



**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS  
PRO-REITORIA DE GRADUAÇÃO  
ESCOLA DE CIÊNCIAS MÉDICAS E DA VIDA - ECMV  
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS - BACHARELADO**

**Micronúcleo e Alterações Metanucleares em Células de Mucosa  
Oral em Bovinos em Área de Controle de Pragas em Pastagens**

Autora: Cimara Sales Vieira

Goiânia

© 2025

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS  
PRO-REITORIA DE GRADUAÇÃO  
ESCOLA DE CIÊNCIAS MÉDICAS E DA VIDA - ECMV  
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS - BACHARELADO**

CIMARA SALES VIEIRA

**Micronúcleo e Outras Alterações Nucleares em Células de  
Mucosa Oral em Bovinos em Área de Controle de Pragas em  
Pastagens**

Monografia apresentada como requisito para composição de média final na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II – TCC II do curso de graduação em Ciências Biológicas Bacharelado, da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, PUC-Goiás.

Orientador: Prof. Dr. Alex Silva da Cruz

Goiânia

© 2025

## **DEDICATÓRIA**

A Deus, fonte de sabedoria e força, que iluminou meus caminhos e me permitiu superar cada desafio durante essa jornada. A Ele, dedico minha gratidão eterna por me guiar com amor e fé, tornando possível a realização deste trabalho.

À minha família, especialmente à minha querida avó, cujo legado de resiliência e amor continua a inspirar minha vida. Sua presença, mesmo que em memória, foi um farol que me orientou nos momentos mais difíceis. A todos os meus familiares, que me apoiaram incondicionalmente, dedico este trabalho como uma pequena expressão do meu reconhecimento.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Alex Silva da Cruz pela dedicação, paciência e sabedoria compartilhadas ao longo deste processo. Seu conhecimento e orientação foram fundamentais para a conclusão deste trabalho, e sou imensamente grata por todo o apoio e inspiração.

Aos meus amigos, que estiveram ao meu lado nos momentos de descontração e nos instantes de maior pressão. Sua amizade e incentivo foram pilares essenciais para que eu chegasse até aqui. Este trabalho também é dedicado a vocês, que fazem parte da minha história.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste projeto, expresso minha mais profunda e sincera gratidão. Cada gesto de apoio, palavra de incentivo e contribuição intelectual foi fundamental para transformar este sonho em realidade. Sem a dedicação e o comprometimento de cada um de vocês, esta conquista não teria sido possível.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, meu maior sustento. Não foram apenas palavras em oração, mas a certeza da Sua presença que me deu forças quando o cansaço batia, quando as dúvidas insistiam em aparecer e quando o caminho parecia sem saída. Nos momentos em que me senti pequena diante do desafio, Ele me lembrou que a sabedoria vem do alto, e que nenhum esforço sincero é em vão. Que este trabalho, fruto de dedicação e esforço, seja uma expressão de gratidão e um instrumento para contribuir com o conhecimento da sociedade, honrando assim os dons e oportunidades que me foram concedidos.

Em segundo lugar, quero expressar minha mais sincera gratidão à minha família, que foi meu alicerce incondicional em cada etapa desta jornada. Aos meus pais, Clotildes Sales Vieira e Edson Vieira Dias, cujo amor e sacrifício sempre me guiaram; aos meus irmãos Everthon Sales Vieira, Natanael Sales Vieira, Míriam Sales Vieira e Edson Vieira Dias Júnior, pelo apoio constante que me manteve firme; e aos meus queridos sobrinhos Davi Sales Moreira, Júlia Sales Costa e Helena Sales, que com sua alegria iluminaram meus dias de estudo. À minha avó Luzia Arcângela de Souza (*in memoriam*). Cada palavra de ânimo, cada gesto de carinho e cada momento de compreensão foram fundamentais para que eu chegasse até aqui. Esta conquista não é apenas minha, mas de todos vocês que acreditaram em mim mesmo quando eu duvidava. Se este diploma tem valor, é porque vocês lhe deram significado.

À minha querida avó, Ozília Francisca de Freitas (*in memoriam*), onde quer que esteja: este trabalho carrega seu nome e seu amor. Cada página foi escrita com a mesma perseverança que você me ensinou, cada desafio superado teve seu olhar amoroso como inspiração. O período em que pausei meus estudos para cuidar de você não foi uma interrupção, mas o maior dos aprendizados - lições de vida que nenhuma sala de aula poderia me dar. Se hoje cheguei até aqui, é porque você plantou em mim valores que o tempo não apaga. Que este trabalho, mais do que uma conquista acadêmica, seja um testemunho do seu legado e do nosso eterno laço. Espero, de todo coração, que você esteja orgulhosa - não apenas do que alcancei, mas da pessoa que seu exemplo me ajudou a me tornar.

Ao Prof. Dr. Alex Silva da Cruz, meu sincero agradecimento por ter aceitado ser o farol desta jornada acadêmica. Sua orientação certa, que sabia ser

rigorosa quando necessário e encorajadora nos momentos certos, transformou desafios em aprendizados valiosos. Cada observação, cada 'vamos repensar isso juntos', não apenas moldou este trabalho, mas me mostrou o verdadeiro significado da pesquisa comprometida. Sou profundamente grata não apenas pelo conhecimento compartilhado, mas pela confiança que depositou em meu potencial - um presente que levarei para todas as minhas próximas etapas.

De forma especial, agradeço aos meus amigos, Edilson dos Santos Oliveira, Larissa Rezende Carvalho, Rafael Carneiro Silva, Juliana Ferreira da Silva, Lucas Henrique Nascimento Silva Rodrigues, Samara Socorro Silva Pereira, Calebe Campos, Gustavo Dib Dangoni, Amanda Macedo Ribeiro, Stefany Taynah Costa dos Santos e Jallys Henrique da Costa, que estão comigo desde o início da minha graduação. Vocês foram mais do que colegas de curso; foram companheiros de jornada, confidentes e uma segunda família. Mesmo durante o período em que precisei trancar o curso para cuidar da saúde da minha avó, vocês nunca me deixaram desistir. Seu apoio incondicional, as mensagens de incentivo, os momentos de descontração e a compreensão nos momentos difíceis foram fundamentais para que eu retomasse os estudos e chegasse até aqui. Cada um de vocês, à sua maneira, contribuiu para que eu superasse os obstáculos e mantivesse o foco no meu objetivo. Este trabalho é também uma conquista de todos nós, pois sem o carinho, a amizade e a força que vocês me deram, eu não teria chegado até aqui. Sou eternamente grata por cada risada compartilhada, cada conselho dado e por estarem ao meu lado em todos os momentos, bons e ruins. Que este trabalho seja um reflexo da nossa amizade e da jornada que construímos juntos.

Agradeço também aos meus amigos, Daniella Rezende dos Reis, Afonso Alves dos Santos, Sarah Gabriella Chaves Fernandes, Leandro Marques da Silva, Julia Gabriela Ramos da Costa, Isabela de Oliveira Gomes, Monik Ztanzy Souto do Prado e Gabriel Martins de Araújo Plácido, que foram meus colegas de turma nesse retorno ao curso e se tornaram amigos em pouquíssimo tempo. Vocês trouxeram uma energia renovada e um apoio essencial nessa nova fase da minha graduação. A acolhida, a parceria nos estudos e os momentos de descontração foram fundamentais para que eu me sentisse parte do grupo novamente. A amizade que construímos em tão pouco tempo mostra o quanto

vocês são especiais, e sou imensamente grata por cada momento compartilhado.

Agradeço de forma especial aos funcionários do Núcleo de Pesquisas Replicon, onde este trabalho foi desenvolvido. Em particular, à Msc. Damiana Mírian da Cruz e Cunha, ao Dr. Cristiano Luiz Ribeiro e ao Esp. Eduardo Rocha Pedrosa, pela ajuda, orientação e acolhimento durante todo o processo. Sua disponibilidade, paciência e expertise foram fundamentais para a realização deste projeto. Sou profundamente grata por todo o apoio técnico e pelo incentivo que recebi ao longo desta jornada.

Agradeço as colegas de laboratório que se tornaram amigas: Iasmim Adelardo Queiroz, Andreia dos Santos Moraes, Joseane Antunes Ataíde, Vitória Alvarenga Nunes e Maria Celeste Faria Macedo. Vocês tornaram os dias mais leves e divertidos com nossos momentos de descontração. Sua amizade, apoio e companheirismo foram essenciais para que eu superasse os desafios do dia a dia no laboratório. Cada conversa, cada risada e cada xícara de café compartilhada foram momentos que me deram força e motivação para continuar. Este trabalho também é um reflexo da nossa amizade e dos bons momentos que passamos juntas. Sou imensamente grata por cada uma de vocês e por tudo o que fizeram para que este projeto fosse concluído com sucesso.

Por fim, agradeço a todos os professores do curso de Ciências Biológicas que tive o privilégio de conhecer durante toda a minha graduação, tanto na primeira etapa quanto após o retorno ao curso. Cada um de vocês contribuiu de maneira significativa para a minha formação acadêmica e pessoal, compartilhando conhecimentos, experiências e valores que levarei para a vida toda. Sou imensamente grata pelas aulas, orientações e pelo apoio que recebi ao longo desses anos.

Também agradeço à PUC Goiás, instituição que me acolheu e proporcionou a estrutura necessária para o meu desenvolvimento intelectual e profissional. Esta universidade não apenas me ofereceu uma formação de qualidade, mas também me permitiu vivenciar experiências únicas e construir relações que levarei para sempre comigo. Este trabalho é, em grande parte, um reflexo de tudo o que aprendi e vivi nesta instituição.

