

Determinação da toxidez do Índigo Carmim em solo pelo método respirométrico

Determination of Indigo Carmine's toxicity in soil by respiratory method

Anne Carmen ten Boom¹, Fernanda Hugo Figueiró¹,
Ilva de Fátima Souza¹, Vivian Machado Benassi¹
Juan Pedro Bretas Roa¹

¹Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Instituto de Ciência e Tecnologia, Campus JK. Rodovia MGT 367, Km 583, nº 5000. CEP 39100-000, Alto da Jacuba Diamantina, MG, Brasil.
e-mail: actenboom@hotmail.com, fernandafigueiro2008@hotmail.com, ilva.souza@ict.ufvjm.edu.br),
vivian.benassi@ict.ufvjm.edu.br, juan.roa@ict.ufvjm.edu.br .

RESUMO

O estudo sobre corantes e seus impactos no meio ambiente são condição para que informação técnicas capazes de proporcionar melhores práticas de gestão sejam adotadas. A falta de informação na Ficha de Informação Sobre Produtos Químicos (FISPQ), regulamentada pela ABNT, do Índigo Carmim motivou a investigação sobre toxidez desse corante em solo. No presente trabalho utilizou-se o método respirométrico para verificar a quantidade de CO₂ liberada pela respiração da biota do solo. Foi estudado com a intenção de determinar o comportamento dos microrganismos na presença do Índigo Carmim nas concentrações de 1, 100 e 1000 ppm. Os resultados demonstram que o Índigo Carmim não apresenta efeitos tóxicos para os microrganismos presentes no solo analisado. Além disso, foi verificado um incremento na respiração da biota, indicando biodegradabilidade do corante.

Palavras-chave: Índigo Carmim. Corante. FISPQ. Toxicidade. Biodegradação.

ABSTRACT

The study of dyes and their impacts on the environment is a condition for adopting technical information capable of providing better management practices. The lack of Índigo Carmim Material Safety Data Sheet (MSDS) information's, which, in Brazil, is regulated by the ABNT motivated the investigation about toxicity of this dye in soil. This work used the respirometric method to verify the amount of CO₂ released by the respiration of the soil biota. The microorganisms' behaviors were studied in the presence of Indigo Carmine at concentrations of 1, 100 and 1000 ppm. The results demonstrate that Indigo Carmine does not present toxic effects for the microorganisms present in the analyzed soil. In addition, an increase in biota respiration has been demonstrated, indicating biodegradability of the dye.

Keywords: Indigo Carmine. Dye. MSDS. Toxicity. Biodegradation.

1. INTRODUÇÃO

Corantes são substâncias que possuem a capacidade de refletir luz na região do visível, ondas de 400 nm a 700 nm, sendo muito coloridas ou fluorescentes, fazendo com que sejam capazes de colorir compostos incolores. Eles são moléculas orgânicas, naturais ou sintéticas, que possuem anéis aromáticos, heterocíclicos e grupos cromóforos, que são responsáveis pela cor. Esses grupos são arranjos de átomos que possuem a capacidade de sofrer transições eletrônicas, emitindo determinado comprimento de onda eletromagnética na forma de luz [1-4].

Diversas indústrias utilizam corantes em seus processos de fabricação, sendo a produção estimada entre 700 mil E 1 milhão de toneladas de corantes artificiais são produzidas anualmente no mundo e, no Brasil, em torno de 25.600 toneladas, das quais cerca de 2 % é descartada nos efluentes [3-6]. Em indústrias têxteis, devido à dificuldade de fixação, em torno de 5 a 20 % são perdidos durante o processo de tingimento e são descartados nos efluentes da indústria [5-7].

Diversas indústrias utilizam corantes em seus processos de fabricação, sendo a produção mundial estimada de corantes artificiais é maior que 700 mil toneladas. O Brasil é responsável por mais de 25 mil toneladas, das quais 2 % é descartada nos efluentes. Dos principais setores que utilizam corantes em seus processos, destacam-se a indústria têxtil e a de alimentos. Na indústria têxtil, devido à dificuldade de fixação desses materiais, em torno de 5 a 20 % são perdidos durante o processo de tingimento e são descartados nos efluentes da indústria, se tornando um tema de grande preocupação pelos impactos diretos e indiretos ao meio ambiente [3-7].

Muitos avanços científicos foram desenvolvidos no sentido de entender o ciclo de vida e mitigar a ação potencialmente nociva de corantes, afinal, é bem conhecido que corantes sintéticos têxteis representam um desafio particular, pelo grande grupo de substâncias orgânicas que podem apresentar efeitos indesejáveis ao meio-ambiente e ao ser humano [8, 9].

