

UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ARAGUAÍNA  
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA

**MARCELO WANDERLEY DE ALMEIDA SANTOS**

**DETECÇÃO DE COBRE EMPREGANDO MÉTODOS VOLTAMÉTRICOS E  
ELETRODO DE BAIXO CUSTO**

ARAGUAÍNA  
2018

**MARCELO WANDERLEY DE ALMEIDA SANTOS**

**DETECÇÃO DE COBRE EMPREGANDO MÉTODOS VOLTAMÉTRICOS E  
ELETRODO DE BAIXO CUSTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal do Tocantins, como requisito parcial para a obtenção de título de Licenciado em Física.

Orientador: Prof. Dr. Alexandro Silvestre da Rocha

ARAGUAÍNA  
2018

**MARCELO WANDERLEY DE ALMEIDA SANTOS**

**DETECÇÃO DE COBRE EMPREGANDO MÉTODOS VOLTAMÉTRICOS E  
ELETRODO DE BAIXO CUSTO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao curso de Licenciatura em  
Física da Universidade Federal do  
Tocantins, como requisito parcial para a  
obtenção de título de Licenciado em  
Física.

Aprovado em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Alessandro Silvestre da Rocha (Orientador)

---

Prof. Dra. 2º Liliana Yolanda Ancalla Dávila

---

Prof. Dra. 3º Érica Cupertino Gomes

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em primeiro lugar, por essa vitória alcançada, pela paciência, pela sabedoria, disciplina com os estudos, perseverança e nos momentos de dificuldade não deixou faltar garra para superar todos os desafios propostos.

Agradeço a todos os profissionais da Universidade Federal do Tocantins, câmpus de Araguaína pela dedicação em manter um ambiente agradável que proporciona ensino, pesquisa e extensão sem perder a qualidade.

Agradeço a meu Orientador professor Aleksandro Silvestre da Rocha por ter me guiado e compartilhado de seu aprendizado, com paciência e dedicação.

Agradeço a minha mãe, Maria de Lourdes por ter me dado apoio no decorrer de todo o curso. Meu irmão, Marcos Wanderley. Agradecimento mais que especial à minha esposa Josi Almeida, que esteve presente ao meu lado dando força e apoio nessa conquista. Para minhas filhas, Izadora Wanderley, Gabrielly Wanderley e Ana Clara de Sousa.

Agradeço a toda equipe do LABMADE (Laboratório de pesquisa em Materiais para Aplicações em Dispositivos Eletrônicos), em especial a técnica Denisia Brito pelo apoio prestado nesta pesquisa, que com muita presteza, paciência e profissionalismo não mediu esforços. Aos colegas: Ellinton “Tobias”, Christopher, Jacó, Jannyny, Josias, Sergivan, Dannyella, Antoniana Alves, Eliciany Ferreira, Fábio Troncão, Eduardo Dias, Silvério Picanço, Alana Cruz, Joel, Capitão Donaldo. Ao laboratório de Morfofisiologia e Bioquímica de Peixes Neotropicais da UFT por ter contribuído com esta pesquisa.

Meu muito obrigado a todos os professores do curso de Física que contribuíram e foram essenciais para minha formação acadêmica. Nilo Maurício, Cláudia Adriana, Lídia Araújo, Liliana Dávilla, Regina Lelis, Pâmella Gonçalves, Anderson Vieira, Antônio Cabral, Luís Juracy, Matheus Lobo, Edison Franco, Sheyse Martins, Érica Cupertino, Jaime Zanolla, Shirlei Dezidério.

Agradeço aos colegas pela convivência nesses quatro anos de graduação, onde aprendemos juntos, trocamos ideias e conhecimento. WênioSilva, Klemilton Murilo, Rodrigo Alencar, Andressa fogaça, Wallyson Nascimento, Alex Keverson, Alan Keverson, Felipe Rocha, José Garcia, Rogério Soares, Ronizy Carvalho, Windson Cirqueira, Edson Coutinho, Marcleane Mendes, Agnes Monteiro, Phablo Henrique, Robson Carneiro, Patrick

Alves, Shirley Melo, Barbara Martins, Dhiogo Thomaz, Ângelo Marcio, Roberta Diênnyffer, João Marcos, Eduardo Libânio, Sérgio Moura, Rayane Cruz, Luciane Noletto, João Pedro, Lucas Martins, Ednalva Alencar.

Meu muito obrigado, a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação acadêmica.

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo a implementação de uma ferramenta para o monitoramento da qualidade da água, preparação de um eletrodo de baixo custo (usando pilha descartada) que foi empregado nas técnicas voltamétricas para detecção de cobre em água destilada/deionizada e tecido de peixe. As análises eletroquímicas foram desenvolvidas no LABMADE (Laboratório de pesquisa em Materiais para Aplicações em Dispositivos Eletrônicos) localizado na Universidade Federal do Tocantins/Campus de Araguaína, utilizando técnicas voltamétricas por meio de um Potenciostato/Galvanostato. A presença de altos índices de metais na água não significa necessariamente que haverá danos aos organismos vivos, mas certamente indicam um estado de contaminação latente que poderá levar a toxicidade. Nesse contexto, torna-se necessário monitorar os parâmetros de qualidade aquática e dos seres que o habitam.

**Palavras-chave:** Voltametria; tecido; eletrodo.

## ABSTRACT

This work aims to implement a tool for the monitoring of water quality, preparation of a low cost electrode (using discarded cell) that was used in voltammetric techniques for the detection of copper in distilled / deionized water and fish tissue. The electrochemical analyzes were developed at LABMADE (Research Laboratory in Materials for Applications in Electronic Devices) located at the Federal University of Tocantins / Campus de Araguaína, using voltammetric techniques by means of a Potentiostat/ Galvanostat. The presence of high metal indices in water does not necessarily mean that there will be damage to living organisms, but they certainly indicate a state of latent contamination that could lead to toxicity. In this context, it is necessary to monitor the parameters of aquatic quality and of the beings that inhabit it.

**Keywords:** Voltammetry; fabric; electrode.

## Sumário

1. INTRODUÇÃO .....	8
2. DESENVOLVIMENTO TEÓRICO .....	8
2.1 . BACIAS HIDROGRÁFICAS DO TOCANTINS .....	8
2.2 POLUIÇÃO DAS ÁGUAS .....	11
2.3 SULFATO DE COBRE (CuSO <sub>4</sub> )/PEIXE .....	12
2.4 MONITORAMENTO ÁQUATICO .....	12
3. OBJETIVOS .....	14
4. MATERIAIS E METODOS .....	14
4.1. POTENCIOSTATO .....	15
4.2 CONSTRUÇÃO DO ELETRODO DE TRABALHO .....	16
4.3 CONTAMINAÇÃO DO PEIXE <i>OREOCHROMIS NILOTICUS</i> (TILÁPIA).....	16
5. RESULTADOS .....	18
6. CONCLUSÃO .....	25

## **1. INTRODUÇÃO**

A sobrevivência da espécie humana e a biodiversidade dos organismos estão diretamente relacionadas com a quantidade e qualidade aquática do planeta. A disponibilidade deste recurso juntamente com sua sanidade tem componentes que são fundamentais para a economia regional, continental e mundial; água sem contaminantes ou organismos que podem parasitar o homem e outros organismos é fundamental para manter a sustentabilidade e a saúde humana, e em última análise a qualidade de vida de populações urbanas e rurais (TUNDISI, 2003). No ano de 1992 a ONU instituiu o dia mundial da água, junto à Declaração Universal dos Direitos da água, que em seu artigo primeiro diz que a água é o patrimônio do Planeta e que todos somos responsáveis pela mesma (IFRAH, 1992).