## Sumário

RESUMO .....	11
ABSTRACT .....	12
1. INTRODUÇÃO .....	13
1.1. Panorama Geral Para 2,4-D.....	13
1.2. Manejo de Pragas Com o Uso de Pesticidas.....	15
1.3. Micronúcleo como Biomarcador de Mutagenicidade.....	19
1.4. Micronúcleo e 2,4-D.....	24
1.5. Variáveis de Estresse.....	26
2. OBJETIVOS.....	32
2.1. Objetivo Geral.....	32
2.2. Objetivos Especificos.....	32
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	33
3.1. Descrição da Área de Coleta e População Amostral.....	33
3.2. Coleta.....	33
3.3. Teste de Micronúcleo.....	36
3.4. Análise Estatística.....	39
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	42
5. CONCLUSÃO .....	50
6. REFERÊNCIAS.....	51
7. ANEXO I.....	78

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> - Procedimento de Coleta de Células da Mucosa Oral em Bovinos. A) Animal Contido no Brete Durante o Procedimento de Coleta. B) Região da Mandíbula Superior do Animal Onde Foi Realizada a Escovação Citológica. Fonte: Autoral, 2023. ....	34
<b>Figura 2</b> – Processo de Coloração das Lâminas Para o Teste de Micronúcleo. A) Imersão da Lâmina em Corante. B) Enxágue Leve em Água Corrente Para a Remoção do Excesso de Corante. C) Berços Contendo os Corantes Fucsina Básica e Fast Green. Fonte: Autoral, 2024. ....	38
<b>Figura 3</b> -Análise Microscópica das Lâminas Coradas do Teste de Micronúcleo. Fonte: Autoral, 2024. ....	39
<b>Figura 4</b> -Ilustração Fotográfica Contendo Alterações Metanucleares Observadas em Células Epiteliais Bovinas da Mucosa Oral. A) Célula com Micronúcleo. B) Célula Com Formação Broken-egg. C) Células Binucleadas. D) Célula Normal. E) Células em Cariorrexe. F) Célula em Cariólise. Fonte: Autoral, 2024. ....	40
<b>Figura 5</b> - Distribuição Normal (Curva de Gauss) dos Valores de Temperatura Retal dos Bovinos. Fonte: Autoral, 2025. ....	42
<b>Figura 6</b> - Distribuição Normal (Curva de Gauss) dos Valores de Escore de Condição Corporal (ECC) dos Bovinos. Fonte: Autoral, 2025. ....	43
<b>Figura 7</b> - Distribuição Normal (Curva de Gauss) dos Valores do Peso Corporal dos Bovinos. Fonte: Autoral, 2025. ....	43
<b>Figura 8</b> - Distribuição Normal (Curva de Gauss) da Frequência de Micronúcleos em Células da Mucosa Oral Bovina. Fonte: Autoral, 2025. ....	45
<b>Figura 9</b> - Distribuição Normal (Curva de Gauss) da Frequência de Broken Eggs em Células da Mucosa Oral Bovina. Fonte: Autoral, 2025. ....	45
<b>Figura 10</b> - Distribuição Normal (Curva de Gauss) da Frequência de Binucleadas em Células da Mucosa Oral Bovina. Fonte: Autoral, 2025. ....	46
<b>Figura 11</b> - Distribuição Normal (Curva de Gauss) da Frequência de Cariorrexes em Células da Mucosa Oral Bovina. Fonte: Autoral, 2025. ....	46
<b>Figura 12</b> - Distribuição Normal (Curva de Gauss) da Frequência de Cariólise em Células da Mucosa Oral Bovina. Fonte: Autoral, 2025. ....	47



### Lista de Tabelas

**Tabela 1** – Parâmetros Fisiológicos e de Estresse (Temperatura Retal, Peso e Escore de Condição Corporal (ECC) de 36 Bovinos de uma Fazenda no Município de Piracanjuba - GO.....43

**Tabela 2** - Relação Entre Variáveis de Estresse (Temperatura, Peso e Escore de Condição Corporal (ECC) e Frequência de Alterações Metanucleares (Micronúcleo, Broken Egg, Binucleadas, Cariorrexe e Cariólise). .....48

### **Lista de Siglas e Abreviações**

2,4-D	Ácido 2,4-Diclorofenoxiacético (herbicida)
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ANOVA	Analysis of Variance (Análise de Variância)
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CEUA	Comitê de Ética no Uso de Animais
ECC	Escore de Condição Corporal
EPA	Environmental Protection Agency (EUA)
EROs	Espécies Reativas de Oxigênio
FAO	Food and Agriculture Organization (ONU)
HCl	Ácido Clorídrico
H <sub>2</sub> O <sub>d</sub>	Água Destilada
IARC	International Agency for Research on Cancer
MIP	Manejo Integrado de Pragas
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ONU)
PUC-Goiás	Pontifícia Universidade Católica de Goiás
rpm	Rotações por minuto
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## RESUMO

O uso de pesticidas, como o herbicida 2,4-Diclorofenoxiacético (2,4-D), é essencial na agricultura moderna, mas seus impactos genotóxicos em organismos não-alvos, como bovinos, ainda são pouco explorados. Este estudo investigou a ocorrência de alterações nucleares em células da mucosa oral de bovinos expostos ao 2,4-D em áreas de controle de pragas, correlacionando-as com parâmetros fisiológicos de estresse, como temperatura corporal, peso e Escore de Condição Corporal (ECC). Foram analisados 36 bovinos adultos de uma fazenda em Piracanjuba-GO, expostos a pesticidas durante o ciclo produtivo de 2023. As amostras de mucosa oral foram coletadas com escova citológica, fixadas em Carnoy e coradas com fucsina básica e *fast green* para identificação de micronúcleos e outras alterações nucleares (binucleação, cariorrexe, cariólise e "broken egg"). Parâmetros fisiológicos (temperatura, peso e ECC) foram registrados e analisados estatisticamente com ANOVA e teste Qui-quadrado. Embora 61,1% dos animais apresentassem temperatura elevada ( $\geq 38,0^{\circ}\text{C}$ ) e 75% tivessem ECC  $\geq 3,5$ —indicativos de estresse térmico e metabólico—, não houve associação estatisticamente significativa ( $p > 0,05$ ) entre essas variáveis e as alterações nucleares. Apesar da maior frequência de micronúcleos (61%) e "broken eggs" (71%) em bovinos com temperatura elevada, as diferenças não foram significativas. Os resultados sugerem que, embora os bovinos tenham apresentado sinais de estresse fisiológico, não foi detectada genotoxicidade significativa no período avaliado. A ausência de correlação pode estar relacionada a mecanismos adaptativos ou à curta duração da exposição. Recomendam-se estudos de longo prazo para avaliar efeitos cumulativos. O trabalho reforça a importância do monitoramento contínuo em áreas de uso intensivo de pesticidas.

Palavras-chave: Genotoxicidade, Bovinos, 2,4-D, Teste de Micronúcleo, Biomonitoramento.

## ABSTRACT

The use of pesticides, such as the herbicide 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D), is essential in modern agriculture, but its genotoxic effects on non-target organisms like cattle remain poorly understood. This study investigated nuclear alterations in oral mucosa cells of cattle exposed to 2,4-D in pest control areas, correlating them with physiological stress parameters including body temperature, weight, and Body Condition Score (BCS). Thirty-six adult cattle from a farm in Piracanjuba-GO, exposed to pesticides during the 2023 production cycle, were analyzed. Oral mucosa samples were collected using cytological brushes, fixed in Carnoy's solution, and stained with basic fuchsin and fast green to identify micronuclei and other nuclear abnormalities (binucleation, karyorrhexis, karyolysis, and "broken egg"). Physiological parameters (temperature, weight, and BCS) were recorded and statistically analyzed using ANOVA and Chi-square tests. Although 61.1% of animals showed elevated temperature ( $\geq 38.0^{\circ}\text{C}$ ) and 75% had BCS  $\geq 3.5$  - indicators of thermal and metabolic stress - no statistically significant association ( $p > 0.05$ ) was found between these variables and nuclear alterations. Despite the higher frequency of micronuclei (61%) and "broken eggs" (71%) in cattle with elevated temperature, the differences were not significant. The results suggest that while cattle showed signs of physiological stress, no significant genotoxicity was detected during the study period. The lack of correlation may be related to adaptive mechanisms or the short exposure duration. Long-term studies are recommended to assess cumulative effects. This work highlights the importance of continuous monitoring in areas with intensive pesticide use.

Keywords: Genotoxicity, Cattle, 2,4-D, Micronucleus test, Biomonitoring

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Panorama Geral Para 2,4-D.

O herbicida 2,4-Diclorofenoxiacético (2,4-D) é um dos compostos químicos mais utilizados na agricultura moderna, especialmente no controle de plantas daninhas de folha larga (Silva & Coelho, 2024). Desde a década de 1940, o 2,4-D tem sido um pilar no manejo de ervas invasoras, contribuindo significativamente para o aumento da produtividade agrícola (Barros, 2022). Seu uso intensivo e prolongado tem levantado questões importantes sobre seus impactos ambientais, econômicos e sociais, especialmente em um contexto global de busca por práticas agrícolas mais sustentáveis (Silva et al., 2021).

A relevância do 2,4-D na agricultura moderna pode ser atribuída à sua seletividade e custo-benefício. Segundo estudos, o herbicida é particularmente eficaz em culturas como soja, milho e trigo, onde o controle de ervas daninhas é crítico para maximizar a produtividade (Reis et al., 2010). A dependência excessiva desse composto tem sido associada ao surgimento de resistência em populações de plantas daninhas, um fenômeno que ameaça a eficácia a longo prazo das estratégias de manejo (Carvalho, 2020).