A maioria dos corantes não é degradada pelos métodos químicos e biológicos convencionais, uma vez que são projetados para resistirem à luz, sabão, água, suor, agentes oxidativos, dependendo da aplicação [3, 4]. Tal fato promove diversos problemas quando esses compostos são descartados na natureza, tanto para o meio ambiente, inclusive, quando atingem os cursos d'água causam grande impacto na biota, uma vez que sua coloração aumenta a turbidez e dificulta a penetração dos raios solares na água, reduzindo assim a taxa de fotossíntese, além de acarretar a diminuição da solubilidade dos gases [3, 5, 10].

Avanços e tecnologias estão disponíveis para tratamento de efluentes, tais como a utilização de processos de adsorção com uso de biomassa, carvão ativado, argilas processos oxidativos com aplicação de Cloro e Ozônio, ou mesmo processos oxidativos avançados, tipo Fenton, tipo Foto-Fenton, aplicáveis tanto no tratamento de efluentes quanto na descontaminação de solos [8, 11-14].

De forma direcionada este trabalho trata o Índigo Carmim como corante de particular interesse devido à sua importância industrial. O Índigo Carmim é utilizado desde a antiguidade, tendo origem na Índia, com uso também nas civilizações antigas do Egito, Grécia e Roma. Sua extração era feita de uma planta do gênero *Indigofera spp.* ou *Isatis tinctoria* na sua forma natural Indigotina. Ele é um corante da classe dos indigóides e pertence à família dos corantes do tipo Vat, também conhecida como corantes à cuba ou à tina, sendo o mais importante dessa família. Calcula-se que são produzidas cerca de 20.000 toneladas por ano de Índigo sintético, o que representa 3 % da produção de corante, cujo segundo maior produtor é o Brasil [4, 5, 7, 15].

O Índigo (de acordo com a IUPAC: 3,3'-dioxo-2,2'-bis-indolideno-5,5'-dissulfonato de dissódio) é composto por um agrupamento de NaSO_3 , que lhe confere solubilidade em meio aquoso e lhe garante a classificação como corante ácido [4, 7, 16]. O grupo cromóforo (Figura 1) é composto por um arranjo transversal de dois elétrons doadores (NH) e de dois elétrons aceptores (C=O), sendo esse sistema conjugado denominado H-cromóforo [5, 6, 16]. Esse grupo faz com que o Índigo Carmim possua absorvância máxima no comprimento de onda 610 nm. Além do mais, possui ponto de fusão de 390-392 °C e baixa solubilidade em solventes orgânicos, graças à presença de fortes ligações de hidrogênio intramolecular. [4, 7, 8]

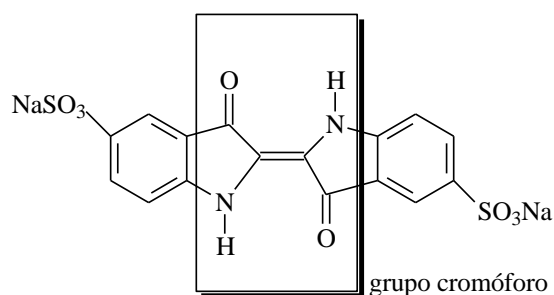


Figura 1: Estrutura do Índigo Carmim

O Índigo Carmim é um corante amplamente utilizado, sendo comum em diversas indústrias, como a indústria alimentícia, têxtil, farmacêutica, cosmética, entre outras. Dessas indústrias, ele exerce maior influência na indústria têxtil. Entre suas funções, está o tingimento de roupas (blue jeans) e provenientes do denim, além de funcionar como marcador de microrganismos, aditivo de itens da indústria farmacêutica e também em diagnósticos médicos, etc. [4, 7, 17].

Com relação aos seres humanos e aos animais, esse corante é bastante tóxico, podendo causar irritações gastrointestinais (como náusea, vômito e diarreia), na pele e na córnea, que em casos mais graves chega a causar lesões permanentes nas córneas e na região conjuntiva do olho. Além disso, existem estudos que mostram que ele pode induzir tumores nos locais de aplicação, ou seja, possui propriedades cancerígenas,

assim como interfere no desenvolvimento neural, e, dependendo das quantidades utilizadas, pode chegar a ser fatal. Quando administrado por via intravenosa, pode causar hipertensão, doenças cardiovasculares e problemas respiratórios. Sua ingestão pode ser fatal, além de afetar o sistema reprodutor, neurológico e o crescimento [4, 5, 7, 18].