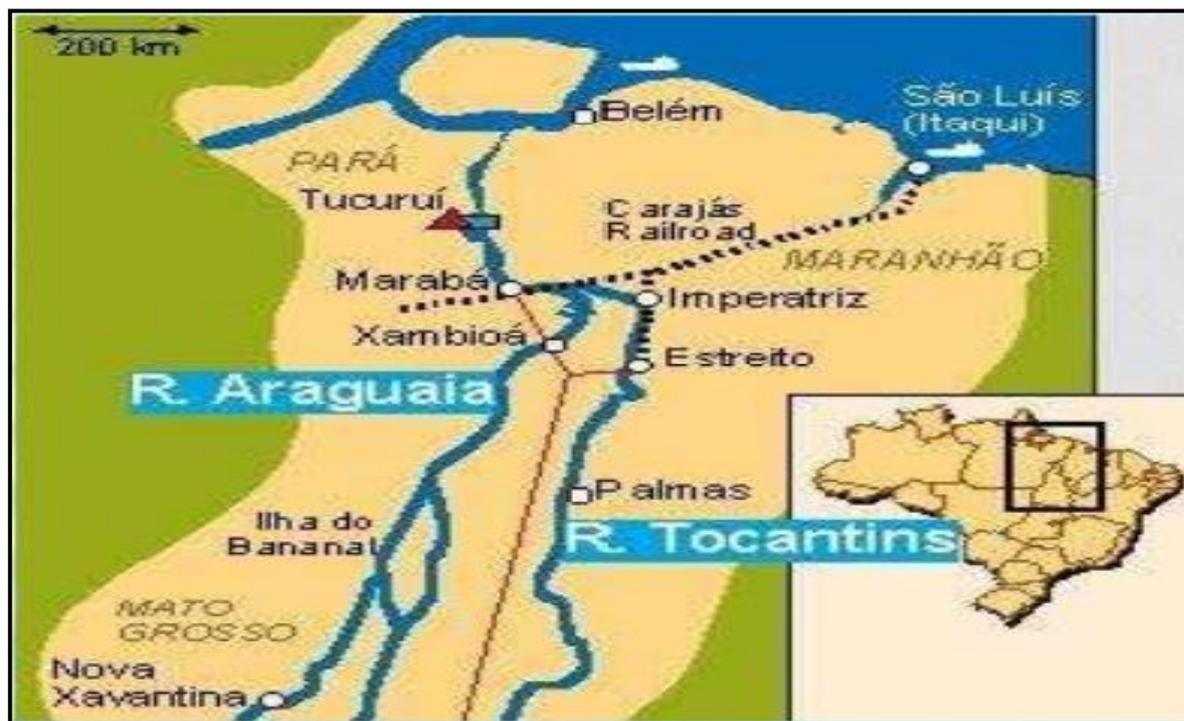
Recentemente a preocupação da sociedade com a disponibilidade e qualidade da água decorre do fato de que, por mais abundante que pareça este recurso, não é rara sua escassez, tanto pela ocorrência de secas prolongadas, quanto pela alta carga poluidora a que os recursos hídricos são submetidos (TUNDISI, 2003).

## **2. DESENVOLVIMENTO TEÓRICO**

Neste tópico iremos descrever alguns fatores importantes para o desenvolvimento da pesquisa, como a Bacia Hidrográfica Tocantinense, a poluição dos meios hídricos, exemplos da utilização de Sulfato de Cobre ( $\text{CuSO}_4$ ) e algumas formas de monitoramento aquático.

### **2.1 . BACIAS HIDROGRÁFICAS DO TOCANTINS**

A região norte brasileira pode ser considerada uma região privilegiada por ter uma das principais bacias hidrográficas do país, formada pelos rios Araguaia (Área da bacia: 358.100  $\text{km}^2$ ), que percorre aproximadamente 2115 km até encontrar-se com o rio Tocantins (Área da bacia: 102.120,6  $\text{km}^2$ ) e comprimento de 1960 km (Figura 01).



**Figura 01:** Ilustração da Bacia Hidrográfica Tocantinense formada pelos rios Araguaia e Tocantins.

Segundo dados do plano nacional de recursos hídricos (MMA, 2006), a bacia Araguaia Tocantins ocupa 11% do território nacional passando por cinco estados, mais o distrito federal, como pode ser visto na Figura 01, entre eles: Tocantins, Goiás, Pará, Maranhão, Mato grosso e Distrito Federal.

Nas últimas décadas, esta região vem se transformando numa espécie de celeiro do país, especialmente com a expansão e consolidação da agroindústria, especialmente no cultivo da soja e cana de açúcar. Dada a sua importância regional e para ter um desenvolvimento socioeconômico sem prejudicar o ecossistema aquático, é necessário que haja um monitoramento dos rios dessa bacia para garantir uma qualidade de vida para todos os organismos (fauna e flora) e principalmente do homem.

Recentemente o nível do rio Araguaia vem baixando consideravelmente, inclusive em alguns pontos como na cidade de Xambioá não chega a 20 centímetros de profundidade (Figura 02), segundo especialistas as causas são diversas: desde seca prolongada, erosão formada a partir do desmatamento das matas ciliares e sobre seus afluentes em seu decurso que estão secando devido assoreamento, desmatamento entre outros tipos de poluição (TV ANHANGUERA, 2017). (Figura 02) mostra bancos de areia no meio do rio Araguaia nas proximidades do município de Xambioá - TO.



**Figura 02:** Imagem da seca no Rio Araguaia na região de Xambioá –TO, mês de novembro 2017 (Foto:Reprodução /TV Anhanguera, 2017).

É sabiamente conhecido que o rio Araguaia possui uma estação de estiagem onde sua vazão diminui expondo bancos de areia utilizados amplamente como fonte turística, entretanto, como pode ser observado na imagem da Figura 02, temos um banco de areia formado fora de época, provavelmente pela seca prolongada e pela grande exploração hídrica destinada à irrigação de lavouras. A Figura 03 mostra a construção de um canal de irrigação que desvia grandes quantidades de água do rio Araguaia.



**Figura 03:** Flagrante desvio de água do Rio Araguaia para irrigação no estado do Goiás (TV Anhanguera, 2016).

A foto da Figura 03 exemplifica a exploração hídrica dos rios que margeiam o estado. As previsões e demandas nos balanços hídricos dos recursos para os anos que virão segundo a Agência Nacional das Águas (ANA, 2009) estima-se, que a irrigação e o abastecimento humano serão os que mais vão aumentar o consumo. A irrigação no cenário do plano estratégico da bacia hidrográfica dos rios Araguaia e Tocantins em um cenário tendencial, para o ano de 2025, é de  $134,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , cerca de sete vezes maior que para o consumo humano.

## 2.2 POLUIÇÃO DAS ÁGUAS

Entende-se por poluição das águas a adição de substâncias ou formas de energia que, diretamente ou indiretamente, alteram a natureza do corpo d'água (CHERNICHARO, 1994), impedindo sua utilização para consumo humano, agrícola e industrial (LORA, 2002). A poluição das águas tem como origem fontes, associadas ao tipo do uso e ocupação do solo, dentre as quais se destacam: efluentes domésticos; efluentes industriais; carga difusa urbana e agropastoril; mineração; natural e acidental. As fontes contaminantes estão associadas à deficiência ou ausência de sistema de esgotamento sanitário, a despejo de efluentes domésticos e industriais bem como à implantação inadequada de aterros sanitários e lixões, para disposição de resíduos sólidos, dentre outros (PINHEIRO et al.2006). A Poluição causada por efluentes industriais despeja elementos nocivos à saúde, mercúrio, cobre entre outros. Os organismos aquáticos sofrem com contaminação das águas, que podem gerar desde mortandade de peixe tornando-se imprópria para o consumo humano (Figura 04).



**Figura 04:** Imagem ilustrativa da poluição aquática.

A imagem apresentada na Figura 04 exemplifica uma das formas mais comuns de poluição, denominada “poluição doméstica” e atinge principalmente rios, mares, lagos e outras fontes de água que margeiam centros domésticos.

### **2.3 SULFATO DE COBRE (CuSO<sub>4</sub>)/PEIXE**

Entre as substâncias descartadas e utilizadas tanto no meio ambiente aquático quanto por parte da agropecuária, destaca-se o cobre (CuSO<sub>4</sub>), que é utilizado como algicida, no combate de algas que alteram corpo d’água, controle do potencial hidrogênio da água, alguns tipos de pesticida que matam ervas daninhas, inibindo fotossíntese e em diversos casos como profilático ajudando a prevenir ou atenuar doenças em peixes (SAMPAIO et al. 2013). Sabe-se hoje que, o tamanho, espécie, idade e tipo de exposição influencia na absorção do cobre por peixes. Segundo Sampaio et al. (2013), a exposição de diversas espécies de peixes ao cobre demonstraram que não somente sua absorção, mas a luta contra a absorção do cobre causa distúrbios nestes organismos aquáticos.