Do ponto de vista químico, o 2,4-D é um herbicida hormonal que atua como um análogo sintético da auxina, promovendo o crescimento descontrolado das plantas sensíveis até sua morte (Grossmann, 2010). Esse mecanismo de ação, embora eficaz, também pode afetar espécies não-alvo, especialmente em ecossistemas adjacentes às áreas de aplicação (Peterson et al., 2016). Pesquisas recentes destacam que a deriva do 2,4-D pode contaminar corpos d'água e afetar a biodiversidade aquática (Johnson et al., 2023).

Na perspectiva da saúde humana, o uso do 2,4-D tem sido alvo de debates acalorados. A Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) classificou o herbicida como "possivelmente carcinogênico para humanos" (IARC, 2015), embora outras agências regulatórias, como a EPA (Environmental Protection Agency), mantenham sua aprovação para uso agrícola, desde que respeitadas as doses recomendadas (EPA, 2014). Essa divergência de opiniões reflete a complexidade da avaliação de riscos associados a agroquímicos (Carvalho et al., 2015).

**Comentado [JF1]:** Coloca o nome em inglês também, que é de onde vem a sigla, que inclusive foi o que você colocou na sua tabela de sigla.

**Comentado [JF2]:** Sugiro padronizar ou você coloca a sigla () ou o coloca o significado.

De acordo com Costa et al. (2014), o produto é frequentemente utilizado de forma alternada com outras moléculas, como o glifosato, para ampliar o espectro de controle e reduzir a pressão de seleção para resistência nas populações de ervas daninhas, ao dificultar o surgimento de indivíduos resistentes a múltiplos princípios ativos. Essa prática também pode acelerar o desenvolvimento de resistência múltipla, um desafio crescente para a agricultura moderna (Gazziero et al., 2020).

A regulamentação do uso do 2,4-D varia significativamente entre países. Enquanto na União Europeia o herbicida enfrenta restrições rigorosas devido a preocupações ambientais e de saúde (European Commission, 2018), no Brasil ele continua amplamente utilizado, especialmente nas culturas de soja e cana-de-açúcar (ANVISA, 2023). Essa disparidade regulatória reflete diferenças nas prioridades políticas e na percepção de risco entre as nações (Mayer, 2021).

Do ponto de vista econômico, o 2,4-D é uma ferramenta acessível para produtores rurais, especialmente em países em desenvolvimento. Segundo dados da FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), o custo-benefício do herbicida é um dos principais fatores que impulsionam sua adoção em larga escala (FAO, 2023). Os custos ambientais e sociais associados ao seu uso excessivo ainda são subestimados, destacando a necessidade de abordagens mais sustentáveis (Cabral et al., 2024).

A busca por alternativas ao 2,4-D ganhou destaque na literatura científica. Métodos como o controle biológico de ervas daninhas e o uso de herbicidas naturais foram investigados como possíveis substitutos (Schroeder, 1992), no entanto, essas alternativas ainda enfrentaram desafios relacionados à eficácia e à viabilidade econômica, especialmente quando aplicadas em grandes escalas de produção (Resende et al., 2011; Silva et al., 2018).

A educação e a capacitação dos agricultores também são fundamentais para o uso responsável do 2,4-D. Programas de extensão rural que promovem boas práticas agrícolas, como a calibração de equipamentos e o respeito às doses recomendadas, podem reduzir os riscos associados ao herbicida (Silva et al., 2020). Além disso, a adoção de tecnologias de precisão, como drones e sensores, pode otimizar a aplicação e minimizar a deriva do pesticida (Zhang et al., 2018).

Comentado [JF3]: É a primeira vez que a FAO é citada no texto, tem que colocar o significado, igual nos outros.

O uso do 2,4-D em pastagens é uma prática comum para o controle de plantas daninhas de folha larga, que competem com as forrageiras por nutrientes, água e luz, reduzindo a produtividade e a qualidade do pasto. Estudos demonstram que a aplicação desse herbicida em pastagens pode aumentar significativamente a disponibilidade de gramíneas forrageiras, como *Brachiaria* e *Panicum*, essenciais para a alimentação de bovinos (Silva et al., 2023). A deriva do produto ou a aplicação inadequada pode afetar espécies não-alvo, incluindo leguminosas forrageiras, que são importantes para a fixação de nitrogênio no solo e a diversidade do ecossistema pastoral (Carvalho, 2020).

Em regiões de pecuária intensiva, o 2,4-D é frequentemente utilizado em sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP), onde a renovação de pastagens é combinada com cultivos agrícolas. Essa estratégia visa otimizar o uso do solo e reduzir a pressão de plantas invasoras, mas exige cuidados para evitar a contaminação de corpos d'água e a exposição de animais a resíduos do herbicida. A persistência do 2,4-D no solo e sua absorção por plantas forrageiras podem representar riscos indiretos aos ruminantes, especialmente se o período de carência não for respeitado antes do pastejo (Pereira et al., 2021).

Apesar dos benefícios agrônômicos, o uso do 2,4-D em pastagens demanda monitoramento contínuo para mitigar impactos ambientais e à saúde animal. Pesquisas recentes destacam a necessidade de ajustes nas doses e épocas de aplicação, considerando fatores como clima, tipo de solo e estágio de crescimento das forrageiras. Alternativas, como o controle mecânico ou biológico de plantas daninhas em pastagens, têm sido exploradas para reduzir a dependência de herbicidas, alinhando-se a princípios de sustentabilidade e segurança na produção pecuária (González et al., 2023).

### **1.2. Manejo de Pragas Com o Uso de Pesticidas.**

O manejo e controle de pragas na agricultura representam um dos maiores desafios enfrentados pela humanidade no século XXI. Com uma população global que ultrapassa 8 bilhões de pessoas, a demanda por alimentos nunca foi tão alta, e a pressão sobre os sistemas agrícolas é intensa (Godfray et al., 2010).

Segundo dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), as perdas causadas por pragas podem chegar a 40% da produção

**Comentado [JF4]:** Aqui pode ser somente a sigla, mas sobre o significado.

agrícola mundial, um número alarmante que coloca em risco a segurança alimentar (FAO, 2023). Diante desse cenário, o uso de pesticidas tem sido uma das principais estratégias adotadas para garantir a produtividade e a qualidade dos cultivos (Silva et al., 2023). Essa prática não está isenta de controvérsias, especialmente quando se consideram seus impactos ambientais, na saúde humana e na resistência das pragas (Aktar et al., 2009).

A agricultura moderna vive um paradoxo: como aumentar a produção de alimentos sem comprometer os recursos naturais e a saúde das populações? Silva et al. (2022) destacam que "o uso indiscriminado de pesticidas pode levar à contaminação do solo, da água e do ar, além de contribuir para o surgimento de pragas resistentes". Essa afirmação reforça a necessidade de um equilíbrio entre a produtividade agrícola e a sustentabilidade ambiental (Estevam da Silva & Kramer, 2023). Nesse contexto, o Manejo Integrado de Pragas (MIP) surge como uma abordagem promissora, combinando o uso de pesticidas com outras práticas sustentáveis, como o controle biológico e a rotação de culturas (Tinoco et al., 2023).

O conceito de MIP foi introduzido na década de 1970 como uma resposta aos problemas causados pelo uso excessivo de pesticidas (Kogan, 1998). De acordo com Bueno et al. (2021), o MIP "visa reduzir a dependência de produtos químicos, promovendo o equilíbrio ecológico e a sustentabilidade agrícola" (Bueno et al., 2021). Essa abordagem tem ganhado destaque nos últimos anos, especialmente em países que buscam alinhar suas práticas agrícolas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU (Parsa et al., 2014). A implementação do MIP ainda enfrenta desafios, como a falta de capacitação dos agricultores e a necessidade de investimentos em pesquisa e tecnologia (Silva et al., 2020).

A resistência de pragas aos pesticidas é um fenômeno que preocupa cientistas e agricultores em todo o mundo. Oliveira e Souza (2023) alertam que "o uso contínuo e inadequado de pesticidas seleciona populações de pragas resistentes, tornando os produtos químicos menos eficazes ao longo do tempo". Esse cenário exige a adoção de estratégias mais diversificadas e o desenvolvimento de novos compostos químicos que possam contornar a resistência (Moreira et al., 2012). Além disso, é fundamental que os agricultores sejam orientados sobre a importância de seguir as recomendações técnicas e as dosagens adequadas para cada produto (Carneosso et al., 2024).

A legislação brasileira sobre o uso de agrotóxicos tem passado por mudanças significativas nos últimos anos. A Lei nº 7.802/1989, conhecida como Lei dos

Comentado [JF5]: Pode colocar somente a sigla.

Comentado [JF6]: Esses dois parágrafos marcados, acho que pode juntar os dois, pois falam de coisas bem parecidas.



Agrotóxicos, estabelece as diretrizes para o registro, produção, comercialização e uso desses produtos no país. No entanto, em 2023, foi aprovado o Projeto de Lei 6.299/2002, que propõe alterações na legislação vigente. Pereira et al. (2023) afirmam que "as mudanças na legislação visam agilizar o registro de novos pesticidas, mas também geram preocupações quanto aos possíveis impactos ambientais e na saúde humana". Esse debate reflete a complexidade do tema e a necessidade de um equilíbrio entre a produtividade agrícola e a proteção do meio ambiente.