A segurança na utilização de produtos químicos no trabalho é um tema central de discussão no mundo, mesmo antes da Conferência Geral da Organização Internacional do Trabalho, que foi a primeira relativa a esse assunto nos anos de 1990. A discussão destaca a proteção do público em geral, do meio ambiente e dos trabalhadores contra os efeitos nocivos dos produtos químicos, bem como sua utilização no trabalho. Com tudo isso, percebe-se que o debate, não só atende a uma necessidade, como também se configura como um direito do trabalhador [19].

Segundo a Lei 8.078 no seu Art. 9º:

“O fornecedor de produtos e serviços potencialmente nocivos ou perigosos à saúde ou segurança deverá informar, de maneira ostensiva e adequada, a respeito da sua nocividade ou periculosidade, sem prejuízo da adoção de outras medidas cabíveis em cada caso concreto.” [20]

A indústria utiliza diversos tipos de substâncias químicas, sendo a Ficha de Informação Sobre Produto Químico (FISPQ) a principal fonte de dados. A FISPQ é o documento que serve de base para determinar uma metodologia adequada para a utilização dos produtos com segurança [21]. Além disso, este documento é regulamentado pela Associação brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e serve de meio para transmitir informações sobre os diferentes perigos de uma determinada substância ou preparado, sendo a NBR 14725:2014 a normativa mais atual [22].

Apesar de ser um documento de suma importância para a gestão de produtos químicos, é comum serem encontradas algumas fichas com dados não disponibilizados. Nesse sentido, em caso de ocorrência de algum acidente, não seriam encontradas informações suficientes para saber qual a melhor atitude a ser tomada. Com isso, as FISPQs dos produtos químicos comercializados em território nacional demandam constante atualização, uma ação que, em grande parte, pode ser papel das Instituições de Ciência e Tecnologia, especialmente em produtos que podem ser de interesse no estado de Minas Gerais, principalmente na sua porção Norte. Segundo ZACARIAS e SANTOS [21], as legislações estão em constante revisão, o que exige dos profissionais, uma atualização periódica para garantir a qualidade dos documentos, mas que levem em consideração os diferentes perfis de usuários de produtos químicos, que possuem diferentes níveis de instrução e conhecimento técnico para interpretação da FISPQ [21].

Fazendo uma leitura nas FISPQs do Índigo Carmim fornecida pela ANIDROL [23], CARVALHAES [24], SIGMA-ALDRICH [25], é possível perceber que não há nenhuma informação relacionada à sua toxicidade ecológica (como por exemplo: toxicidade em peixes, bactérias, nem ligações de biodegradabilidade e bioacumulação em seres vivos). Por isso, é relevante realizar pesquisas que envolvem o compartilhamento para essas informações.

A biodegradação da matéria orgânica no solo ocorre devido a seres vivos que a utilizam para seu metabolismo, tais como: plantas, nematóides e microrganismos [26]. De acordo com ZANONI [2], os tipos de biorreações que causam alterações nos corantes e outras moléculas orgânicas são as de hidrólise, redução, oxidação, conjugação e processos enzimáticos. Para a realização dessas reações, uma parte dos organismos decompositores utiliza o oxigênio, O₂, como reagente essencial em suas reações metabólicas, liberando gás carbônico, CO₂, como um dos produtos [26].

O método respirométrico é baseado na análise da respiração basal do solo (RBS), que possui o CO₂ como padrão metabólico. Os fatores que interferem diretamente na RBS são a umidade, temperatura, aeração, disponibilidade do substrato, carbono biomassa microbiana (BMS-C). No entanto, esse método possui, como fator limitante, a saturação da substância alcalina cuja função é absorver o CO₂. Tal fato faria com que o resultado obtido represente uma respiração menor do que a real, uma vez que depois que a substância alcalina chega no seu ponto de saturação, a captura de CO₂ cessa [27].