### **2.4 MONITORAMENTO ÁQUATICO**

O estado do Tocantins vem crescendo populacionalmente nos últimos anos. Segundo o IBGE a população estimada para o ano de 2017 foi de 1.550.194 pessoas, comparado a ultimo censo do ano 2010 onde foram estimadas 1.383.445, um aumento de aproximadamente 11% em sete anos, trazendo como consequência o aumento da produção agroindustrial e com isto um grande investimento em defensivos agrícolas, que juntamente com a poluição urbana acaba prejudicando o ambiente aquático. Devido a esta situação, existe a necessidade de um constante monitoramento de alguns poluentes com grande probabilidade de estarem presentes nestes ambientes, a fim de prevenir que suas concentrações aumentem acima dos máximos estipulados pela legislação brasileira de 0,5 mg/L(Resolução CONAMA 357/05).

A presença de altos índices de metais na água não significa necessariamente que haverá danos aos organismos vivos, mas certamente indicam um estado de contaminação latente que poderá levar a toxicidade. Para consumo humano o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estipula um limite de 0,5 mg/L de cobre em águas de terceira classe,

(que servem para o consumo humano) . Nesse contexto, torna-se necessário monitorar os parâmetros de qualidade aquática e dos seres que o habitam.

Uma forma muito comum de detecção de poluentes em meio aquático envolve o Espectrofotômetro e em contra partida pretende-se utilizar um Eletrodo de baixo custo feito a partir de pilha descartada (Figura 05-b).



**Figura 05:** (a) Equipamento Espectrofotômetro de Absorção Atômica. (b) Eletrodo desenvolvido

Os custos envolvidos neste monitoramento são consideráveis, envolvendo técnicas de alto investimento, como a técnica que utiliza um Espectrofotômetro Absorção/Emissão Atômica (Figura 05-a) com valor estimado em R\$ 210.000,00, além do sistema de gás conectado ao equipamento. Em contra partida a este fato, o presente projeto visa implementar no estado do Tocantins técnicas Eletroanalíticas no monitoramento da águas e/ou tecidos (de peixes) aplicando eletrodo de baixo custo (Figura 05-b) confeccionado a partir de pilhas descartadas para detectar cobre sem perder a qualidade dos resultados. As análises eletroquímicas estão sendo desenvolvidas no LABMADE (Laboratório de pesquisa em Materiais para Aplicações em Dispositivos Eletrônicos) localizado na Universidade Federal do Tocantins/Campus de Araguaína, utilizando técnicas voltamétricas (da ROCHA, 2006) por meio de um Potenciostato/Galvanostato ver (Figura 06).



**Figura 06:** Potenciostato/ Galvanostato utilizado na pesquisa.

O potenciostato (Figura 06) é um dispositivo eletrônico que controla a diferença de potencial elétrico entre os eletrodos e atua como um catalisador ou inibidor de reações eletroquímicas.

Alguns estudos vêm desenvolvendo técnicas que utilizam meios eletroquímicos para análise alimentícia (Azevedo, 2016), de pesticidas (Simões, 2005), clínico, ambiental e forense (Cumba, 2016), solos e águas (Rath, 2003), detecção de Cu, Pb, Cd e Zn (Riveiro, 2014), entre outros.

### **3. OBJETIVOS**

Estudar o comportamento eletroquímico das amostras de água e tecidos (de peixes), empregando técnicas voltamétricas para detecção de cobre.

Especificamente pretende-se implementar uma ferramenta de monitoramento da qualidade da água realizando uma série de experimentos, como segue:

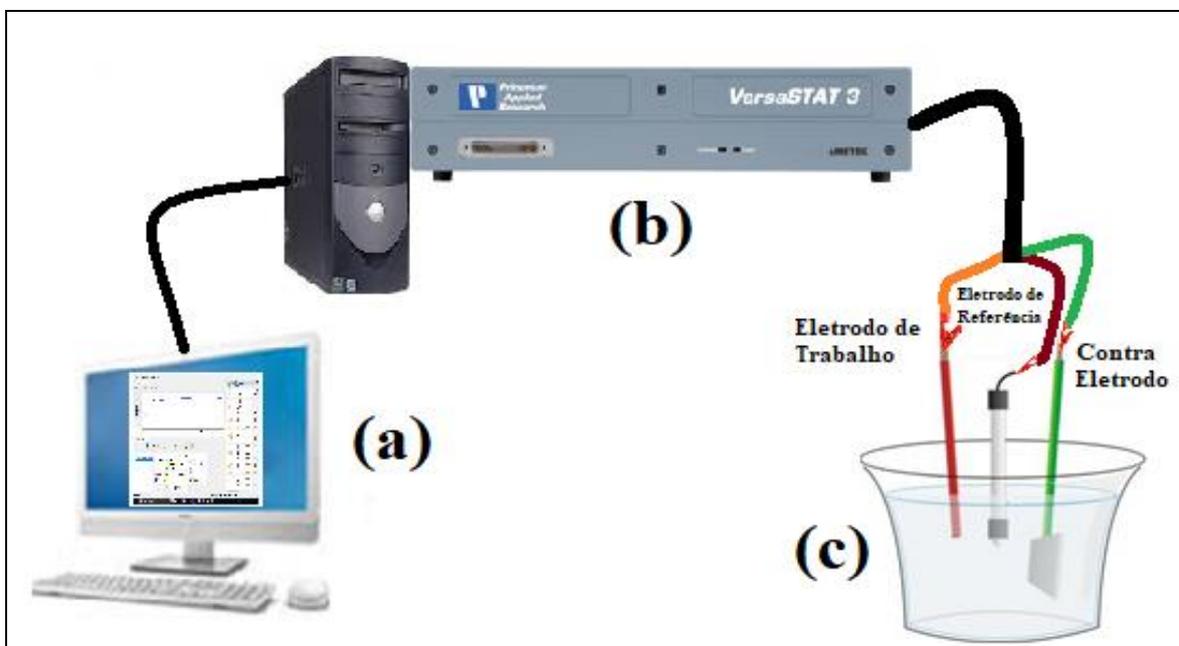
- a) Preparação do eletrodo de baixo custo (usando pilha descartada) que será empregado nas técnicas voltamétricas.
- b) Preparação e contaminação dos tecidos de peixes.
- c) Emprego de técnicas voltamétricas para detecção de cobre.
- d) Elaborar parâmetros capazes de quantificar a dosagem dos íons (citado no item c) nas amostras

### **4. MATERIAIS E METODOS**

A metodologia, equipamentos e materiais empregados neste projeto estão todos disponíveis no LABMADE.

#### 4.1. POTENCIOSTATO

Na Figura 07 é possível ver o arranjo experimental que foi utilizado no monitoramento de cobre.



**Figura 07:** Esquema ilustrativo do aparato experimental utilizado na pesquisa.

Figura 07-c podemos ver célula convencional de três eletrodos: o eletrodo de trabalho, sobre o qual ocorre a reação de interesse fica em contato elétrico com o Potenciostato é feito com a ajuda de garra tipo “jacaré” preso diretamente ao carbono e ligado via cabo ao equipamento, o eletrodo de referência (Calomelano Saturado), relativo ao qual é medido o potencial elétrico, e o contra-eletrodo (Platina).

As medidas de condutividade foram obtidas com o condutivímetro imediatamente após a preparação das amostras, a temperatura foi obtida com medição direta com o termômetro e o potencial de hidrogênio das amostras foi utilizado phmetro de bancada. Potenciostato/Galvanostato PAR (*Princeton Applied Research*) modelo Versa Stat3 ver (Figura 07-b). É um equipamento para uso em laboratório, com este aparato é possível utilizá-lo para produção de filmes com aplicações em nanotecnologia, sensores e eletroquímica de pesquisa. Figura 07-a consta o programa Software Versa Studio, que possibilita a leitura dos dados.

