Thus, based on the contents obtained for the manipueira of the Amazonas cv. (Table 1) and the recommendation of  $136 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  of manipueira for the sunflower crop (DANTAS *et al.*, 2015), the following nutrients ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) were added: 170 (N), 144 (P), 1,019 (K), 55 (Ca), 93 (Mg) and 25 (S). In terms of costs for NPK, in mineral fertilizers, the addition of  $136 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  of manipueira led to savings of between US\$ 1124.00 and US\$ 1148, where each nutrient had its value estimated at (US\$  $\text{ha}^{-1}$ ): 116 (N - urea source); 141 (N - ammonium sulphate source); 342 (P - simple superphosphate source) and 665 (K - KCL source). The fertilizer values were obtained from <https://blog.verde.ag/pt/mercado-agricola/veja-os-precos-do-cloreto-de-potassio-e-outros-fertilizantes-usados-na-agricultura-brasileira/>.

The macronutrient levels were not affected by the fermentation time of the manipueira. The concentration of macronutrients showed the following decreasing order:  $\text{K} > \text{N} > \text{P} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{S}$ . Duarte *et al.* (2013) also found the same decreasing order of concentration  $\text{K} > \text{N} > \text{P} > \text{Mg} > \text{Ca}$  found in this study. Howeler (2002) pointed out that cassava roots accumulated nutrients in the same descending order ( $\text{K} > \text{N} > \text{Ca} > \text{P} > \text{Mg}$ ), while Embrapa (1980) obtained the following order of nutrients in the roots:  $\text{K} > \text{N} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{P} > \text{S}$ . This explains the significant concentrations of K in the manipueira.

Os teores de Ca ( $0,41 \text{ g L}^{-1}$ ), Mg ( $0,68 \text{ g L}^{-1}$ ) e S ( $0,18 \text{ g L}^{-1}$ ) na manipueira foram próximos aos encontrados na literatura. Silva *et al.* (2005) obtiveram valores de Ca ( $0,31 \text{ g L}^{-1}$ ) e Mg ( $0,37 \text{ g L}^{-1}$ ), Bezerra *et al.* (2017) obtiveram valores de Ca ( $0,20 \text{ g L}^{-1}$ ) e Mg ( $0,44 \text{ g L}^{-1}$ ) e Dantas *et al.* (2016) obtiveram na manipueira  $0,24 \text{ g L}^{-1}$  de Ca. Exceção foi para o Mg em que Barreto *et al.* (2014) obtiveram  $1,53 \text{ g L}^{-1}$ . Os baixos valores de Ca e Mg refletem os teores do solo. Em geral, a mandioca suporta valores de pH próximo a 5,5 e saturação por base de 55%.

Para a produção do biofertilizante, os estudos indicam diluir a manipueira em água, aplicação em superfície e antes do plantio, em geral, é necessário fazer a correção prévia do solo visando no mínimo 55% da saturação de bases (DUARTE *et al.*, 2012). As doses de manipueira, em geral, são calculadas levando-se em consideração a concentração de potássio existente na manipueira e no solo bem como a exigência deste nutriente pela cultura (DUARTE *et al.*, 2013).

Considerando a vulnerabilidade e preço dos adubos minerais, o uso da manipueira pode trazer economia para o setor. Assim, com base nos teores obtidos para manipueira da cv. Amazonas (Tabela 1) e a recomendação de  $136 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de manipueira para a cultura do Girassol (DANTAS *et al.*, 2015), tem-se a adição dos nutrientes ( $\text{kg ha}^{-1}$ ): 170 (N), 144 (P), 1.019 (K), 55 (Ca), 93 (Mg) e 25 (S). Em termos de custos para NPK, em adubos minerais, a adição de  $136 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de manipueira promoveu uma economia de US\$ 1124,00 a US\$ 1148, onde cada nutriente teve seu valor estimado em (US\$  $\text{ha}^{-1}$ ): 116 (N - fonte ureia); 141 (N - fonte sulfato de amônio); 342 (P - fonte superfosfato simple) e 665 (K - fonte KCL). O valor dos fertilizantes foram obtidos em <https://blog.verde.ag/pt/mercado-agricola/veja-os-precos-do-cloreto-de-potassio-e-outros-fertilizantes-usados-na-agricultura-brasileira/>.