Para a análise da quantidade de CO₂ liberado, captura-se o gás carbônico com uma substância alcalina, geralmente hidróxido de potássio ou hidróxido de sódio. A solução alcalina restante é, então, titulada utilizando HCl [10, 28]. As reações ocorridas nas análises feitas neste trabalho, para a captura do CO₂ (1, 2) e para a titulação (3), estão representadas nas seguintes equações:



Um passo necessário para a realização do método respirométrico é a análise da Capacidade Máxima de Retenção de Água (CMRA). A medição da CMRA é uma metodologia que avalia a quantidade máxima de água que o solo é capaz de absorver, com o intuito de observar se a umidade natural presente no solo é suficiente para um melhor crescimento da biota. [27]

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento do Índigo Carmim em solo em diferentes concentrações através do método respirométrico. Além disso, propor uma alteração nas FISPQ vigentes desse corante em relação a sua toxicidade em solo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A respirometria tem como objetivo definir padrões metabólicos dos microrganismos, baseado na respiração aeróbia, por meio da quantificação da liberação de CO_2 [28] e necessita das seguintes etapas adaptadas de SILVA, *et al.* [27]: avaliação da capacidade máxima de retenção de água, análise da umidade natural do solo, incubação, titulação e teste estatístico. Para a realização dos experimentos, utilizaram-se o Solo Vegetal adubado da marca Fertnobre peneirado em peneiras de 2,80 mm, 2,26 mm e 1,18 mm e o corante Índigo Carmim (C.I. 73015) P.A. Cód. 642 da marca Vetec.

2.1 Capacidade de Retenção Máxima de Água (CRMA)

Antes de analisar a capacidade do solo, foi necessário avaliar a quantidade de água que o papel filtro retém. Para isso, utilizaram-se cinco provetas, nas quais foram colocados papéis filtro em funis de vidro, acrescentando-se, então, 100 mL de água destilada.

Em seguida, para a análise do CMRA do solo, foram pesados cerca de 20 g de solo, que foram secos em uma estufa por 24 horas à 105 °C. O solo seco foi, então, colocado em funis de vidro com papel de filtro e acrescentaram-se 100 mL de água destilada, como mostrado na Figura 2. A quantidade determinada nessa etapa foi o volume de água retido pelo solo e pelo papel filtro em conjunto. Com isso, é necessário calcular a quantidade retida somente pelo solo, ou seja, a diferença entre o volume de água retida em sua totalidade e o volume retido pelo papel filtro. Ressalta-se, também, que volume calculado anteriormente corresponde à 100 % da CMRA, entretanto, para a análise do método respirométrico, é usado o solo com 60 % da CMRA, que é a quantidade de água ideal para o crescimento dos microrganismos. Portanto, calculou-se 60 % do valor obtido nesse experimento.

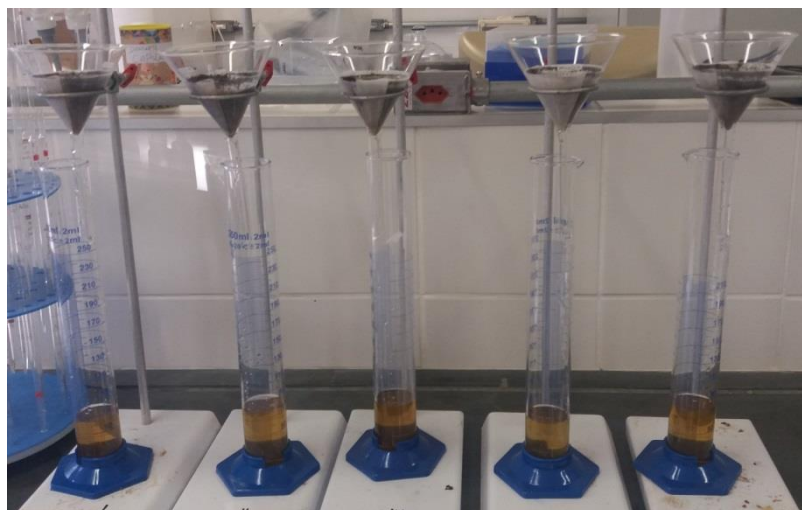


Figura 2: Análise da retenção de água do solo

2.2 Umidade natural do solo

Para a análise da umidade natural do solo, foram pesadas três placas de Petri, cujos pesos foram devidamente anotados. Em seguida, foram pesadas cerca de 20 g de solo em cada uma das placas. Posteriormente, esse sistema foi mantido em uma estufa à 105 °C por 24 h, para a secagem das amostras. Por fim, pesou-se o conjunto placa de Petri + solo seco, anotando-se o valor. A diferença entre o peso total inicial e o final é o quanto que o solo perdeu de água, ou seja, a umidade que está naturalmente presente.