## 4.2 CONSTRUÇÃO DO ELETRODO DE TRABALHO

Uma particularidade desta proposta está na confecção do eletrodo de trabalho, que foi construído a partir de pilhas descartadas seguindo o método de fabricação de sensores eletroquímicos de baixo custo (BAIO, 2014).



**Figura 08:** Processo de extração do carbono (grafite) de pilha.

Para a confecção dos eletrodos, núcleos de carbono removidos de pilhas 1,5 V descartadas são limpos e envoltos em esmalte expondo a área inferior (área eletroativa). Para retirada do carbono (grafite) (Figura 08), é necessário à utilização de alicate de corte, alicate de bico, chave de fenda, pote de vidro e saco plástico. Primeiro passo abrir a capa protetora que sela a pilha, em seguida remover a película e o disco de polo positivo e posteriormente tampa plástica. Retirar toda a massa preta que está no interior da carcaça com bastante cuidado para não danificar o bastão seguindo método para retirada de bastão de grafite de pilhas (HUGOR, 2010).

É importante destacar que os resíduos gerados durante este processo foram descartados em meio próprio disponibilizado pela Universidade Federal do Tocantins.

## 4.3 CONTAMINAÇÃO DO PEIXE *Oreochromis niloticus* (TILÁPIA)

O experimento de contaminação dos animais ocorreu no laboratório de Morfofisiologia e Bioquímica de Peixes Neotrópicos da UFT. Foram utilizados peixes juvenis da espécie *Oreochromis niloticus* (tilápia do Nilo), obtidos comercialmente, com peso corporal médio de  $51,5 \text{ g} \pm 2\text{g}$  e comprimento médio de  $14,2 \pm 1,1\text{cm}$  Figura 09.



**Figura 09:** Imagem ilustrativa do peixe Tilápia do Nilo empregado no experimento.

Os animais foram aclimatados por 20 dias em aquários com água natural desclorificada com temperatura controlada de  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ , aeração constante e  $\text{pH } 6,40 \pm 0,13$ . Durante este período receberam alimentação até a saciedade aparente em duas porções diárias de ração comercial, sendo esta suspensa 24 horas antes do início do experimento. Consecutivamente, foram transferidos para aquários de 20 L de capacidade, sendo 3 animais por aquário, mantidos em sistema estático de circulação de água e sob aeração constante.

Os animais foram expostos durante 96 h a duas concentrações molares (0 e  $0,001 \text{ mol L}^{-1}$ ), que é aproximadamente 4,99g de  $\text{CuSO}_4$  em triplicatas. Ao término, os animais foram eutanasiados por secção da medula cervical e coletada uma parcela de músculo de cada peixe, estas foram submetidas ao congelamento.

As amostras do peixe “tilápia”, ao chegarem para o LABMADE, foram colocadas em frascos de plástico para o descongelamento, em seguida os órgãos foram macerados em um gral e pistílo de vidro com adição de  $100 \mu\text{L}$  de  $\text{H}_2\text{O}$ , posteriormente colocados em eppendorfes. Para as análises voltamétricas eram retirados da geladeira e colocados em becker.

O equivalente a 2,3 g de cada tecido macerado foi adicionado em 100 ml de água com  $380 \mu\text{l}$  de Ácido Nítrico (solução tampão), e analisado por voltametria, e por redissolução. Solução tampão consiste na estabilização do potencial hidrogênico (pH).

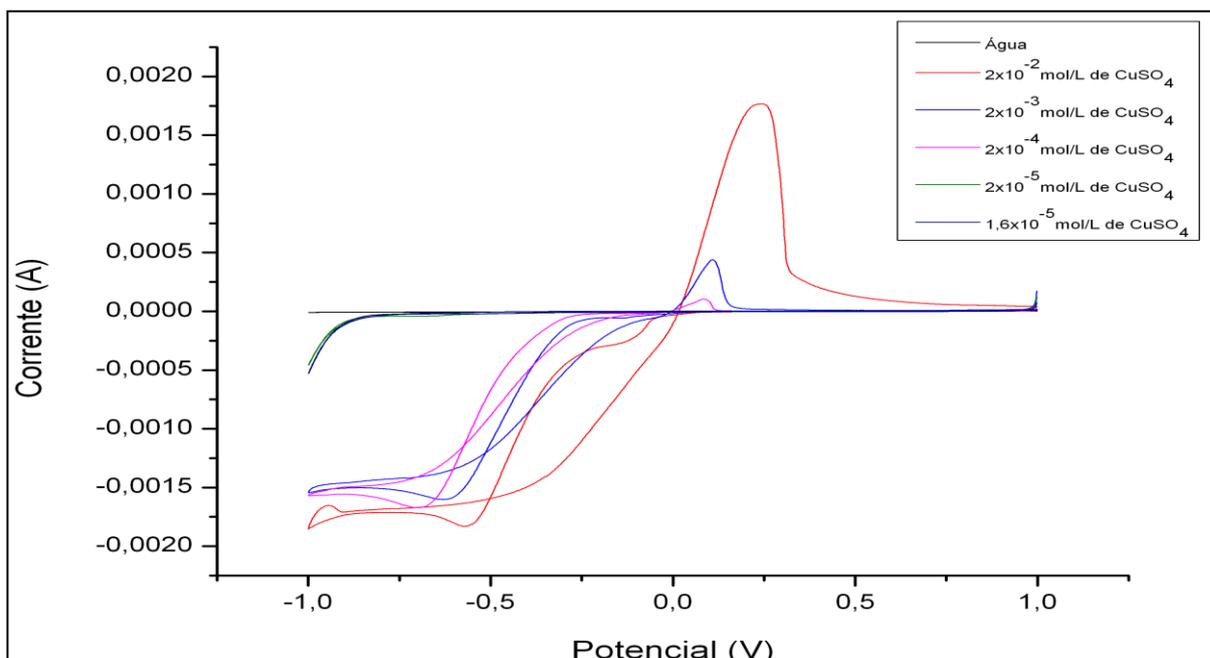
## 5. RESULTADOS

Eletrodo de Trabalho confeccionado a partir de pilhas de 1,5V tem duas áreas de contato, parte eletroativa que entra em contato com a solução e contato elétrico com o Potenciostato é feito com a ajuda de garra tipo “jacaré” preso diretamente ao carbono e ligado via cabo ao equipamento. Na figura 10 é possível ver suas respectivas áreas.



