



UNICAMP



## **EFEITOS DOS AGROTÓXICOS NA ATIVIDADE MICROBIANA DO SOLO**

**Palavras-Chave: AGROTÓXICO, MICROBIANA, SOLO**

**Autores:**

**MIRIÃ DA SILVEIRA ROCHA, ISABELLE ALVES PEREIRA, COTIL – UNICAMP**

**LUIZA PEREIRA DE SOUZA, ETEC TRAJANO CAMARGO**

**BRUNA DE OLIVEIRA SILVA SANTOS, FT- UNICAMP**

**JOÃO PEDRO ANDRADE VITAL VERA, FT- UNICAMP**

**Prof.<sup>ª</sup>. Dr.<sup>ª</sup>. CASSIANA MARIA CONEGLIAN (orientadora), FT - UNICAMP**

---

### **INTRODUÇÃO**

O termo agrotóxico faz referência a compostos orgânicos sintéticos que foram amplamente difundidos no período pós-guerra. Os agrotóxicos são produtos químicos utilizados para eliminar pragas (ervas daninhas, insetos, fungos, etc.), com a justificativa de controlar os danos provocados por esses vetores e regular o crescimento da vegetação, aumentando a produtividade agrícola (INCA, 2021).

O uso em massa de agrotóxicos no Brasil foi iniciado em meados da década de 1950 junto com o aumento da população e modernização do trabalho no campo. Por volta de 1970 o Brasil despontava como crescente consumidor dessas moléculas, apesar da existência de algumas empresas responsáveis pela formulação dos produtos comercializados (etapa final do processo de produção), poucos princípios ativos eram produzidos no país (Domingues *et al.*, 2024).

A capacidade dos agrotóxicos de permanecerem ativos por longo período após sua aplicação foi vista como um fator positivo, tornando-os uma das principais tecnologias da chamada “Revolução Verde”. Entretanto, essa característica também estava associada a potenciais perigos, como a contaminação do meio físico-químico e a bioacumulação em organismos ao longo das cadeias alimentares. Os efeitos nocivos dessas substâncias tornaram-se evidentes no fim dos anos 50 e início dos anos 60, quando surgiram as primeiras reavaliações, por parte da comunidade técnica internacional, acerca dos problemas de segurança e eficácia dos agrotóxicos (Lignani e Brandão, 2022).

O livro Primavera Silenciosa, publicado por Rachel Carson “Silent Spring” foi o ponto de partida para que ambientalistas tivessem maior visibilidade no cenário internacional e, desta forma, a Organização Mundial de Saúde (OMS) passou a debater sobre os efeitos tóxicos e a poluição ambiental causado por essas substâncias (Carson, 1964).

Muitos estudos demonstram o equilíbrio ambiental causado pelo uso excessivo de agrotóxicos, com impactos negativos a biodiversidade e aos ecossistemas, com o aumento da capacidade de

resistência das pragas, exigindo cada vez mais o uso de doses elevadas aplicadas e novos produtos sendo sintetizados (Almeida e Batista Filho, 2017).

No ano de 2022 foram comercializadas 800,65 mil toneladas de agrotóxicos, com 3749 produtos formulados, colocando o Brasil entre os maiores consumidores do mundo. Dentre as moléculas mais comercializadas estão os herbicidas representam 733,89 mil toneladas (IBAMA, 2024). Domingues *et al* (2024) relatam que os agrotóxicos mais utilizados são os herbicidas glifosato (Roundup®) e 2,4-D, visando o aumento da produtividade e acumulação de riquezas das classes dominantes do agronegócio.

A quantidade elevada de agrotóxicos utilizados em algumas culturas agrícolas merece atenção, devido a aplicação intensiva por unidade de área cultivada, por essas culturas ocuparem extensas áreas no Brasil, como é o caso da soja, do milho e da cana-de-açúcar, e pela elevada toxicidade dessas moléculas ao meio ambiente e à saúde humana. O uso intensivo de agrotóxicos apresenta-se como fontes potenciais de contaminação. Dados do Ministério da Saúde de 2015 a 2017 revelam que no Brasil há mais de 80 mil notificações por intoxicações relacionadas à exposição de agrotóxicos (Grigori, 2022).