A contaminação ambiental por pesticidas é uma preocupação global, especialmente em regiões com alta atividade agrícola. Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), "a presença de resíduos de pesticidas em corpos hídricos tem sido detectada em diversas bacias hidrográficas do Brasil, representando um risco para a biodiversidade e a qualidade da água" (ANA, 2024). Esse cenário exige a implementação de políticas públicas e práticas agrícolas que minimizem o impacto desses produtos no meio ambiente (Lopes & Albuquerque, 2018). Além disso, é fundamental promover a conscientização dos agricultores sobre os riscos associados ao uso inadequado de pesticidas (Tosin et al., 2024).

A agricultura orgânica tem sido apontada como uma alternativa viável para reduzir a dependência de pesticidas químicos. Junior et al. (2022) destacam que "a produção orgânica utiliza métodos naturais de controle de pragas, como o uso de predadores naturais e extratos vegetais, promovendo a sustentabilidade e a saúde dos ecossistemas". No entanto, a transição para a agricultura orgânica ainda enfrenta desafios, como a menor produtividade em comparação com a agricultura convencional e a necessidade de maior capacitação dos agricultores (Pinto-Zevallos & Zarbin, 2013).

O desenvolvimento de novas tecnologias tem sido fundamental para aprimorar o manejo e controle de pragas. A biotecnologia, por exemplo, tem permitido a criação de culturas geneticamente modificadas (transgênicas) resistentes a pragas, reduzindo a necessidade de aplicação de pesticidas. Carvalho et al. (2023) afirmam que "as culturas transgênicas têm contribuído para a redução do uso de pesticidas em diversas regiões do mundo, mas também geram debates sobre seus impactos ambientais e na saúde humana". Esse cenário evidencia a necessidade de uma abordagem equilibrada, que considere os benefícios e os riscos associados a essas tecnologias (Silva et al., 2018).

Um dos principais desafios associados ao uso de pesticidas é o desenvolvimento de resistência por parte das pragas. Segundo pesquisas na área, o uso repetido e inadequado desses produtos pode selecionar indivíduos resistentes, reduzindo a eficácia dos tratamentos e exigindo o aumento das doses ou a troca por produtos mais potentes. Esse fenômeno, conhecido como resistência a pesticidas, representa um sério problema para a agricultura, podendo levar a perdas econômicas significativas e a um ciclo vicioso de dependência de produtos químicos. Diante disso, especialistas têm defendido a adoção de estratégias integradas de manejo, que combinem diferentes métodos de controle para reduzir a pressão de seleção sobre as pragas (Papa et al., 2014).

Além da resistência, os impactos ambientais dos pesticidas têm sido amplamente discutidos na literatura científica. A contaminação do solo, da água e do ar, bem como a perda de biodiversidade, são alguns dos efeitos negativos associados ao uso desses produtos (Melo et al., 2010). Conforme apontam estudos, a aplicação indiscriminada de pesticidas pode afetar organismos não-alvo, como polinizadores e predadores naturais, comprometendo o equilíbrio dos ecossistemas (Oliveira, 2017). Esses impactos têm motivado a busca por alternativas mais sustentáveis, como o uso de biopesticidas e o controle biológico, que visam reduzir a dependência de produtos químicos e promover práticas agrícolas mais responsáveis (Carneosso et al., 2024; Lima et al., 2024).

A questão da toxicidade dos pesticidas também é um ponto de preocupação, especialmente no que diz respeito à saúde humana. Trabalhadores rurais, que estão diretamente envolvidos na aplicação desses produtos, são particularmente vulneráveis aos riscos de intoxicação (Lima et al., 2024). Além disso, resíduos de pesticidas podem permanecer nos alimentos e atingir os consumidores, gerando preocupações sobre a segurança dos produtos agrícolas (Fiori et al., 2024). Nesse sentido, a regulamentação do uso de pesticidas tem um papel crucial na garantia de que esses produtos sejam utilizados de forma segura e eficaz (Moraes, 2019). No Brasil, órgãos como a Anvisa, Ibama e o Mapa são responsáveis pela avaliação, registro e fiscalização dos pesticidas, buscando equilibrar os benefícios agrônômicos com a proteção da saúde e do meio ambiente (Ministério da Agricultura e Pecuária, 2024).

A educação e a capacitação dos agricultores são elementos fundamentais para o sucesso das estratégias de manejo e controle de pragas. Muitas vezes, o uso

**Comentado [JF7]:** Esses dois parágrafos marcados, acho que pode juntar os dois, pois falam de coisas bem parecidas.

**Comentado [JF8]:** Porque que nesse referência você colocou o nome todo e nas outras colocou a sigla? Olha na ABNT qual a forma correta ou padroniza.

inadequado de pesticidas está relacionado à falta de conhecimento sobre as melhores práticas de aplicação, os riscos associados aos produtos e as alternativas disponíveis (Oliveira, 2024). Programas de extensão rural, treinamentos e campanhas de conscientização têm um papel crucial na disseminação de informações e na promoção de práticas mais sustentáveis (Santos et al., 2024). Além disso, o envolvimento dos agricultores no processo de tomada de decisão e a valorização de seus conhecimentos tradicionais podem contribuir para o desenvolvimento de soluções mais adaptadas às realidades locais (Carniatio et al., 2021).

A pesquisa científica desempenha um papel central no avanço do conhecimento sobre o manejo e controle de pragas. Investimentos em estudos que explorem novas moléculas, métodos de aplicação, estratégias de integração e impactos ambientais são essenciais para o desenvolvimento de soluções mais eficazes e sustentáveis (Silva et al., 2022). Além disso, a colaboração entre instituições de pesquisa, setor produtivo e governo é fundamental para garantir que os resultados das pesquisas sejam traduzidos em práticas aplicáveis no campo (Santos et al., 2012). A inovação tecnológica, como o uso de drones, sensores e inteligência artificial, também tem potencial para revolucionar o manejo de pragas, permitindo maior precisão e eficiência nas aplicações (Carraro, 2024).

A questão dos pesticidas também tem implicações globais, especialmente no contexto das mudanças climáticas e da segurança alimentar. O aumento das temperaturas, a alteração dos padrões de chuva e a maior frequência de eventos climáticos extremos podem influenciar a dinâmica das populações de pragas, tornando o controle mais desafiador (Rosenzweig et al., 2020). Além disso, a necessidade de aumentar a produção de alimentos para atender a uma população global em crescimento coloca pressão sobre os sistemas agrícolas, podendo levar a um maior uso de pesticidas (Silva; Kramer, 2023). Nesse cenário, é fundamental buscar soluções que conciliem a produtividade com a sustentabilidade, garantindo que as gerações futuras tenham acesso a alimentos de qualidade e a um meio ambiente preservado (Carneosso et al., 2024).

### **1.3. Micronúcleo como Biomarcador de Mutagenicidade.**

A genotoxicidade, é entendida como a capacidade de certos agentes químicos, físicos ou biológicos de causar danos ao material genético, é um tema de extrema relevância tanto para a saúde humana quanto para o equilíbrio ambiental (Moysés et

al., 2023). Esses danos, que podem variar desde mutações pontuais até quebras cromossômicas, representam um risco significativo quando não reparados adequadamente, podendo levar ao desenvolvimento de doenças graves, como o câncer (Galucio, 2014). Nesse cenário, a busca por biomarcadores eficazes para avaliar a genotoxicidade tornou-se uma prioridade, especialmente em contextos de exposição ocupacional e ambiental, onde a prevenção e o monitoramento são essenciais (Marques, 2021).

Dentre os biomarcadores disponíveis, a técnica de micronúcleo se destaca por sua simplicidade e eficácia. Essa estrutura, que surge a partir de fragmentos de cromossomos ou cromossomos inteiros que não são incorporados ao núcleo principal durante a divisão celular, é um indicador direto de instabilidade genômica (Fenech, 2000). Sua aplicação é vasta, abrangendo desde estudos em células humanas, como linfócitos e células da mucosa bucal, até organismos modelo utilizados em ecotoxicologia, como peixes e plantas, o que demonstra sua versatilidade (Grisolia, 2002).

A aplicação da técnica do micronúcleo em estudos de avaliação de risco genotóxico tem sido fundamental para identificar populações expostas a agentes mutagênicos. Trabalhadores da indústria química, agricultores que manipulam agrotóxicos e moradores de áreas contaminadas por metais pesados ou radiação são exemplos de grupos que se beneficiam desse tipo de análise (Ballestreri, 2017). Em ecotoxicologia, a técnica do micronúcleo tem sido amplamente utilizada para avaliar o impacto de poluentes ambientais em organismos aquáticos e terrestres, servindo como um indicador precoce de contaminação e degradação ambiental (Vendrusculo et al., 2021).

A genotoxicidade é um fenômeno complexo, influenciado tanto por fatores intrínsecos, como a capacidade de reparo do DNA (Ácido desoxirribonucleico), quanto por fatores extrínsecos, como a exposição a agentes mutagênicos. Nesse sentido, a técnica do micronúcleo tem sido utilizado não apenas como um indicador de dano genético, mas também como uma ferramenta para investigar a eficácia de agentes quimioprotetores e antioxidantes na redução dos efeitos genotóxicos (Fenech, 2000). Estudos têm demonstrado que compostos naturais, como flavonoides e polifenóis, podem reduzir significativamente a frequência de micronúcleos em células expostas a agentes mutagênicos, sugerindo seu potencial terapêutico na prevenção de danos ao DNA (Holland et al., 2008).

Comentado [JF9]: Primeira vez que cita, tem que colocar completo.