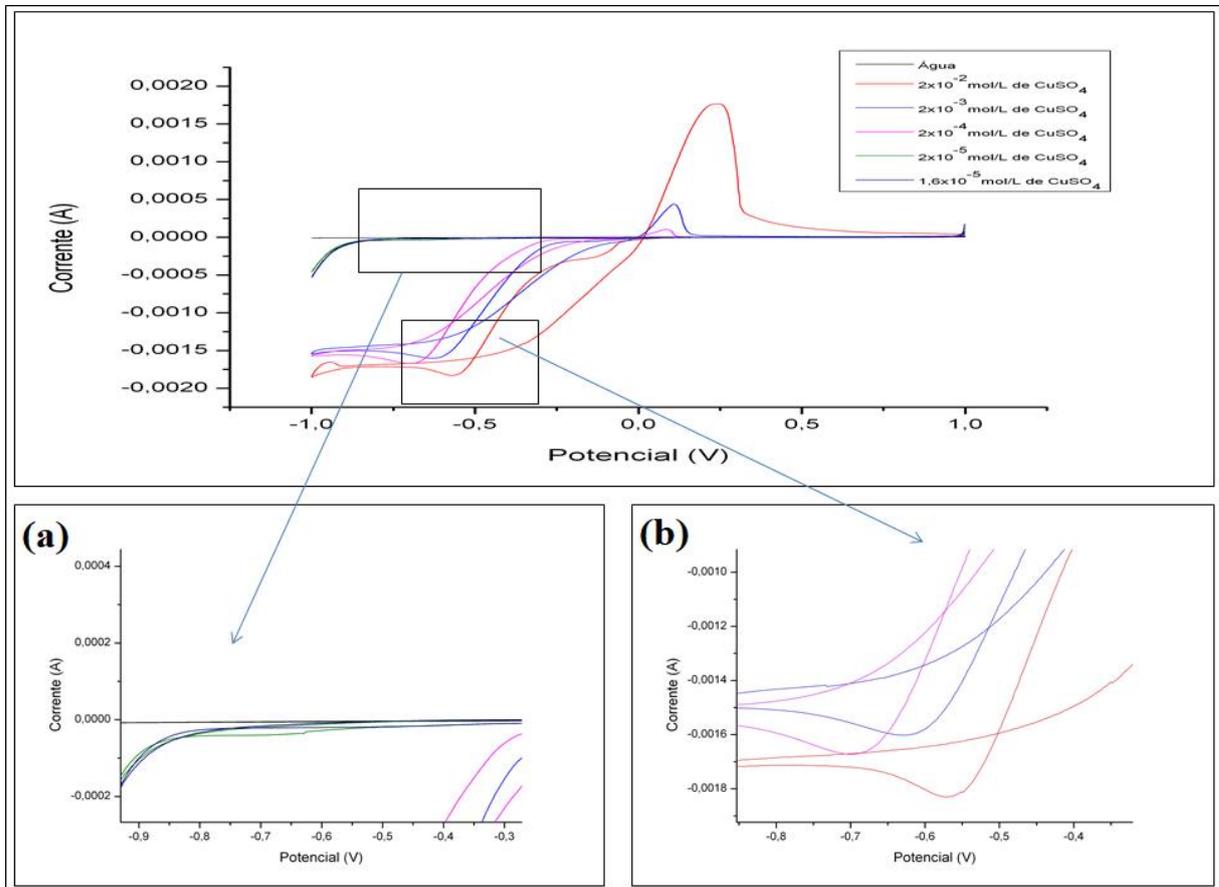
**Figura 10:** Foto do Eletrodo de Trabalho confeccionado a partir de pilhas descartadas.

As análises eletroquímicas foram desenvolvidas no LABMADE (Laboratório de pesquisa em Materiais para Aplicações em Dispositivos Eletrônicos), inicialmente o eletrodo de trabalho confeccionado foi utilizado na detecção de Cobre em água destilada por osmose reversa (retida de sais da água), onde adicionamos gradativamente o sulfato de cobre, e análises voltamétricas com potencial controlado de -1V até 1V onde foram obtidas.



**Figura 11:** Voltametria de várias concentrações de cobre em água filtrada por osmose utilizando eletrodo confeccionado com núcleo de grafite de pilha.

A Figura 11 e 12 mostra a variação de corrente em função do potencial aplicado para diferentes concentrações de Cobre em água.



**Figura 12:** Voltametria de várias concentrações de cobre.

Pode-se observar que o eletrodo confeccionado nesta pesquisa detectou concentrações de até  $2 \times 10^{-4}$  mol/L de cobre em água (Figura 12- b). A voltametria inicia-se com potencial e corrente em zero, então é varrido potencial e em dado momento ele dispara. É possível notar pico de deposição bem definida perto do potencial  $-0,65$ V. Em consequência da detecção do cobre é depositado uma fina camada de Cu sobre a área eletroativa do eletrodo de grafite. Além dos potenciais de detecção, outra característica pode ser percebida nos gráficos, laços de nucleação, que por sua vez é observado em alguns processos de nucleação heterogênea, que ocorre devido à energia inicial necessária para a formação de núcleos metálicos no substrato semiconductor (da ROCHA, 2006).

Houve também análises voltamétricas com concentrações de cobre em diferentes soluções tampão, contendo Ácido Bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ), Nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) e Clorídrico ( $\text{HCl}$ ). Estes gráficos podem ser vistos nas figuras a seguir, onde comparamos com a análise da água.

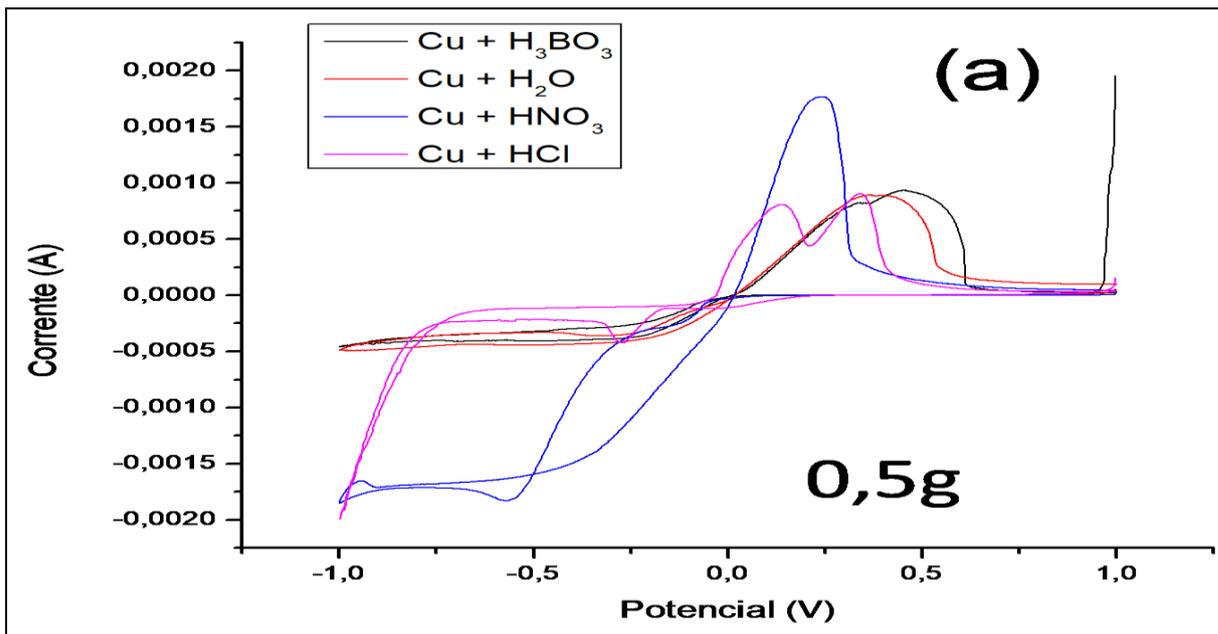


Figura 13: Curva voltametria contendo 0,5g de cobre com soluções tampão empregando núcleo de pilha.

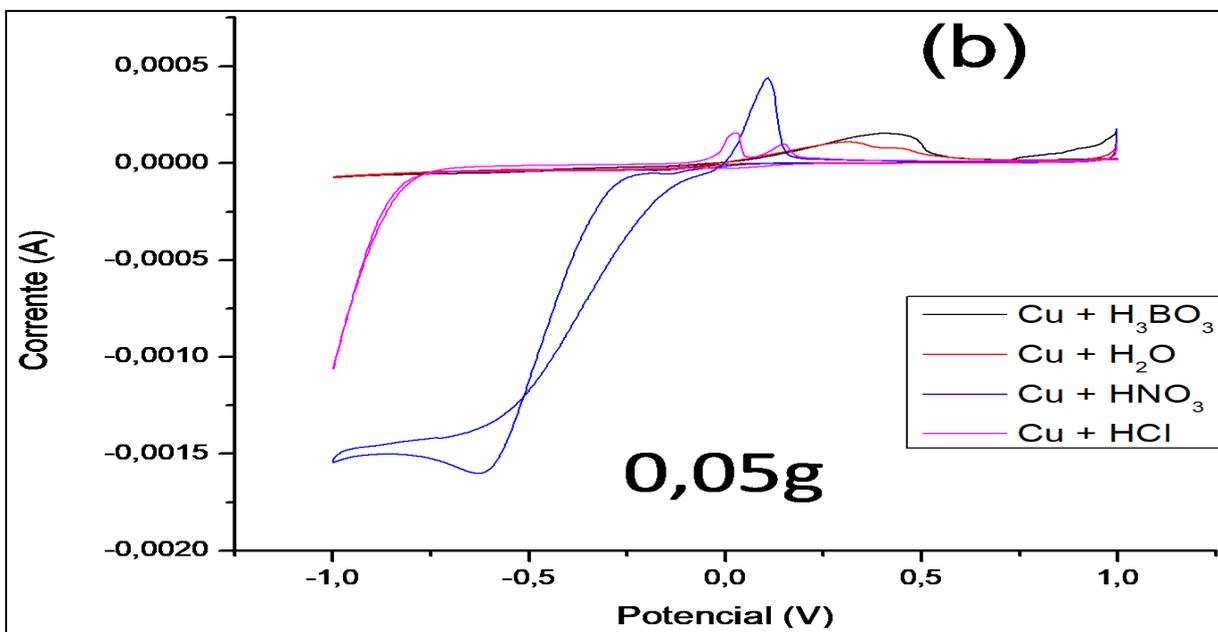


Figura 14: Curva voltametria contendo 0,05g de cobre com soluções tampão empregando núcleo de pilha.