Os teores de macronutrientes não foram afetados pelo tempo de fermentação na manipueira. A concentração dos macronutrientes apresentou a seguinte ordem decrescente:  $\text{K} > \text{N} > \text{P} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{S}$ . Duarte *et al.* (2013), também, constataram a mesma ordem decrescente de concentração  $\text{K} > \text{N} > \text{P} > \text{Mg} > \text{Ca}$  encontrada nesse estudo. Howeler (2002) destacou que as raízes da mandioca acumularam nutrientes na mesma ordem decrescente ( $\text{K} > \text{N} > \text{Ca} > \text{P} > \text{Mg}$ ), enquanto Embrapa (1980) obteve a seguinte ordem de nutrientes nas raízes:  $\text{K} > \text{N} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{P} > \text{S}$ . Isso explica as expressivas concentrações de K na manipueira.

The use of manipueira (Amazonas cultivar) for agronomic purposes as a biofertilizer requires prior care in correcting the acidity of the soil and estimating, through the concentration of nutrients, the appropriate dilution to meet the plant's demand.

O uso da manipueira, cultivar Amazonas para fins agrônômicos como biofertilizante, requer cuidados prévios da correção da acidez do solo e estimar, por meio da concentração dos nutrientes, a diluição adequada para atender a demanda da planta.

## CONCLUSIONS

Manipueira extracted from the tuberous root of cassava showed pH stability in the acidic range (3.8) at 46 days;

The total cyanide content decreased during storage, stabilizing at 410 mg L<sup>-1</sup>, with a decrease of 20% at 62 days;

Storing the manipueira in a container with restricted gas exchange restricts the release of total cyanide per day, reducing the risk of contamination for processors;

The high concentrations of macronutrients observed in manipueira justify its potential as a biofertilizer;

Macronutrient contents did not vary with storage time, with the following decreasing order of concentration: K > N > P > Mg > Ca > S, corresponding to the contents: 7.49; 1.25; 1.06; 0.68; 0.41 and 0.18 g<sup>-1</sup>.

## ACKNOWLEDGMENT

The Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) granted a master's scholarship to the sixth author. The Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) for granting a master's degree scholarship to the seventh author.

## CONCLUSÕES

A manipueira extraída da raiz tuberosa da mandioca apresenta estabilidade de pH na faixa ácida (3,8) aos 46 dias;

O teor de cianeto total decresceu durante o tempo de armazenamento, estabilizando-se em 410 mg L<sup>-1</sup>, com decréscimo de 20% aos 62 dias;

O armazenamento da manipueira em recipiente com restrita troca gasosa restringe a liberação de cianeto total, reduzindo os riscos de contaminação aos processadores;

As altas concentrações de macronutrientes observadas na manipueira, justificam seu potencial como biofertilizante;

Os teores de macronutrientes não variaram com o tempo de armazenamento, tendo-se a seguinte ordem decrescente de concentração: K > N > P > Mg > Ca > S, correspondendo aos teores: 7,49; 1,25; 1,06; 0,68; 0,41 e 0,18 g<sup>-1</sup>.

## AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de mestrado para a sexta autora. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de mestrado para o sétimo autor.