Além disso, a técnica do micronúcleo tem sido aplicada em pesquisas clínicas para avaliar a genotoxicidade de medicamentos, como quimioterápicos. Embora essenciais no tratamento do câncer, esses medicamentos podem induzir danos ao DNA de células saudáveis, aumentando o risco de efeitos colaterais a longo prazo. A avaliação da frequência de micronúcleos em pacientes submetidos a quimioterapia tem fornecido insights valiosos sobre a toxicidade desses tratamentos e auxiliado no desenvolvimento de estratégias para minimizar seus efeitos adversos (Meneses de Araújo; Costa; Batista, 2018).

A genotoxicidade tem implicações importantes na área da saúde pública, uma vez que a exposição a agentes mutagênicos pode ocorrer através da contaminação de alimentos, água e ar (Silva, 2024). Nesse contexto, a técnica do micronúcleo tem sido utilizada em programas de vigilância ambiental para monitorar a qualidade de ecossistemas e identificar fontes de contaminação (Ministério da Saúde, 2024). Além disso, a educação ambiental e a conscientização sobre os riscos da exposição a agentes genotóxicos são fundamentais para a prevenção de doenças relacionadas à genotoxicidade e para a promoção da saúde coletiva (Sistema Nacional de Vigilância Ambiental em Saúde, 2024).

O desenvolvimento de políticas públicas baseadas em evidências científicas é essencial para reduzir a exposição da população a agentes mutagênicos e promover a saúde coletiva. Nesse sentido, a técnica do micronúcleo tem sido utilizada em estudos epidemiológicos que buscam correlacionar a exposição a agentes mutagênicos com o aumento da incidência de doenças crônicas em populações específicas, como trabalhadores expostos a pesticidas ou habitantes de regiões industrializadas (Kohatsu; Shimabukuro; Gattás, 2007). Esses estudos têm fornecido dados valiosos para a formulação de políticas de saúde pública e para a implementação de medidas de controle e prevenção (Düsman et al., 2012).

Apesar dos avanços significativos, ainda há desafios a serem superados na utilização do micronúcleo como biomarcador de genotoxicidade. A padronização dos protocolos de análise e a validação de novos biomarcadores complementares são necessárias para aumentar a confiabilidade e a aplicabilidade do teste (Akamine et al., 2021). Além disso, a integração de técnicas moleculares, como a análise de expressão gênica, tem sido proposta como uma abordagem promissora para aumentar a sensibilidade e especificidade do teste do micronúcleo (Zamora-Obando et al., 2022).

Além de sua aplicação em estudos de exposição ocupacional e ambiental, o teste do micronúcleo tem sido utilizado em pesquisas voltadas para a avaliação de riscos genotóxicos em populações vulneráveis, como crianças e idosos. Esses grupos, devido a características fisiológicas específicas, como a imaturidade do sistema de reparo do DNA em crianças ou o declínio da capacidade de reparo em idosos, são mais suscetíveis aos efeitos de agentes mutagênicos (Araldi et al., 2013). Estudos recentes têm demonstrado que a frequência de micronúcleos em células de crianças expostas a poluentes atmosféricos é significativamente maior do que em adultos, destacando a importância de políticas públicas voltadas para a proteção dessas populações (Ballestreri, 2017).

Outro campo de aplicação do micronúcleo é a avaliação de riscos genotóxicos associados ao uso de produtos cosméticos e de higiene pessoal. Muitos desses produtos contêm substâncias químicas, como parabenos e ftalatos, que podem induzir danos ao DNA (Souza et al., 2020). O teste do micronúcleo tem sido utilizado para avaliar a segurança desses produtos, fornecendo dados que auxiliam na regulamentação e no desenvolvimento de alternativas mais seguras (Napoleão Tavares et al., 2020). Além disso, a crescente demanda por produtos naturais e orgânicos tem impulsionado pesquisas que utilizam o micronúcleo para comprovar a eficácia e a segurança dessas alternativas (Marques, 2023).

A genotoxicidade também tem sido investigada em contextos de exposição à radiação ionizante, como em trabalhadores de usinas nucleares, profissionais de saúde que utilizam equipamentos de radiologia e pacientes submetidos a radioterapia. O teste do micronúcleo tem sido uma ferramenta valiosa para monitorar os efeitos genotóxicos da radiação, permitindo a implementação de medidas de proteção e a redução dos riscos associados a essa exposição (INCA, 2021). Além disso, estudos têm explorado o uso do micronúcleo para avaliar a eficácia de agentes radioprotetores, que podem minimizar os danos ao DNA causados pela radiação (Andrade et al., 2023).

A aplicação do teste do micronúcleo em estudos de genotoxicidade também tem contribuído para o avanço da pesquisa básica em biologia celular e molecular. Por exemplo, a formação de micronúcleos tem sido associada a mecanismos específicos de dano ao DNA, como a falha na segregação cromossômica durante a mitose e a meiose (Krishna; Hayashi, 2000). Esses estudos têm fornecido insights

valiosos sobre os processos celulares envolvidos na manutenção da estabilidade genômica e na prevenção de doenças genéticas (Fenech, 2000).

Outro aspecto relevante é a aplicação do teste do micronúcleo em estudos de genotoxicidade associados à alimentação. A exposição a contaminantes presentes em alimentos, como micotoxinas, resíduos de agrotóxicos e metais pesados, pode induzir danos ao DNA e aumentar o risco de doenças crônicas (Araldi et al., 2013). O micronúcleo tem sido utilizado para avaliar a segurança de alimentos e bebidas, fornecendo dados que auxiliam na regulamentação e no controle de qualidade desses produtos (Akamine et al., 2021). Além disso, estudos têm explorado o papel de compostos bioativos presentes em alimentos, como antioxidantes, na redução dos efeitos genotóxicos de contaminantes alimentares (Figueiredo; Carvalho, 2021).

O uso do teste de micronúcleo (MN) em bovinos tem ganhado destaque como uma ferramenta promissora de biomonitoramento ambiental, especialmente pela possibilidade de detectar alterações no DNA induzidas por agentes genotóxicos. Bovinos, por permanecerem longos períodos em áreas restritas, acabam funcionando como excelentes bioindicadores da qualidade ambiental à sua volta. A análise do epitélio bucal, por meio da citologia exfoliativa, permite observar diferentes anormalidades nucleares associadas a danos genéticos e processos de morte celular. Células com micronúcleo, núcleos em broto e binucleação são alterações que refletem falhas na segregação cromossômica e instabilidade genômica (Ferré et al., 2024).

Além de sua aplicabilidade prática e custo acessível, o teste adaptado à espécie bovina revela aspectos importantes da fisiologia do tecido analisado. Estudos demonstram que o epitélio da mucosa oral bovina é mais espesso que o humano e apresenta camadas bem definidas de células em diferentes estágios de diferenciação, com elevada proporção de células queratinizadas e anucleadas (Ferré et al., 2024). Isso exige uma interpretação criteriosa dos resultados, especialmente quanto às alterações relacionadas à apoptose, que podem ser fisiológicas e não necessariamente indicadoras de genotoxicidade. A padronização da técnica em bovinos permite identificar com precisão os tipos celulares e suas respectivas alterações nucleares (Carracedo et al., 2015).

O reconhecimento da frequência e do tipo de anormalidades nucleares presentes nas células epiteliais bucais de bovinos tem potencial para servir como alerta precoce de exposição a agrotóxicos e outros contaminantes ambientais. As células micronucleadas, embora menos frequentes que as apoptóticas, são altamente

específicas para o diagnóstico de dano cromossômico. Já outras alterações, como a cariorrexe e a cromatina condensada, podem indicar estresse celular, mas também estão ligadas à renovação normal do epitélio oral. Assim, o uso do teste de micronúcleo em bovinos exige um olhar técnico e contextualizado, considerando tanto a histologia do tecido quanto as condições ambientais e sanitárias às quais os animais estão expostos (Ferré et al., 2024).

#### 1.4. Micronúcleo e 2,4-D.

O teste de micronúcleo tem se revelado um método sensível e confiável para detectar os efeitos mutagênicos e genotóxicos do 2,4-D em diversos organismos. Em humanos, estudos epidemiológicos com populações ocupacionalmente expostas demonstraram aumentos significativos na frequência de micronúcleos em linfócitos periféricos, com correlação positiva entre o tempo de exposição e a intensidade dos danos cromossômicos (Ballestreri, 2022).

Pesquisadores da UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) investigaram a citotoxicidade e mutagenicidade do 2,4-D em peixes, utilizando o teste de micronúcleos e a avaliação de alterações nucleares em eritrócitos. Os resultados revelaram danos celulares significativos, reforçando a necessidade de monitoramento contínuo dos impactos desse composto em ecossistemas aquáticos (Silva et al., 2019; Souza et al., 2023).

González et al. (2022) exploraram os efeitos genotóxicos do 2,4-D em *Piaractus mesopotamicus* (Pacu-Caranha), também por meio do teste de micronúcleos. O estudo detectou modificações genéticas relevantes, destacando a importância de pesquisas adicionais para compreender os riscos ambientais associados a esse herbicida (González et al., 2023).

Em outro estudo, Pereira et al. (2021) avaliaram as consequências genotóxicas e citotóxicas da exposição ao 2,4-D em *Astyanax lacustris* (Lambari-Do-Rabo-Amarelo). Os dados obtidos indicaram que o 2,4-D é capaz de induzir lesões genéticas, o que ressalta a urgência de medidas para mitigar seus efeitos (Fernandes et al., 2023).