2.3 Incubação

Foram colocadas 20 g de solo em 4 placas de Petri, acrescentando água destilada ao solo até que ele atingisse 60 % de CMRA. Em 4 béqueres, adicionaram-se 20 mL de uma solução de hidróxido de potássio (KOH) 0,1 mol/L. As placas e os béqueres foram inseridos em frascos de 1 L vedados. Esses frascos foram mantidos em um biodigestor (THELGA) à 37 °C por 72 horas. A montagem está ilustrada na Figura 3, que também mostra a liberação do CO₂ pelo solo e sua captura pelo KOH. Os resultados foram analisados pelo processo de titulação, utilizando solução de ácido clorídrico (HCl) 0,1 mol/L como titulante.

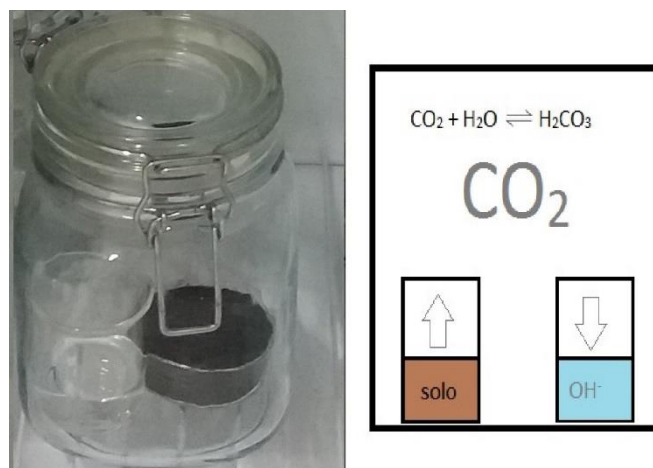


Figura 3: Montagem das amostras para análise da incubação

Posteriormente, realizou-se a incubação das amostras de solo contendo diferentes concentrações de corante. Essa etapa ocorreu de modo análogo à etapa anterior, porém com o solo contendo 2 mL de solução aquosa de Índigo Carmim a 10000 ppm, a 1000 ppm e a 10 ppm, mantendo os sistemas com 60 % da CMRA, finalizando com a titulação descrita anteriormente.

2.4 Análise estatística

Por último, para a comparação dos resultados encontrados nas titulações da etapa 2.3 foi feita a análise estatística pelo método do teste *t* de *Student*, de acordo com ALVES [29]. O teste foi realizado com um nível de confiança de 95 %, considerando uma distribuição normal e uma hipótese nula H_0 como sendo a diferença de média igual a zero. Para isso, foi usada a função “Teste -T: duas amostras presumindo variâncias diferentes”, presente no software Excel® da Microsoft, comparando as amostras de duas a duas, sempre em relação às amostras de solo sem o corante, que foi considerada o padrão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No teste da CMRA foi observado que o papel de filtro absorveu $2,3 \pm 1,3$ mL de água e o conjunto do papel filtro com o solo reteu $15,4 \pm 2,7$ mL, a partir da diferença entre os dois valores, conclui-se que o solo absorve, no máximo, $13,1 \pm 2,5$ mL de água. Com isso, foi calculado que 60 % da CMRA corresponde a 7,9 mL.

Na análise da umidade natural do solo, obteve-se que a média da massa inicial do conjunto placa de Petri com solo foi de $57,4 \pm 0,2$ g, enquanto que a média da massa do sistema final foi de $52,9 \pm 0,2$ g. Assim, têm-se que a umidade natural do solo foi de $4,4 \pm 0,4$ mL. Logo, pela diferença entre o valor de 60 % de CMRA e da umidade natural, obteve-se que a quantidade de água destilada a ser adicionada foi de 3,5 mL. Nas amostras sem o corante foi acrescentado somente água destilada, já nas análises contendo o corante foram adicionados 2,0 mL de solução e 1,4 mL de água destilada, para que a CMRA fosse mantida próxima a 60 % durante o experimento.

Foram utilizadas soluções padronizadas de HCl 0,1 mol/L e KOH 0,1 mol/L. A padronização do HCl com carbonato de sódio indicou uma concentração real de 0,09771 mol/L. E, a padronização da solução de KOH com a solução padronizada de HCl resultou em uma concentração real de 0,08875 mol/L.

As concentrações de 10 ppm, 1000 ppm e 10000 ppm se referem à concentração do corante em solução aquosa, não à concentração real do corante em solo. Como foram utilizadas 2 mL da solução de corante tem-se que a quantidade de corante adicionada ao solo foi de 0,01 mg, 1 mg e 10 mg,

respectivamente. Ou seja, considerando que foram utilizadas 20 g de solo em cada caso, as concentrações em solo são de 1 ppm, 100 ppm e 1000 ppm respectivamente. Desse ponto em diante, será utilizado apenas os valores de concentração do corante referentes ao corante em solo.