Desta forma, este trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento dos herbicidas mais utilizados no Brasil, glifosato e 2,4 D, a partir das formulações comerciais Roundup Original DI e 2,4-D Nortox, respectivamente, diante da biota do solo, especificamente bactérias e fungos, responsáveis por importantes funções como a biodegradação e ciclagem de nutrientes.

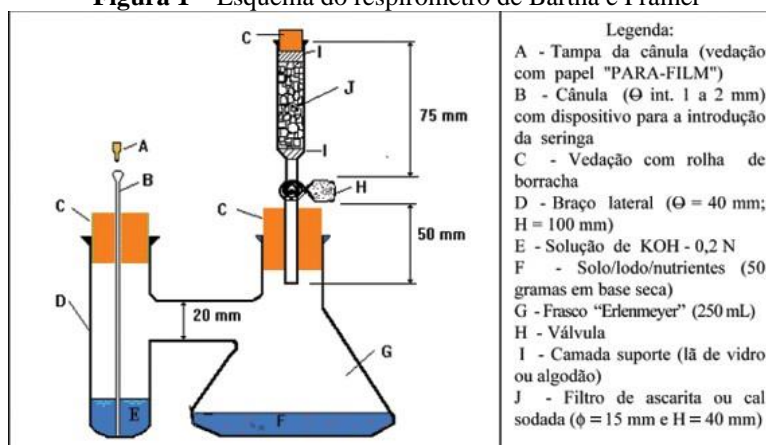
## **METODOLOGIA**

A coleta de solo foi procedida conforme a norma da ABNT NBR 10007 – Coleta de solo (2004) e CETESB (1984) a uma profundidade de 0,20 metros, no jardim experimental na Universidade Estadual Paulista (UNESP/campus de Rio Claro, SP). Para entender o comportamento dos agrotóxicos no solo é fundamental o conhecimento de suas características biológicas, desta forma realizou-se a quantificação de bactérias heterotróficas do solo, utilizando a técnica de “Pour Plate”, o meio Plate Counter Agar (PCA), avaliados em Unidades Formadoras de Colônia (UFC), por grama de solo de acordo com a CETESB (2006). Realizou-se a técnica de diluição em série, onde uma amostra de 10 g de solo foi diluída até o fator  $10^8$ . Após o plaqueamento, as placas foram incubadas durante o período de 48 horas e a  $35^{\circ}\text{C}$ .

Foram utilizadas vidrarias, equipamentos e reagentes usuais do Laboratório de Microbiologia da FT-UNICAMP. Os reagentes foram de grau p.a. e preparados de acordo com Apha (2012).

Avaliou-se a atividade microbiana do solo na presença dos herbicidas glifosato e do ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D), utilizando a metodologia de respirometria de Bartha e Pramer (1965), que quantifica a geração de  $\text{CO}_2$  (Figura 1).

**Figura 1** – Esquema do respirômetro de Bartha e Pramer



Fonte: antiga ABNT, 1990.

O método foi adaptado da norma OCDE (2002). Utilizou-se 50 g de solo em base seca no qual foi contaminado com 5,34 g/kg de solo de glifosato e 9,67 g /kg de solo de 2,4D, assim como a mistura dos herbicidas na mesma concentração, além de um grupo denominado controle, sem adição dos herbicidas. As concentrações foram baseadas nas doses recomendadas para aplicação na cultura de cana de açúcar, entretanto em doses maiores visto que, podem ocorrer várias aplicações em campo.