## CITED SCIENTIFIC LITERATURE

- AMORIM, M. C. C.; MOTTA SOBRINHO, M. A.; SILVA, A. F.; BARBOSA, P.S.; SILVA, P. T. S. Caracterização e potencial de degradabilidade natural da manipueira. **Revista GEAMA**, v. 07, n. 02, p. 04-12, 2021.
- ARAÚJO, N. C.; LIMA, V. L. A.; SENA, L. F.; LIMA, G. S.; ANDRADE, E. M. G.; CARDOSO, J. A. F.; OLIVEIRA, S. J. C. Produção de milho 'Potiguar' fertirrigado com água amarela e manipueira. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 1, p. 166-174, 2019. DOI: <https://doi.org/10.19084/RCA18170>
- ARAÚJO, N. C.; OLIVEIRA, S. J. C.; FERREIRA, T. C.; LIMA, V. L. A.; QUEIROZ, A. J. P.; ARAÚJO, F. A. C. Crescimento e produtividade de milho fertilizado com manipueira como fonte alternativa de nutrientes. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 9, n. 2, p. 31-35, 2015.
- BARRETO, M. T. L.; MAGALHÃES, A. G.; ROLIMIII, M. M.; PEDROSA, E. M. R.; DUARTE, A. S.; TAVARES, U. E. Desenvolvimento e acúmulo de macronutrientes em plantas de milho biofertilizadas com manipueira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.5, p.487-494, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000500004>
- CAGNON, J. R.; CEREDA, M. P.; PANTAROTTO, S. In Cd-rom. Série: Cultura de tuberosas amiláceas latino americanas. Vol.2 – Cultura de tuberosas amiláceas latino-americanas. Fundação Cargill. Ago/2002.
- CAMPOS, A. P. R. Caracterização Físico-química do tucupi durante as etapas de Processamento. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento Embrapa Amazônia Oriental**. Embrapa Amazônia Oriental. 20 p. 2017.
- CHISTÉ, R. C.; COHEN, K. O. Teor de cianeto total e livre nas etapas de processamento do tucupi. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 70, n. 1, p.41-6, 2011.
- CONAMA, Resolução nº 397/2008 de 03/04/2008, disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano/>, consultado em 09/04/2020
- CORREA, J. M. R.; SILVA, C. F.; SANTOS, C. L. R.; CEDRO, D. A. B. Efeito do extrato aquoso de manipueira na cultura do milho (*Zea mays*). **Revista Brasileira interdisciplinar**, v. 14, n. 2, p. 1-10, 2022.
- COSTA, T. S.; RODRIGUES, A. M. C.; PENA, R. S. Rheological behavior of concentrated tucupi. **Food Science and Technology**, v. 39, n. 3, p. 33-40, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/fst.04818>
- COSTA, J. S.; DIAS, D. G. F.; BARROS, J. S.; FREITAS, E. S.; MELO, D. A. S.; OLIVEIRA, S. A.; MOURA, S. M. S.; L. A. A. ALMEIDA; LOPES, C. B. Biofertilizante para a cultura do coentro-comum (*Coriandrum sativum*) utilizando resíduo do processamento da mandioca (*manihot esculenta*). **Scientia Generalis**, v. 4, n. 2, p. 42-51, 2023. DOI: <https://doi.org/10.22289/sg.V4N2A3>
- DUARTE, A. S.; ROLIMI, M. M.; SILVA, Ê. F. F. E; PEDROSA, E. M. R.; ALBUQUERQUE, F. S.; MAGALHÃES, A. G. Alterações dos atributos físicos e químicos de um Neossolo após aplicação de doses de manipueira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 9, p. 938-946, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000900005>
- EHILENBOADIAYE, J. I.; OSAMUDIAMEN, G.; MUJAKPERUO, B. J. Evaluation of Physicochemical Characteristics of Water and Soil Samples from Cassava Processing Mill in Parts of Edo North, Edo State, Nigeria. **Journal of Applied Sciences and Environmental Management**, v. 22, n. 5, p. 755-758, 2018. DOI: <https://doi.org/10.4314/jasem.v22i5.28>
- FERNANDES, I. O.; MELO FILHO, J. F.; MONTENEGRO, K. O. R.; PAES, E. C.; ALMEIDA, S. R. M.; COSTA, J. A.; SILVA, F. Physical and chemical attributes of Yellow Oxisol with the application of cassava wastewater after intensive mechanical preparation. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 6, p. 113-128, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.5539/jas.v11n6p113>