Nas Figuras 13 e 14, pode-se notar que soluções contendo Ácido Nítrico e Clorídrico possuem curvas destacadas ao Ácido Bórico e água. É possível ver picos de redissolução, inclusive na Figura 15 para ( $\text{HNO}_3$ ).

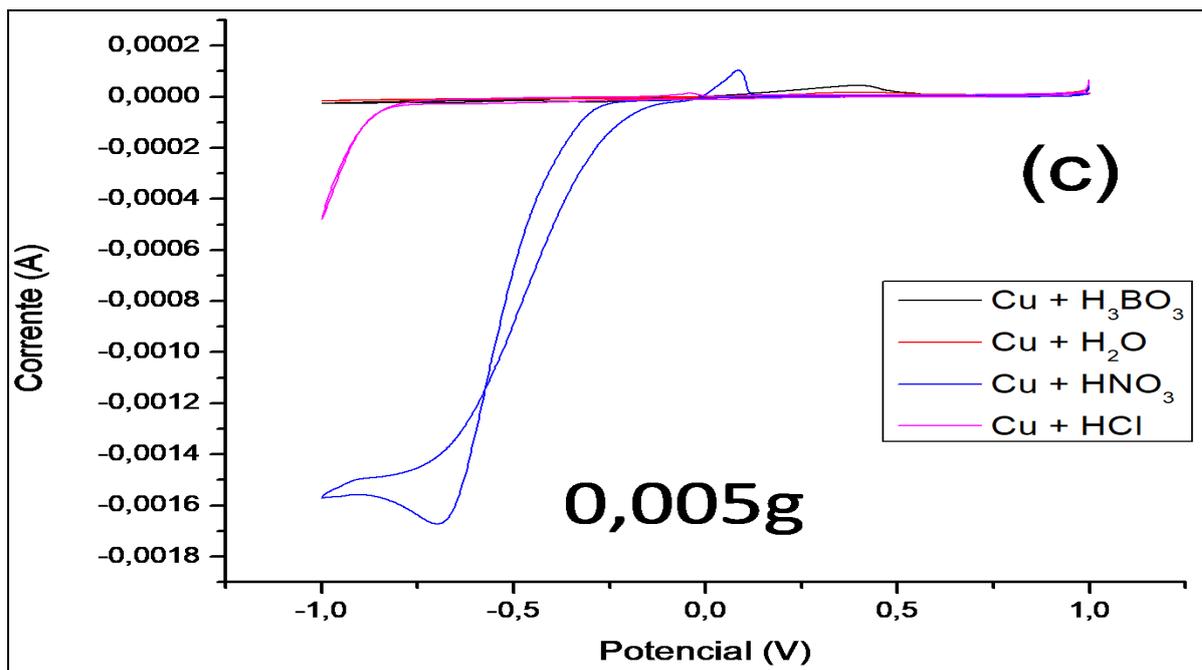


Figura 15: Curva voltametria contendo 0,005g de cobre com soluções tampão empregando núcleo de pilha.

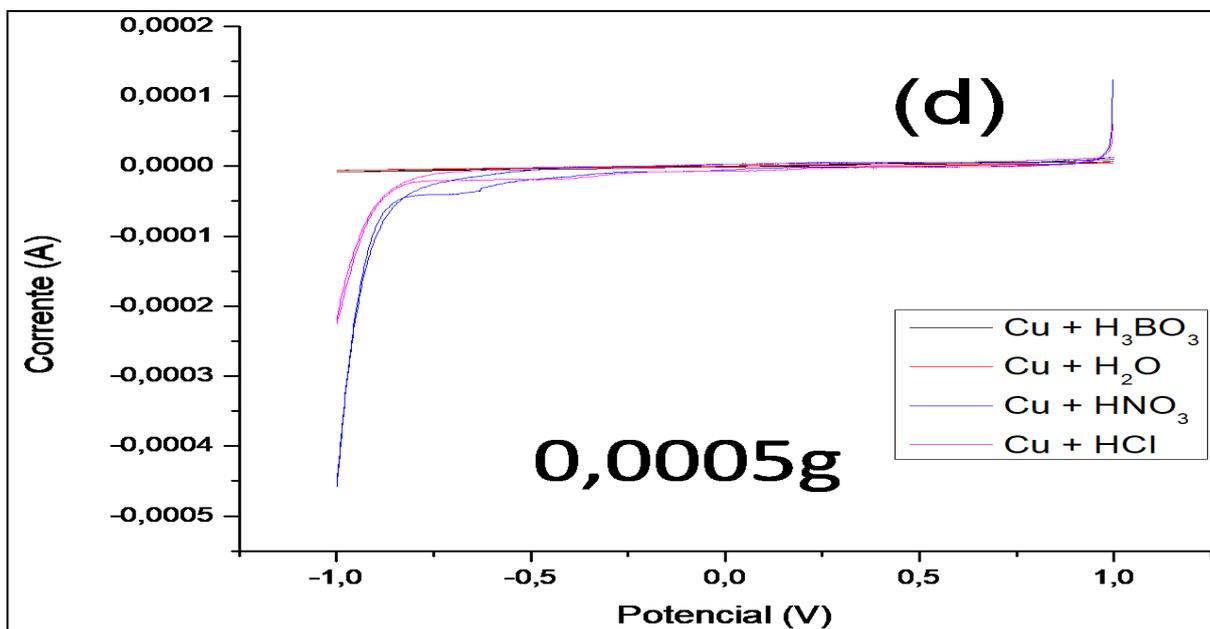
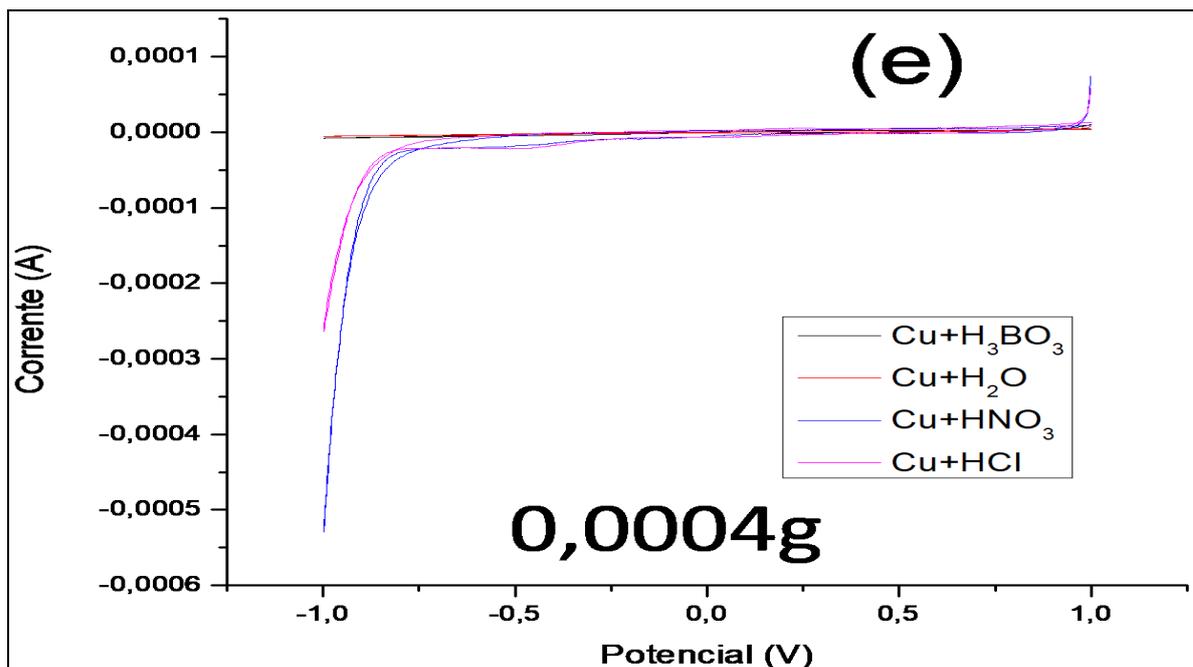


Figura 16: Curva voltametria contendo 0,0005g de cobre com soluções tampão empregando núcleo de pilha.