Almeida et al. (2020) examinaram os impactos subletais da formulação comercial do 2,4-D em *Physalaemus cuvieri* (Rã-Cachorro). Os girinos expostos apresentaram malformações e anormalidades nucleares, sugerindo que o 2,4-D pode representar

Comentado [JF10]: Acho que é a primeira vez que cita. Seria interessante colocar o significado.



uma ameaça à biodiversidade em ambientes aquáticos (Rodrigues et al., 2023; González et al., 2024).

Costa et al. (2020) utilizaram biomarcadores em *Lycengraulis grossidens* (Manjuba) para monitorar a qualidade da Laguna Estuarina Tramandaí-Armazém. Os resultados demonstraram que a presença de contaminantes, incluindo o 2,4-D, está associada a alterações genéticas significativas nessa espécie, tais como danos de DNA, estresse oxidativo, desregulação de enzimas antioxidantes e possíveis impactos na reprodução e sobrevivência (Ferreira et al., 2020).

Estudos com *Eisenia andrei* (Minhocas) comprovaram a sensibilidade desses organismos aos efeitos genotóxicos do 2,4-D. Por meio do teste de micronúcleo, Lima et al. (2023) observaram danos ao material genético nas células celomáticas, mesmo em concentrações ambientalmente relevantes. Os achados indicam uma relação dose-dependente, com possíveis prejuízos à saúde do solo e à sua fertilidade (Lima et al., 2023).

*Caiman latirostris* (Jacaré-De-Papo-Amarelo) foram estudados como modelos para avaliar os efeitos do herbicida em espécies de vida longa e alto nível trófico. Ferreira et al. (2023) aplicaram o teste de micronúcleos e identificaram alterações genômicas durante os estágios iniciais de desenvolvimento, sugerindo que impactos subletais podem comprometer a viabilidade populacional a longo prazo (Rodrigues et al., 2023).

Pesquisas com *Gallus domesticus* (Galo/Galinha Doméstica) forneceram insights sobre os mecanismos de ação do 2,4-D em organismos homeotérmicos. Silva et al. (2023) relataram que o herbicida induz danos genéticos em períodos críticos do desenvolvimento embrionário, o que pode representar um risco para aves em áreas agrícolas (Silva et al., 2023).

Populações de *Akodon montensis* (Rato-Do-Mato) em regiões de uso intensivo do 2,4-D foram analisadas por Oliveira et al. (2023) por meio do teste de micronúcleos. Os resultados revelaram uma correlação entre a exposição ambiental e alterações citogenéticas, reforçando o papel desses animais como bioindicadores da qualidade ambiental (Oliveira, et al., 2023; Santos et al., 2023).

O teste de micronúcleo adaptado para sistemas vegetais demonstrou que o 2,4-D interfere no processo de divisão celular em *Vigna radiata* (Feijão-Verde). Martins et al. (2023) documentaram anomalias cromossômicas que podem afetar o crescimento e desenvolvimento de plantas não-alvo expostas à deriva do 2,4-D (Martins et al., 2023; Ferreira et al., 2023).

Cães têm sido estudados como sentinelas da exposição ambiental ao 2,4-D. Costa et al. (2023) aplicaram o teste de micronúcleo e identificaram padrões de contaminação genotóxica em ambientes urbanos e rurais, evidenciando a dispersão do 2,4-D para além das áreas de aplicação direta.

Estudos epidemiológicos utilizando o teste de micronúcleo revelaram impactos significativos da exposição ao 2,4-D em populações humanas. Trabalhadores agrícolas expostos ocupacionalmente apresentaram aumento na frequência de micronúcleo em células da mucosa oral e linfócitos, conforme demonstrado por Silva et al. (2023; Rodrigues et al., 2023; Benvegnu et al. 2023).

Pesquisas com residentes de áreas de uso intensivo do 2,4-D indicaram que a exposição ambiental não-ocupacional também está associada a alterações citogenéticas. Oliveira et al. (2023) detectaram correlações positivas entre a proximidade de áreas de aplicação e a ocorrência de anomalias nucleares em células bucais, sugerindo vias indiretas de contaminação (Santos et al., 2023).

Esses achados foram consistentemente replicados em condições controladas de laboratório, onde culturas de linfócitos humanos expostas in vitro a concentrações ambientalmente relevantes do 2,4-D apresentaram não apenas elevadas taxas de formação de micronúcleos, mas também outras aberrações cromossômicas características (Uchôa e Magalhães, 2019).

### **1.5. Variáveis de Estresse.**

Os bovinos apresentam uma ampla variabilidade fisiológica e comportamental, influenciada por fatores como raça, idade, sexo, estado nutricional, ambiente e manejo (Carvalho et al., 2021). Essa diversidade impacta diretamente a forma como cada indivíduo responde aos estímulos externos, incluindo aqueles que provocam estresse (Lima et al., 2022). Do ponto de vista zootécnico, entender essa variabilidade é essencial para otimizar práticas de manejo e garantir não apenas o bem-estar animal, mas também a eficiência produtiva (Souza et al., 2023). Além disso, a sensibilidade

individual às condições ambientais pode influenciar na forma como os bovinos metabolizam substâncias químicas presentes no ambiente, como agrotóxicos e medicamentos (Oliveira et al., 2020).

As características fisiológicas dos bovinos, como temperatura corporal, ritmo cardíaco e respiratório, variações hormonais e perfil hematológico, são importantes parâmetros de referência tanto em pesquisas científicas quanto na prática da produção pecuária (Carvalho et al., 2021). Esses dados permitem avaliar o estado de saúde dos animais, sua resposta ao ambiente e seu potencial produtivo. Em condições ideais, esses parâmetros tendem a se manter estáveis; no entanto, frente a desafios ambientais ou sanitários, podem sofrer alterações significativas (Lima et al., 2022). Essas mudanças fisiológicas, por sua vez, podem comprometer o desempenho produtivo e reprodutivo do animal (Souza et al., 2023).

Comportamentalmente, os bovinos expressam sinais claros diante de situações adversas. Comportamentos como inquietação, vocalização, isolamento, diminuição da ingestão alimentar e mudanças na ruminação são respostas comuns ao estresse (Lima et al., 2022). Essas alterações são frequentemente acompanhadas por variações em indicadores fisiológicos e podem ser utilizadas como ferramentas práticas para avaliação do bem-estar (Carvalho et al., 2021). Além disso, comportamentos desviantes, como o “lambedouro” ou o “chupeteio”, muitas vezes observados em ambientes de confinamento ou superlotação, revelam situações de desconforto que, se não corrigidas, podem afetar a sanidade e o rendimento do rebanho (Souza et al., 2023).

Entre os principais indicativos produtivos que refletem o impacto do estresse em bovinos estão o ganho de peso, a conversão alimentar, a produção leiteira e os índices reprodutivos. O estresse crônico pode levar a um declínio significativo desses parâmetros, mesmo em rebanhos bem alimentados, devido à redistribuição de energia para mecanismos de adaptação fisiológica (Souza et al., 2023). Portanto, ao considerar variáveis de estresse em estudos com bovinos, é fundamental observar não apenas os dados fisiológicos e comportamentais, mas também os resultados zootécnicos obtidos (Carvalho et al., 2021). Esses aspectos, quando integrados, fornecem uma visão abrangente da influência do estresse sobre a saúde e o desempenho dos animais (Lima et al., 2022).

O estresse em bovinos pode ser quantificado por meio de parâmetros fisiológicos e zootécnicos que refletem o equilíbrio homeostático dos animais. Dentre as principais variáveis de avaliação destacam-se o Escore de Condição Corporal (ECC), a temperatura corporal e o peso vivo, que funcionam como indicadores zootécnicos sensíveis de desequilíbrios nutricionais, térmicos e metabólicos (Brasileiro et al., 2024; Almeida et al., 2020). Esses parâmetros, quando analisados de forma integrada, permitem identificar diferentes graus de estresse e suas possíveis consequências sobre a saúde animal, incluindo alterações celulares e fisiológicas (Barbosa et al., 2021).

O ECC é um sistema de avaliação visual e tátil que classifica a reserva energética de bovinos com base na deposição de gordura subcutânea, especialmente nas regiões lombar, costelas e processos espinhosos (Rodrigues, Miranda e Oliveira, 2023). A escala varia de 1 (emaciado) a 5 (obeso), sendo valores entre 2,5 e 3,5 considerados ideais para bovinos em pastejo (Anunciação, 2020). ECC abaixo de 2,5 indica déficit energético crônico (Fernandes, 2020).

Bovinos com ECC reduzido apresentam menor disponibilidade de substratos energéticos (como ácidos graxos e glicose), levando à mobilização de tecidos corporais e aumento de cortisol sérico (Pinheiro Pales et al., 2023). Essa condição está diretamente ligada à supressão imune e maior susceptibilidade a danos celulares, incluindo alterações nucleares em tecidos de rápida renovação, como a mucosa oral (Pfeifer et al., 2020).

A temperatura retal em bovinos saudáveis varia entre 38,3°C e 39,1°C (Turco et al., 2023). Valores acima desse intervalo podem indicar estresse térmico, processos inflamatórios (Higuti, 2021) ou exposição a toxinas (Higuti, 2021; Souza et al., 2024). Hipertermia persistente (>39,5°C) eleva a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), que causam danos ao DNA e estão associadas à formação de micronúcleos em células epiteliais (Ferré et al., 2024).

Em condições de estresse térmico, bovinos ativam mecanismos de termorregulação (como aumento da frequência respiratória), que demandam energia adicional (Turco et al., 2023). Quando combinado com baixo ECC, o quadro pode levar à falha na reparação de danos ao DNA, exacerbando anomalias nucleares (Pfeifer et al., 2020).