As titulações das amostras de KOH foram realizadas com soluções com o HCl. A média dos volumes de HCl encontrados na titulação foram: para o solo, $13,8 \pm 0,6$ mL, para o corante 1 ppm, $10,8 \pm 0,3$ mL, para a concentração 100 ppm, $10,3 \pm 0,6$ mL, e para 1000 ppm, $10,2 \pm 0,3$ mg/g. Baseado no volume de HCl utilizado na titulação, obteve-se o volume de KOH restante em solução, ou seja, que não reagiu com o CO_2 . Calculando a diferença entre o volume inicial de KOH e o volume restante, encontrou-se a quantidade de KOH consumido em cada amostra analisada. O consumo de KOH por amostra analisada é apresentado na Figura 4.

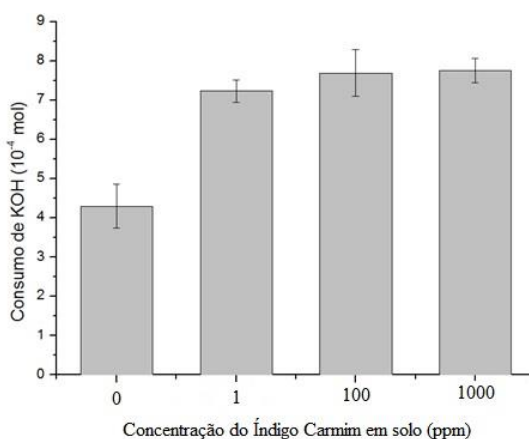


Figura 4: Resultados da respiração do solo pelo método respirométrico.

Todo CO_2 liberado pelas amostras é proveniente da atividade microbiana do meio, portanto, quanto maior a atividade da biota, maior o consumo de KOH. Segundo os resultados obtidos, observou-se que a respiração basal do solo após o acréscimo do corante foi alterada. Como houve maior consumo de KOH do que no solo sem a adição do Índigo Carmim, o estudo mostra que o corante, mesmo na concentração de 1000 ppm, apresenta baixo potencial toxicológico para a biota do solo em específico. Entretanto, para confirmar se essa diferença na respiração do solo é significativamente diferente, foi necessário avaliar estatisticamente os resultados.

Para comparar os resultados, utilizou-se o teste *t de student*. Para isso, foram usadas as médias do número de mols de KOH reagidos obtidas na etapa anterior. O resultado para o teste *t* unicaudal foi de: $P(T \leq t)$ igual a 0,001932 para o corante a uma concentração de 1 ppm, 0,000985 para a concentração de 100 ppm e 0,001294 para a concentração de 1000 ppm.

Foi possível observar que o teste *t* estatístico indicou que a média das amostras com corante é significativamente diferente em relação ao solo de referência, visto que apresentou valores de P menores que α (nível de significância) = 0,05. Desse modo, notou-se que a respiração do solo foi afetada positivamente pela presença do corante, uma vez que o solo com diferentes concentrações de corante teve maior metabolismo que o solo usado como referência. Logo, além de obter a informação de que a biota do solo, no teste realizado, é capaz de metabolizar o Índigo Carmim, isso indicou que o corante é biodegradável até a concentração de 1000 ppm, sendo mais facilmente metabolizado do que a matéria húmica do solo estudado.

4. CONCLUSÕES

Através dos testes de respiração basal, foi possível avaliar o metabolismo do solo com e sem a presença do Índigo Carmim. O solo contaminado teve atividade metabólica maior do que o solo sem a presença do corante, considerando um índice de confiança de 95 %. O estudo mostrou que o corante em todas as concentrações analisadas apresenta baixo potencial toxicológico para a biota do solo utilizado nesse experimento. O estudo aponta ainda que o solo é capaz de metabolizar o Índigo Carmim, o que indica que o corante é biodegradável até a concentração de 1000 ppm.