Os respirômetros foram montados em triplicada e incubados em estufa BOD a  $28 \pm 2^\circ\text{C}$ , durante o período de 48 dias (experimento em andamento). Para medir a geração de  $\text{CO}_2$ , o mesmo é capturado e dissolvido na solução de KOH, titulado com solução de ácido clorídrico (HCl) e indicador fenolftaleína. Ao finalizar as leituras, os respirômetros são aerados e adicionados novamente 10 ml de KOH para uma nova captura de  $\text{CO}_2$  e posterior leitura. O cálculo da produção de  $\text{CO}_2$  foi realizado por meio da Equação 1, adaptado da literatura (Soldera et al., 2020).

$$m\text{CO}_2 = [(A - B) \times 50] \times (0,044) \times (100) \quad (1)$$

Onde:

$m\text{CO}_2$  = Massa de  $\text{CO}_2$  emitido (mg);

A = Média dos volumes de HCl usado para titular o branco (ml);

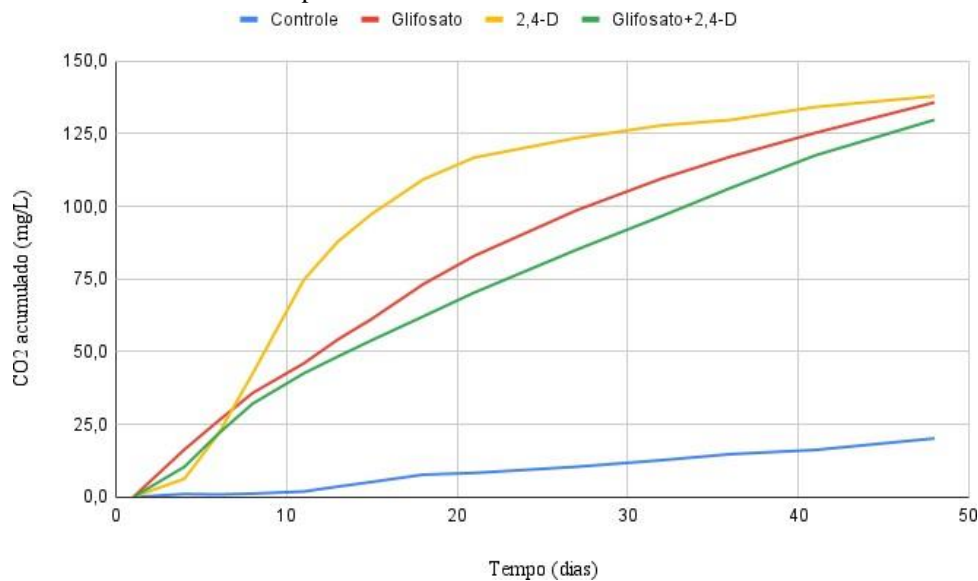
B = Média dos volumes de HCl para titular as amostras (ml);

0,044 e 100 = Fatores resultantes da multiplicação de fatores de conversão;

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A amostra de solo utilizada nos respirômetros apresentou  $9,1 \times 10^5$  UFC/g de solo de bactérias heterotróficas. A Figura 2 expressa a geração acumulada de  $\text{CO}_2$  até o presente momento (48 dias).

**Figura 2** – Resultado da geração acumulada de CO<sub>2</sub> obtidos na análise de respirometria dos herbicidas glifosato e 2,4 D em solo no período de 48 dias em estufa BOD 28 ± 2 °C



Fonte: autores, 2024.

Analisando os resultados obtidos nota-se que nos respirômetros com a presença dos herbicidas a geração de CO<sub>2</sub> superou o solo controle, evidenciando que a microbiota do solo tem potencial de biodegradação dos agrotóxicos, visto que o ensaio de respirometria relaciona a geração de CO<sub>2</sub> com o consumo de carbono pelos microrganismos. De acordo com Zhang *et al.* (2024) o glifosato pode ser rapidamente degradado no solo, com meia vida de 15 a 30 dias, entretanto, os autores relatam que embora a biodegradação do glifosato seja rápida no solo, os resíduos da biodegradação podem alcançar mg/kg devido ao consumo excessivo e práticas cumulativas em todo mundo, com potencial de toxicidade e provavelmente cancerígeno para humanos.

Magnoli *et al.* (2020) afirma que a biodegradação do 2,4-D gera metabólitos mais persistentes e com efeito tóxico para organismos não alvo. Nota-se ainda pela Figura 2 que a mistura dos herbicidas promoveu uma diminuição da atividade microbiana, fato de importante verificação, tendo em vista que é uma prática comum o uso de herbicidas diferentes na mesma cultura em diferentes momentos da produção.