O peso vivo é um parâmetro direto para avaliar o equilíbrio entre ingestão e gasto energético. Perdas súbitas de peso (>10% da massa corporal) estão frequentemente associadas a estresse hídrico, doenças infecciosas ou exposição a xenobióticos (Fischer et al., 2021; Aguiar, 2023; Turco et al., 2023).

O estresse em bovinos é um fator crítico que pode comprometer o bem-estar animal, a produtividade e até a integridade genética dos indivíduos, sendo considerado um dos principais desafios na pecuária moderna (Moreira et al., 2023). Diversas situações, como manejo inadequado, transporte, mudanças alimentares, clima extremo e infecções, são reconhecidas como gatilhos para respostas fisiológicas de estresse (Tonon et al., 2020). A ativação do eixo hipotálamo-hipófise-adrenal (HHA) é uma das principais vias fisiológicas envolvidas, resultando na liberação de cortisol, um hormônio amplamente utilizado como biomarcador de estresse em bovinos (Silva et al., 2021). Estudos demonstram que a elevação prolongada dos níveis de cortisol pode alterar o metabolismo energético, suprimir a resposta imunológica e comprometer a renovação celular dos tecidos epiteliais, afetando diretamente a saúde e o desempenho produtivo dos animais (Ferreira et al., 2022).

Entre os principais indicadores fisiológicos de estresse em bovinos destacam-se a variação na temperatura corporal, frequência respiratória e cardíaca, além da liberação de catecolaminas e glicocorticoides, como o cortisol (Silva et al., 2021). Essas alterações refletem a ativação do eixo hipotálamo-hipófise-adrenal e podem influenciar diretamente a dinâmica celular de tecidos epiteliais, como a mucosa oral, frequentemente utilizada em estudos genotóxicológicos (Ferreira et al., 2022). A modulação dessas variáveis fisiológicas precisa ser considerada em pesquisas que envolvem biomarcadores, uma vez que o estresse pode interferir nos índices de apoptose, proliferação celular e formação de anomalias nucleares (Moreira et al., 2023).

O estresse térmico, por exemplo, é altamente relevante em regiões tropicais e subtropicais, onde bovinos são frequentemente expostos a altas temperaturas e radiação solar intensa (Ferreira et al., 2022). Nesses cenários, observa-se redução na ingestão alimentar, queda na produção leiteira e no ganho de peso, além do aumento da taxa de respiração e sudorese (Silva et al., 2021). Esses fatores impactam o estado geral de saúde do animal e, indiretamente, a estabilidade do material genético (Moreira et al., 2023). A exposição a estressores ambientais intensos pode inclusive

potencializar os efeitos de substâncias genotóxicas, como herbicidas, presentes no ambiente (Tonon et al., 2020).

Do ponto de vista comportamental, bovinos sob estresse tendem a demonstrar sinais como vocalizações excessivas, agitação, tentativas de fuga e alterações nos padrões alimentares, os quais são considerados indicadores precoces de desconforto (Moreira et al., 2023). Esses sinais muitas vezes precedem alterações bioquímicas mais profundas, sendo importantes para o monitoramento do bem-estar animal (Silva et al., 2021). Além disso, estudos mostram que bovinos que passam por estresse crônico apresentam maior suscetibilidade a doenças, dificuldade na cicatrização de feridas e prejuízos na reprodução, o que reforça a importância de práticas de manejo que minimizem situações estressantes (Ferreira et al., 2022).

É essencial considerar que o estresse, além de ser um fator prejudicial ao desempenho produtivo, pode interferir na interpretação de estudos com biomarcadores celulares (Ferreira et al., 2022). A presença de apoptose elevada ou alterações nucleares em células da mucosa oral, por exemplo, pode não ser exclusivamente decorrente da exposição a agentes genotóxicos, mas também de variáveis fisiológicas associadas ao estresse (Silva et al., 2021). Portanto, ao investigar os efeitos de substâncias como o 2,4-D sobre bovinos, é necessário controlar e registrar fatores como escore de condição corporal, temperatura ambiente, acesso à água e conforto térmico, para garantir a confiabilidade dos dados obtidos (Moreira et al., 2023).

O conceito de One Health (Saúde Única) surge como um chamado à reflexão sobre as complexas relações entre humanos, animais e meio ambiente. Mais do que um modelo teórico, essa abordagem revela como nossa saúde está intrinsecamente ligada aos ecossistemas que nos cercam e aos animais com quem compartilhamos o planeta (Carneiro, L. A., & Pettan-Brewer, C., 2021). Quando analisamos, por exemplo, os efeitos dos pesticidas na saúde bovina, não estamos diante de um problema isolado, mas de uma cadeia de consequências que pode afetar desde a qualidade do solo até a segurança dos alimentos que consumimos (Lopes, Albuquerque, 2018).

Nesse cenário, a Saúde Única se apresenta não como uma opção, mas como uma necessidade urgente. Exige de nós um olhar atento às práticas agrícolas (Losh,

2022), políticas públicas baseadas em evidências (Kim, 2024) e, sobretudo, a compreensão de que cuidar do meio ambiente e dos animais é, em última instância, cuidar da nossa própria saúde (Machado, 2020). Essa visão integrada pode ser o caminho para um futuro em que produção, preservação e bem-estar caminhem lado a lado.

O uso intensivo do 2,4-D em áreas agrícolas, embora eficaz no controle de pragas, gera preocupações quanto aos seus efeitos genotóxicos em organismos não-alvos, como os bovinos que pastam em regiões próximas a cultivos tratados e também os que pastam em áreas de aplicação. A escassez de estudos que associem alterações nucleares em células da mucosa oral a parâmetros fisiológicos de estresse nesses animais revela uma lacuna científica relevante.

Este trabalho justifica-se pela necessidade de avaliar os riscos ambientais e à saúde animal. Além disso, a escolha da mucosa oral como biomarcador inova pela praticidade de coleta, permitindo um monitoramento contínuo e menos invasivo, enquanto a abordagem integrada de genotoxicidade e estresse fisiológico reforça a aplicação do conceito de One Health, que conecta saúde animal, humana e ambiental. Ao investigar esses aspectos, o estudo contribui não apenas para a ciência, mas também para setores produtivos que dependem da sanidade dos rebanhos em regiões de uso intensivo de pesticidas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral.**

Avaliar a frequência de micronúcleos e outras alterações nucleares em células da mucosa oral de bovinos expostos ao 2,4D em uma área de controle de pragas, correlacionando essas alterações com parâmetros fisiológicos indicativos de estresse.

### **2.2. Objetivos Específicos.**

- Verificar a frequência de micronúcleos e outras alterações metanucleares (binucleação, cariorrexe, cariólise e "broken egg") em células da mucosa oral de bovinos;
- Avaliar os parâmetros fisiológicos (temperatura corporal, peso e escore de condição corporal – ECC) dos bovinos da área de estudo; Investigar a associação estatística entre alterações nucleares e os parâmetros fisiológicos relacionados ao estresse.



### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Descrição da Área de Coleta e População Amostral.**

O estudo foi desenvolvido com base em um método transversal, em animais expostos a pesticidas, envolvendo um total de 36 bovinos adultos. Para a seleção dos animais, não foram considerados aspectos raciais, mas sim a idade. O projeto foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA), sob o número de registro CEUA 8705240423 (Anexo I).

O grupo amostral foi formado por 36 animais produtivos provenientes de uma fazenda localizada próximo à cidade de Piracanjuba, a qual fez uso de pesticidas a base de 2,4-D durante o ciclo reprodutivo de 2023. O laboratório responsável pelas análises das amostras foi o Núcleo de Pesquisas Replicon, localizado na PUC Goiás, Rua 235, 40, Área 4, Bloco L, Setor Universitário, Goiânia-GO, CEP: 74605-050.

Foram escolhidos bovinos criados em sistemas extensivos ou semi-intensivos, com idades entre dois e cinco anos. Essa faixa etária foi definida para garantir que todos os animais estivessem no mesmo ciclo produtivo.

#### **3.2. Coleta.**

A coleta do material biológico foi realizada em bovinos adultos, seguindo um protocolo padronizado para assegurar a qualidade das amostras. Inicialmente, os animais foram contidos de forma adequada para minimizar o estresse durante o procedimento. A região da mandíbula superior foi higienizada com água utilizando uma piceta, seguida de uma esfregação manual vigorosa para remover resíduos de saliva e partículas alimentares, garantindo assim a obtenção de amostras livres de contaminantes.

Para a coleta das células da mucosa oral, empregou-se uma escova citológica estéril, que foi pressionada suavemente contra o epitélio da mandíbula superior e girada em movimentos circulares para desprender as células epiteliais (Figura 1). As amostras coletadas foram imediatamente transferidas para tubos de ensaio contendo solução salina estéril, devidamente identificados e mantidos sob refrigeração durante o transporte até o laboratório.



**Figura 1** - Procedimento de Coleta de Células da Mucosa Oral em Bovinos. A) Animal Contido no Brete Durante o Procedimento de Coleta. B) Região da Mandíbula Superior do Animal Onde Foi Realizada a Escovação Citológica. Fonte: Autoral, 2023.

O Escore de Condição Corporal (ECC) é uma ferramenta amplamente utilizada na zootecnia e medicina veterinária para avaliar, de forma subjetiva, o estado nutricional dos bovinos. Esse método baseia-se na observação visual e na palpação de áreas anatômicas específicas do animal, com o objetivo de estimar a quantidade de gordura corporal presente sob a pele. Os principais pontos de avaliação incluem a linha dorsal (região lombar), costelas, garupa, inserção da cauda, ancas e base do pescoço. Esses locais são escolhidos porque a deposição de gordura neles ocorre de forma previsível e progressiva à medida que o animal ganha ou perde peso.