É recomendável que seja feita a inclusão nas FISPQ do Índigo Carmim de que a toxidez em solo do Índigo Carmim é baixa por ser biodegradável até o limite analisado por esse estudo, 1000 ppm de corante em solo. Esse resultado é importante porque amplia o entendimento do comportamento do Índigo Carmim no

meio ambiente.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] BALAGUERA, S.E.R., *Evaluación de la remoción del colorante ÍNDIGO utilizado en empresas dedicadas a la producción de telas tipo DENIM empleando a Pleutorus ostreatus como modelo biológico*, Dissertação de Mestrado, Universidade de La Sabana, 2011.
- [2] ZANONI, M.V.B., YAMANAKA, H., *Corantes - Caracterização química, toxicológicas, métodos de detecção e tratamento*, 1 ed., São Paulo, SP, Revista UNESP, 2016.
- [3] CREMA, A.P.S., *Estudo das reações de descoloração de corantes em meio aquoso induzidas por plasma frio*, Dissertação de Mestrado, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/135283>>. Acesso em: 07 dez. 2020.
- [4] BOLZON, L.B., *Nb2O5 como fotocatalisador para a degradação de índigo de carmina*, Dissertação de Mestrado, Instituto de Química, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2007. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/3071>>. Acesso em: 07 dez. 2020.
- [5] SAGGIORO, E., PAVESI, T., FERREIRA, L.F.V. *et al.*, “Fotocatálise solar na remediação de corantes indigoides usados no tingimento de fios de algodão”, *III Seminário de I&DT*, Portalegre, Portalegre, Portugal. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/62690620.pdf>>. Acesso em: 07 dez. 2020.
- [6] DOTTO, G.L., VIEIRA, M.L.G., GONÇALVES, J.O., *et al.*, “Remoção dos corantes azul brilhante, amarelo crepúsculo e amarelo tartrazina de soluções aquosas utilizando carvão ativado, terra ativada, terra diatomácea, quitina e quitosana: estudos de equilíbrio e termodinâmica”, *Química Nova*, v. 34, n. 7, pp. 1193–1199, 2011. Disponível em: <<http://repositorio.furg.br/handle/1/4449?show=full>>. Acesso em: 07 dez. 2020.
- [7] ANTES, B.S., *Aplicação do processo foto-fenton na degradação do corante índigo carmin*, 2017, 64f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, 2017. Disponível em: <<https://rd.uffs.edu.br/handle/prefix/1734>>. Acesso em: 07 dez. 2020.
- [8] GUARATINI, C.C.I., ZANONI, M.V.B. “Corantes têxteis”, *Química Nova*, v. 23, n. 1, pp. 71-78, 2000. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-4042200000100013&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 07 dez. 2020.
- [9] PATTANAIK, L., PADHI, S.K., HARIPRASAD, P. *et al.* “Life cycle cost analysis of natural indigo dye production from Indigofera tinctoria L. plant biomass: a case study of India”, *Clean Techn Environ Policy* v.22, p.1639–1654, 2020.
- [10] SANTOS, A.D.O., SOUZA, A.M.X., BARRETO, I.N. *et al.*, “Degradação De Índigo Carmim Em Reator Em Batedas Sequenciais Com Aspergillus Niger An 400 No Tratamento De Água Residuária Têxtil In Natura”, *REVISTA AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales*, v. 8, n. 3, pp. 328–343, 2015. Disponível em: <<https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=http://www.journals.unam.mx/index.php/aidis/article/viewFile/53492/47575>>. Acesso em: 07 dez. 2020.
- [11] CHAVES, K.O., MONTEIRO, C.R.L., MUNIZ, C.R., *et al.*, “Adsorption of indigo carmine on dead biomass of aspergillus niger”. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.13, n.4, pp. 351-355. 2008. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/esa/v13n4/a01v13n4.pdf>>. Acesso em: 30 Nov. 2020.
- [12] SALGADO, B.C.B., NOGUEIRA, M.I.C., RODRIGUES, K.A., *et al.* “Descoloração de efluentes aquosos sintéticos e têxtil contendo corantes índigo e azo via processos Fenton e foto-assistidos (UV e UV/H2O2)”. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.14, n. 1, pp. 1-8. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522009000100001&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 07 dez. 2020.
- [13] MELLO, V.F.B., GAMA, J., FERREIRA, J.M., *et al.* “Estudo e caracterização de propriedades da argila esmectita na remoção de corantes têxteis”. *Matéria (Rio de Janeiro)*, v.18, n.4, pp. 1467-1482, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762013000400008&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 07 dez. 2020.
- [14] MENDES, C.R., DILARRI, G., PELEGRINI, R.T. “Aplicação da biomassa *Saccharomyces cerevisiae* como agente adsorvente do corante Direct Orange 2GL e os possíveis mecanismos de interações adsorbato/adsorvente”. *Matéria (Rio de Janeiro)*, v.20, n.4, pp. 898-908, 2015. Disponível em: <<https://revistas.ufrj.br/index.php/rm/article/view/2990/2448>>. Acesso em: 07 dez. 2020.
- [15] KAPOR, M.A., YAMANAKA, H., CARNEIRO, P.A., *et al.* “Eletroanálise de corantes alimentícios: determinação de índigo carmin e tartrazina”. *Eclética Química*, v.26, pp. 53-68, 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-46702001000100004&script=sci_arttext>. Acesso em: 07 dez. 2020.
- [16] COSTA, L.L.da. *Aplicação de nanotubos de titânia na fotodegradação de corantes*, Tese de Doutorado, Instituto de Química, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2009. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/4544>>. Acesso em: 07 dez. 2020.