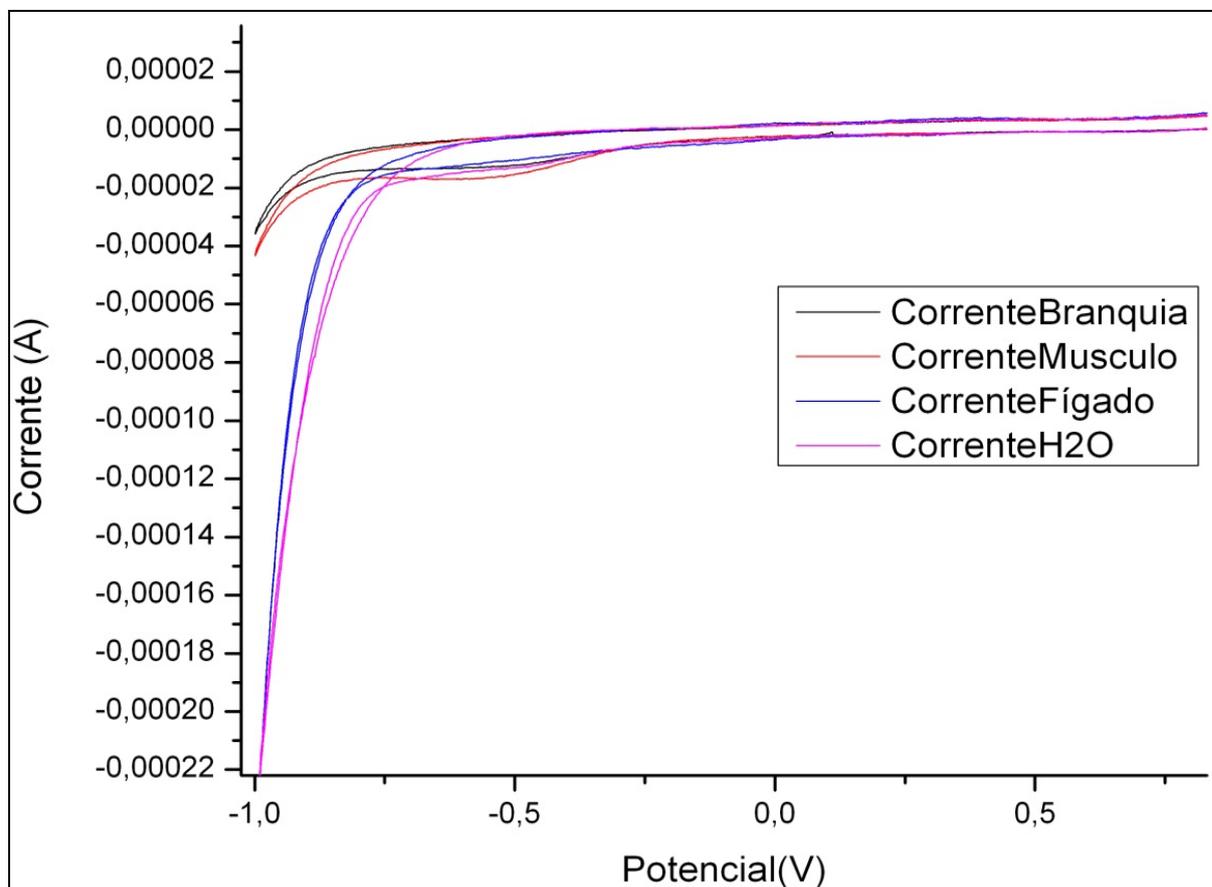


**Figura 17:** Curva voltametria contendo 0,0004g de cobre com soluções tampão empregando núcleo de pilha.

Analisando os gráficos da Figura 16 e Figura 17, pode-se notar que em concentrações mais baixas, com 0,0005g e 0,0004g de Cobre, onde a solução com Ácido Nítrico atinge uma corrente em torno de 0,0005 A e 0,0003 A para o Ácido Clorídrico. Nota-se também “laços de nucleação” em ambas as curvas. Não é possível ver picos de redissolução.

Devido às características destes ácidos (potencializando a detecção de cobre) empregamos os Ácidos, Nítrico e Clorídrico para detectar o cobre em tecidos do peixe “Tilápia do Nilo” (músculo, brânquias e fígado). A Figura 18 compararam os tecidos contaminados com a curva padrão da água contaminada que os peixes foram expostos (curva rosa).

Além da detecção de Cobre em água, foi realizado medidas em tecidos de peixes (músculo, brânquias e fígado).

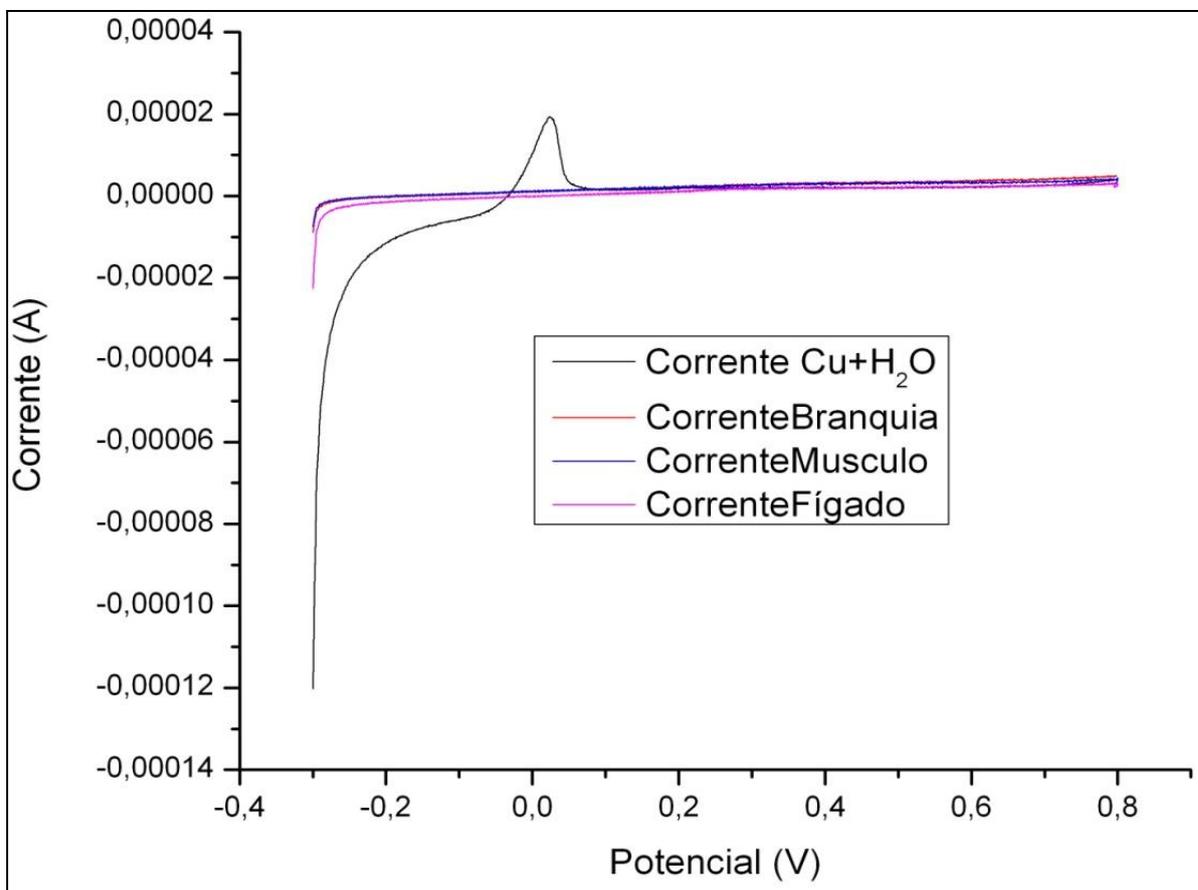


**Figura 18:** Voltametria feita com eletrodo confeccionado com núcleo de grafite de pilha testado para detecção em Músculo, Brânquia e Fígado de peixe com solução ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ).