## CONCLUSÃO

Os agrotóxicos afetam a microbiota do solo e podem alterar significativamente a diversidade e a abundância dos microrganismos. Essas características são essenciais para manter o solo saudável e fértil. Mesmo considerados seguros para a produção agrícola, a presença de agrotóxicos pode diminuir a quantidade de bactérias benéficas necessárias para processos como a preservação da matéria orgânica.

O alto consumo de glifosato e 2,4-D se deve a alta demanda do setor agrícola com objetivo de reduzir a impacto das ervas daninhas e evitar perdas econômicas, entretanto o uso contínuo e doses elevadas tem se tornado um problema ambiental, com a poluição do solo, da água e do ar.

## BIBLIOGRAFIA

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA, 2012. **Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater**, 22<sup>nd</sup> Ed.: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, DC.

Associação brasileira de normas técnicas – ABNT . NBR 10007 – resíduos sólidos – amostragem. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14283. **Resíduos em solos-Determinação da biodegradação pelo método respirométrico**, 1999 (norma revogada)

ALMEIDA, J.E.M.; BATISTA FILHO, A. Controle biológico da cigarrinha da raiz da cana-de-açúcar. In: Hojo, Harumi (org.). Tecnologia sustentável. São Paulo: Instituto Biológico, 2017. Disponível em: [http://www.biológico.sp.gov.br/uploads/files/pdf/tecnologia\\_sustentavel/cigarrinha\\_raiz\\_cana\\_acucar.pdf](http://www.biológico.sp.gov.br/uploads/files/pdf/tecnologia_sustentavel/cigarrinha_raiz_cana_acucar.pdf) Acesso em: 10 mai. 2020.

CARSOL, R. Primavera silenciosa. Traduzido por Claudia Sant'anna Martins. São Paulo: Gaia, 2010.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Solos-Coleta e preparação de amostras- Procedimentos**. Norma Técnica L6. 245- São Paulo, 1984.

CETESB – Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. Norma Técnica L5.201. Contagem de bactérias heterotróficas: método de ensaio, 2006. 14 p.

DOMINGUES, R.C. *et al.* Uso de agrotóxicos em canaviais de Pernambuco e danos à saúde do trabalhador. **Saúde em Debate**, v. 48, p. e8714, 2024.

GRIGORI, P. Afinal, o Brasil é o maior consumidor de agrotóxico do mundo? CEE Fiocruz, 3 jul. 2019. Disponível em: <https://cee.fiocruz.br/?q=node/1002>. Acesso em 5 de agosto de 2024.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Painel de informações de agrotóxicos. Brasília, DF: DILIQ; IBAMA; 2024 Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/paineis-de-informacoes-de-agrotoxicos/paineis-de-informacoes-de-agrotoxicos#Painel-comercializacao> Acesso em 5 de agosto de 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA. **Ambiente, trabalho e câncer: aspectos epidemiológicos, toxicológicos e regulatórios** / Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva. – Rio de Janeiro: INCA, 2021.

LIGNANI, L.B., BRANDÃO, J.L.G. A ditadura dos agrotóxicos: o Programa Nacional de Defensivos Agrícolas e as mudanças na produção e no consumo de pesticidas no Brasil, 1975-1985. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, v. 29, n. 2, p. 337-359, 2022.

MAGNOLI, Karen *et al.* Herbicides based on 2, 4-D: its behavior in agricultural environments and microbial biodegradation aspects. A review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, p. 38501-38512, 2020.

SOLDERA, P.E.S.; FIGUEIREDO, T.S; DANTAS, R.F.; FAGNANI, E. Respirometria de Bartha como ferramenta na avaliação da decomposição anaeróbia de efluentes de abatedouros. Revista DAE, São Paulo, v. 68, n. 225, pp 80-92, ed. esp. set. 2020.

ZHANG, Qi. *et al.* Glyphosate disorders soil Enchytraeid gut microbiota and increases its antibiotic resistance risk. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 72, n. 4, p. 2089-2099, 2024.