- [17] ALMEIDA, D.G., SILVA, M.G.C., MIRANDA, R.C.M., *et al.*, “Descoloração do corante Índigo Carmim e produção de Lacase por fungos filamentosos”, *Scientia Plena*, v. 8, n. 5, p. 10, 2012. Disponível em: <<https://scientiaplena.org.br/sp/article/view/502/489>>. Acesso em: 07 dez. 2020..
- [18] MEIRA, L. *Degradação de Corantes Indigoides com Reagente de Fenton para tratamento de efluentes na Indústria Têxtil*, Dissertação de Mestrado, Instituto Politécnico de Portalegre, Universidade de Porto Alegre, 2014. Disponível em: <<https://comun.rcaap.pt/handle/10400.26/17078>>. Acesso em: 07 dez. 2020.
- [19] BRASIL. Decreto nº 10.088, de 5 de novembro de 2019.
- [20] BRASIL. Lei nº 8.078, de 11 de setembro de 1990.
- [21] ZACARIAS, Z., SANTOS, P.E., “A importância da FISPQ no processo de gerenciamento de risco químico – uma visão crítica e conceitual”, *Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade*, vol.2, n. 2, pp. 29-42, Jun, 2009.
- [22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 14725:2014: Produtos químicos — Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente Parte 4: Ficha de informações de segurança de produtos químicos (FISPQ). 2014, Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=325473>>, acesso em: 20 jul. 2020.
- [23] ANIDROL PRODUTOS PARA LABORATÓRIO, *Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico – FISPQ INDIGO CARMIN*, 2016. Disponível em: <<http://www.anidrol.com.br/fispq/INDIGO%20CARMIN-A-1556.pdf>>. Acesso em: 07 dez. 2020.
- [24] CARVALHAES PRODUTOS PARA LABORATÓRIO, *Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico – FISPQ Índigo carmin*, 2014. Disponível em: <<https://www.carvalhaes.net/anexos/products/8877/ndigo-carmim-rev.00.ods.pdf>>. Acesso em: 07 dez. 2020.
- [25] SIGMA-ALDRICH, *Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico – FISPQ INDIGO CARMIN*, 2015. Disponível em: <metaquimica.com/indigo-carmin-pa-25g-vetec-formula-c16h8n2na2o8s2-cas-860-22-0.html>. Acesso em: 07 dez. 2020.
- [26] TAUKE, S.M., “Biodegradação de resíduos orgânicos no solo”, *Revista Brasileira de Geociências*, v. 20, n. 4, p. 299-301, 1990. Disponível em: <<http://bjg.siteoficial.ws/1990/33.pdf>>. Acesso em: 07 dez. 2020.
- [27] SILVA, E.E.da, AZEVEDO, P.H.S., DE-POLLI, H., “Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO₂)”, *Seropédica: Embrapa Agrobiologia*, 2007, 4 p, (Embrapa Agrobiologia. Comunicado Técnico, 99). Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/627577/determinacao-da-respiracao-basal-rbs-e-quotiente-metabolico-do-solo-qco2>>. Acesso em: 07 dez. 2020.
- [28] KOYASHIKI, R.S, *Determinação da atividade aeróbia específica de lodo de ETE por respirometria*, 2016, 51f, Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica da Paraná, Londrina, 2016. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6188/1/LD_COEAM_2016_1_14.pdf>. Acesso em: 07 dez. 2020.
- [29] ALVES, M.C., *Teste t de Student*. Disponível em: <http://cmq.esalq.usp.br/wiki/lib/exe/fetch.php?media=publico:syllabvs:lcf5759a:teste_t.pdf>. Acesso em: 07 dez. 2020.

ORCID

Anne Carmen ten Boom	https://orcid.org/0000-0001-6651-3392
Fernanda Hugo Figueiró	https://orcid.org/0000-0001-7445-1750
Ilva de Fátima Souza	https://orcid.org/0000-0001-7493-5376
Vivian Machado Benassi	https://orcid.org/0000-0002-9865-7910
Juan Pedro Bretas Roa	https://orcid.org/0000-0002-0045-3953