Os voltamogramas para detecção de cobre em Brânquias, Fígado e Músculo dos peixes são comparados a uma curva da água/cobre (Figura 18). É possível notar que o eletrodo detecta cobre em todos os tecidos (pico negativo de  $-0,5\text{V}$ ), mas não foi possível quantificar o cobre absorvido pelos animais, pois as curvas de redissolução não apresentaram pico de remoção do cobre.

O experimento de redissolução inclui depositar um filme de cobre sobre a superfície do eletrodo de grafite usando a solução com cobre, pela técnica de Cronoamperometria. Depois do filme formado nas amostras a mesma é submetida a um voltamograma entre os potenciais negativos e positivos.

A figura 19 mostra as redissoluções de cobre.



**Figura 19:** Curvas de redissolução de cobre.

Aqui temos os gráficos de redissolução de cobre em amostras de tecidos (Figura 19), entretanto não foi possível detectar picos de remoção (em potenciais positivos), e com isto não podemos quantificar as amostras. Isto fica evidente quando comparamos a curva preta (0,0005g de cobre em água) com as demais, nesta é possível identificar um pico de redissolução em potenciais positivos, que não aparece nos dados das amostras com os tecidos. Isto deve-se a baixa contaminação dos tecidos ou a quantidade de peixe analisada foi muito pequena.

## 6. CONCLUSÃO

O eletrodo de trabalho construído a partir de grafite de pilha, com custo basicamente nulo e de manufatura simples foi empregado em técnicas para identificar cobre em água com diferentes concentrações de cobre. Verificamos que o eletrodo identificou cobre a uma concentração de  $2,00 \times 10^{-4}$  mol/L em água, para as soluções tampão contendo ácido nítrico e bórico. No peixe, utilizando as partes tais como: brânquia, fígado e músculo. O fígado foi o qual o eletrodo identificou cobre a uma menor concentração ( $2,2 \times 10^{-4}$  mol/L) de cobre em água, provavelmente por se tratar de um órgão que faz parte do trato digestivo.

É importante destacar que este trabalho é parte inicial de uma pesquisa ainda em desenvolvimento e que os resultados obtidos até o momento traz motivação para a continuidade do mesmo.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL). **Plano estratégico de recursos hídricos da bacia hidrográfica dos rios Tocantins e Araguaia**. Relatório síntese / Agência Nacional de Águas, Brasília : ANA; SPR, 2009. p. 256.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS. **Caderno da Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia**. Brasília: MMA, 2006.

AZEVEDO, V. V. S.; COSTA, H. S.; COSTA, D. D. **Circuito Potenciostático Para Avaliação de Alimentos**. In: XV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos. FAURGS, 2016.

BAIO, J. A. F.; RAMOS, L. A.; CAVALHEIRO, E. T. G. **Construção de Eletrodo de Grafite Retirado de Pilha Comum**: Aplicações Didáticas. Química. Nova, Vol. 37, N° 6. p.1078-1084, 2014.

CHERNICHARO, C. A. L. **Curso Tratamento anaeróbio de esgotos sanitários. Belo Horizonte**: Escola de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG, 1994.

CUMBA, L. R. **Deteção e Quantificação Eletroquímica de Substâncias de Interesse Clínico, Ambiental e Forense Utilizando Eletrodo de Pasta de Grafite Modificado com Trisilanol Poss Ligado a Suportes Porosos e Eletrodos Impressos Obtidos Via Screenprinted**. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, 2016.

da ROCHA, A. S.; SARTORELLI, M. L. **Magnetotransporte em Sistemas Nanoestruturados de Cu/Co**. Tese de Doutorado, Laboratório de Sistemas Nanoestruturados, Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

FELIX, F. S.; MACIEL, J. M.; BRETT, C. M. A.; ANGNES, L. **Estudo eletroquímicos de Paraquat utilizando eletrodos de filme de carbono aplicação à análise de águas**. Tecno-Lógica, 2006. Vol. 10. N° 2. p. 09-13.

HUGOR, V. **Como abrir uma pilha tamanho “B”**, 2010. Disponível em: <<http://www.pontociencia.org.br/experimentos/pdf/621>>. Acessado em janeiro de 2017.

IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico**.<<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/to/panorama>>. Acessado em 2018.

IFRAH, Georges. *L'Histoire de l'eau*, Paris, **Declaração Universal dos Direitos da Água**, 1992. Disponível em: <<http://www.direitoshumanos.usp.br/index.php/Meio-Ambiente/declaracao-universal-dos-direitos-da-agua.html>>. Acessado em dezembro 2017.

LORA, E. E. S. **Prevenção e controle da poluição nos setores energético, industrial e de transporte**. 2.ed., Rio de Janeiro: Interciência, 2002.

PENSANDO VERDE. **Contaminação da água: As consequências dos metais pesados na água**.<<http://www.pensamentoverde.com.br/meio-ambiente/contaminacao-da-agua-consequencias-dos-metais-pesados-na-agua/>>. Acesso em janeiro 2018.

PINHEIRO, L.S.; ROSA, M.F, SUCUPIRA, P.A. **O contexto ambiental e sócio-econômico do médio e baixo Curso do Rio Acaraú-CE: Implicações para a gestão dos recursos hídricos**. In: Pinheiro,D.R. (org). *Desenvolvimento Sustentável: Desafios e Discussões*. Fortaleza, ABC editora, 2006. p.: 125-146.

RATH, S. **Uso de Técnicas Voltamétricas na Análise de Solos e Água**. In: VIII Encontro Nacional Sobre Métodos dos Laboratórios da Embrapa. Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas, 2003.

RIBEIRO, L. F. **Determinação Simultânea de Cu(II), Pb(II), Cd(II) e Zn(II) em Águas e Sedimentos Usando Análise por Injeção Sequencial (SIA) Com Detecção Voltamétrica**. 2014. 104 p. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química da Universidade de São Paulo.

SAMPAIO, F. G.; BOIJINK, C. L.; RANTIN, F. T. **O Uso de Sulfato de Cobre em Ecossistemas Aquáticos: fatores que afetam a toxicidade em peixes de água doce**. Jaguariúna, SP :Embrapa Meio Ambiente, 2013. p. 101.

SIMÕES, F. R. **Desenvolvimento e Caracterização de Materiais de Eletrodos Modificados com Polímeros Condutores Para a Determinação Eletroanalítica de Pesticidas**. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 2005.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; RODRÍGUEZ, S. L. **Gerenciamento e Recuperação das Bacias Hidrográficas dos Rios Itaqueri e do Lobo e da Represa Carlos Botelho (Lobo-Broa)**. IIE, IIEGA, PROAQUA, ELEKTRO, 2003.

TV ANHANGUERA. **Polícia flagra retirada de água do Rio Araguaia para irrigação**, 2016. Disponível em <<http://g1.globo.com/goias/noticia/2016/06/policia-flagra-retirada-de-agua-do-rio-araguaia-para-irrigacao-veja-video.html>>. Acessado em dezembro 2018.

TV ANHANGUERA. **Seca faz nível do rio Araguaia baixar em cerca de 2 metros, aponta levantamento**, 2017. Disponível em:<<https://g1.globo.com/to/tocantins/noticia/seca-faz-nivel-do-rio-araguaia-baixar-em-cerca-de-2-metros-aponta-levantamento.ghtml>>. Acessado em dezembro 2017.