- HENNERT, P.; BOURDOUX, P.; LAGASSE, R.; THILLY, C.; PUTZEYS, G.; COURTOIS, P.; VIS, H. L.; YUNGA, Y.; SEGHERS, P. ITEKE F. B.; ERMANS, A. M. Nutritional Factors Involved in the Goitrogenic Action of Cassava. Ottawa, qnt, IDRC, 1982. 100 p: ill.
- IZAH, S. C.; BASSEY, S. E.; OHIMAIN, E. I. Changes in the treatment of some physico-chemical properties of cassava mill effluents using *Saccharomyces cerevisiae*. **Toxics**, v. 5, n. 4, p. 28, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxics5040028>
- IZAH, S. C.; BASSEY, S. E.; OHIMAIN, E. I. Impacts of Cassava Mill Effluents in Nigeria. **Journal of Plant and Animal Ecology**, v. 1, n. 1, p. 14-42, 2018. DOI: <https://doi.org/10.14302/issn.2637-6075.jpae-17-1890>
- IZAH, S. C.; BASSEY, S. E.; OHIMAIN, E. I. Removal of heavy metals in cassava mill effluents by *saccharomyces cerevisiae* isolated from palm wine. **MOJ Toxicology**, v. 3, n. 4, p. 83-87, 2017. DOI: <https://doi.org/10.15406/mojt.2017.03.00058>
- MOTA, A. F. **Produção de milho fertilizado via foliar com manipueira**. III INOVAGRI International Meeting, 2015.
- NEVES, A. C.; BERGAMINI, C. N.; LEONARDO, R. O.; GONÇALVES, M. P.; ZENATTI, D. C.; HERMES, E. Effect of biofertilizer obtained by anaerobic digestion of cassava effluent on the development of crambe plants. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 10, p. 681-685, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n10p681-685>
- NEVES, O. S. C.; SOUZA, A. S.; COSTA, M. A.; SOUSA, L. A.; VIANA, A. E. S.; NEVES, V. B. F.; Persistência do cianeto e estabilização do ph em manipueira. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 8, n. 1, p. 1274-1284, 2014. DOI: <https://doi.org/10.3895/S1981-36862014000100012>
- OHIMAIN, E. I.; INYANG, I. R.; AND OSAI, G. U. The Effects of *Raffia Palm Mesocarp* on Haematological Parameters of *Clarias gariepinus*, a Common Niger Delta Wetland Fish. **Annual Research and Reviews in Biology**, v. 8, n. 1, p. 1-7, 2015. DOI: <https://doi.org/10.9734/ARRB/2015/19065>
- OSAKWE, S. A. Effect of Cassava Processing Mill Effluent on Physical and Chemical Properties of Soils in Abraka and Environs, Delta State, Nigeria. **Chemistry and Materials Research**, v. 2, n. 7, p. 27-40, 2012.
- OKUNADE, D. A.; ADEKALU, K. O. Physicochemical analysis of contaminated water resources due to cassava waste effluent disposal. **European International Journal of Science and Technology**, v. 2, n. 6, p. 75-84, 2013.
- OLIVEIRA, N. T. O.; UCHOA, S. C. P.; ALVES, J. M. A.; SEDIYAMA, T.; ALBUQUERQUE, J. A. A.; SOUZA, E. D.; MELVILLE, C. C. Ácido cianídrico em tecidos de mandioca em função da idade da planta e adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária brasileira**, v. 47, n. 10, p. 1436-1442, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012001000004>
- SANTOS, A. Y. O.; SILVA JÚNIOR, D. N.; FREIRE, M. M.; NETO, J. V. E.; MORAIS, E. G.; SILVA, G. G. C. Desenvolvimento radicular da rúcula a doses crescentes de carvão vegetal e manipueira. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 3, p. 1085-1095, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34188/bjaerv3n3-029>
- SÁNCHEZ, T. Evaluación de 6000 variedades de yuca. Cali: CIAT, 2004. (Programa de mejoramiento de yuca).
- SOUZA, S. O.; OLIVEIRA, L. C.; CAVAGIS, A. D. M.; BOTERO, W. G. Cyanogenic residues: Environmental impacts, complexation with humic substances, and possible application as biofertilizer. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 225, p. 2223-2227, 2014.
- Standard Methods for The Examination of Water and wastewater (SMWW). 22ª Edição. 2012.
- TSCHOEKE I. C. P.; SILVA, L. F.; SANTOS, A. F. M. S.; SOUZA, T. P. C. Análise da carga orgânica da manipueira em casas de farinha. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v. 7, n. 2, p. 228-232, 2017.

UCHÔA, S. C. P.; NASCIMENTO, F. R.; ALVES, J. M. A.; MELO, V. F.; SILVA, D. C. O.; SILVA, A. J.; BATISTA, K. D.; MATOS, K. S.; ALBUQUERQUE, J. A. A. Phosphorus fertilizer in the yield and quality of tuberous roots of cassava cultivars in the Amazonian savanna, Brazil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 43, n. 4, p. 381-389, 2020. DOI: <https://doi.org/10.19084/rca.20746>

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Sweet corn statistics**. 2010. Disponível em: <<http://usda.mannlib.cornell.edu/MannUsda/view DocumentInfo.do?documentID=1564>>. Acesso em: 20 mar. 2018.

ZACARIAS, C. H.; ESTEBAN, C.; RODRIGUES, G. L.; NASCIMENTO, E. S.; RODRIGUES, G. L.; Occupational exposure to hydrogen cyanide during large-scale cassava processing, in Alagoas State, Brazil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 33, n. 07, e00073416, 2017.

WOSIACKI, G.; CEREDA, M. P. VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS DOPROCESSAMENTO DE MANDIOCA. **Revista Publicatio**, v. 8, n. 1, 2002. DOI: <https://doi.org/10.5212/publicatio.v8i01.762>