A pontuação do ECC pode ser feita com escalas que variam de 1 a 5 ou de 1 a 9, sendo que a escolha da escala depende do protocolo adotado pela instituição ou do tipo de rebanho. Neste estudo, foi utilizada a escala de 1 a 5, em que:

- **ECC 1** indica um animal extremamente magro, com ossos visivelmente salientes e ausência de reservas de gordura;
- **ECC 2** representa um animal magro, com pouca cobertura de gordura;
- **ECC 3** é considerado ideal, com cobertura uniforme de gordura e contornos ósseos pouco evidentes;
- **ECC 4** aponta acúmulo excessivo de gordura, principalmente na garupa e na base da cauda;
- **ECC 5** caracteriza obesidade evidente, com grande deposição de gordura e ausência de proeminência óssea.

A avaliação foi realizada por um observador treinado, sempre no mesmo período do dia e em ambiente calmo, com os animais contidos de forma segura. Esse controle é necessário para reduzir a variabilidade entre observações e garantir maior confiabilidade nos escores atribuídos. A consistência da avaliação depende, sobretudo, da experiência do avaliador, por isso é recomendado que a mesma pessoa realize todos os registros ao longo do estudo.

O ECC é considerado um indicador indireto de bem-estar animal, pois fornece informações sobre o balanço energético e nutricional ao longo do tempo. Animais com escores muito baixos ou muito altos estão mais propensos a distúrbios metabólicos, queda na imunidade, alterações reprodutivas e até predisposição a doenças. Assim, sua utilização neste estudo permitiu não apenas caracterizar o estado físico dos bovinos no momento da coleta, como também auxiliar na interpretação de possíveis variações nos parâmetros celulares avaliados.

A aferição da temperatura retal foi realizada com termômetro digital veterinário, calibrado previamente para garantir a precisão dos dados. O dispositivo foi inserido no reto do animal, a uma profundidade de aproximadamente 2–3 cm, por um período de 1 minuto ou até a estabilização do valor registrado no visor. Para padronização, todas as medições foram conduzidas no período da manhã, em ambiente controlado. Antes de cada uso, o termômetro foi higienizado com álcool 70% para evitar contaminação cruzada.

O peso dos animais foi determinado por meio de fita de pesagem específica para bovinos, com escala em pequena, média e grande, onde para o estudo foi utilizada a

escala média. A técnica consistiu em posicionar a fita ao redor do perímetro torácico, conforme protocolo validado para a espécie. Para minimizar variações, os animais foram mantidos em posição estática durante a medição, e a fita foi ajustada sem comprimir os tecidos.

A fim de reduzir viés, ambas as mensurações (temperatura e peso) foram realizadas no mesmo dia, no mesmo horário, por um único avaliador treinado. O manejo foi conduzido de forma tranquila, evitando estresse pré-coleta (ex.: jejum prolongado, contenção forçada). Os dados brutos foram registrados imediatamente após a coleta em planilha eletrônica (Microsoft® Excel® para Microsoft 365 MSO (Versão 2505 Build 16.0.18827.20102) 64 bits), organizados em colunas separadas para temperatura (°C), peso (Kg), identificação do animal.

### **3.3. Teste de Micronúcleo.**

O procedimento para a realização do teste de micronúcleo foi conduzido conforme o protocolo estabelecido por Souto et al. (2010). Após a coleta, as amostras foram centrifugadas a 1000 rpm por 10 minutos. Em seguida, foi preparada uma solução fixadora de Carnoy (3:1), que foi mantida em refrigeração até o momento de uso. Após a centrifugação, é formado o pelet e então o sobrenadante foi descartado, e a solução fixadora foi adicionada até atingir um volume de 15 ml. A amostra foi então centrifugada novamente a 1000 rpm por 10 minutos, e esse processo foi repetido três vezes, até que a solução se tornasse translúcida.

Para o preparo das lâminas, foram selecionadas lâminas sem danos de superfície e limpas adequadamente. As lâminas foram armazenadas em água refrigerada a 8°C e retiradas apenas no momento da aplicação das amostras. As amostras foram aplicadas sobre as lâminas, que foram colocadas sobre banho-maria aquecido a 60°C, utilizando três gotas de amostra por lâmina.

O processo de hidrólise foi realizado utilizando uma solução diluída de ácido clorídrico (HCl) a 10%, preparada com 40 ml de HCl e 400 ml de água destilada (H<sub>2</sub>O<sub>d</sub>). Parte da solução de hidrólise foi mantida à temperatura ambiente, e as lâminas foram imersas nessa solução por 2 minutos. Outra parte da solução foi aquecida a 60°C em banho-maria, e as lâminas foram colocadas nessa solução aquecida por 6 minutos. Após esse período, as lâminas foram retiradas e colocadas

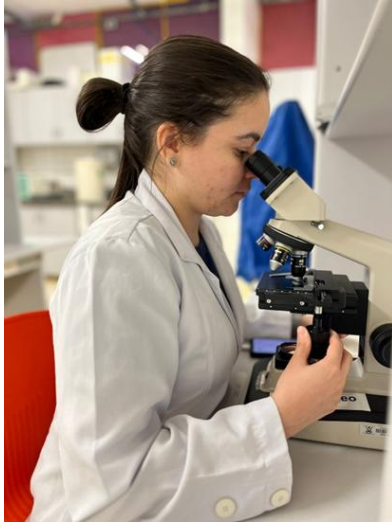
novamente na solução de hidrólise à temperatura ambiente por mais 2 minutos. Finalmente, as lâminas foram secas em temperatura ambiente.

A coloração das lâminas foi realizada em duas etapas. Na primeira etapa, as lâminas foram mergulhadas em uma solução de fucsina básica por 15 minutos, protegidas da luz. Após o tempo de coloração, as lâminas foram levemente enxaguadas com água corrente para remover o excesso de corante.

Na segunda etapa, as lâminas foram mergulhadas em uma solução de *fast green* por 10 segundos e, em seguida, postas para secar (Figura 2). Essa metodologia permitiu a análise das células epiteliais para a detecção de micronúcleos e outras alterações nucleares, seguindo os critérios estabelecidos para a identificação de danos genotóxicos (Figura 3).



**Figura 2** – Processo de Coloração das Lâminas Para o Teste de Micronúcleo. A) Imersão da Lâmina em Corante. B) Enxágue Leve em Água Corrente Para a Remoção do Excesso de Corante. C) Berços Contendo os Corantes Fucsina Básica e Fast Green. Fonte: Autoral, 2024.

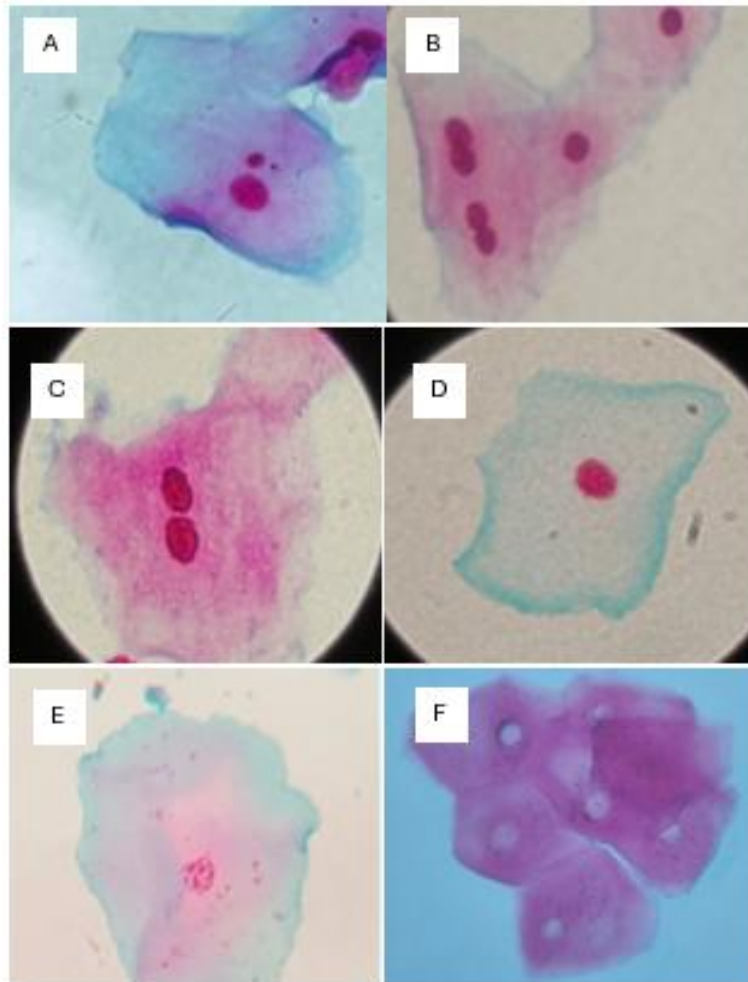


**Figura 3** -Análise Microscópica das Lâminas Coradas do Teste de Micronúcleo. Fonte: Autoral, 2024.

#### **3.4. Análise Estatística.**

A avaliação das alterações nucleares foi realizada através de microscopia óptica em aumento de 100x, com análise manual de no mínimo 1000 células por amostra. Foram sistematicamente classificadas a presença de micronúcleos, alterações metanucleares e células normais (Figura 4).

**Comentado [JF11]:** Esse paragrafo pra mim é mais resultado do que metodologia.



**Figura 4** - Ilustração Fotográfica Contendo Alterações Metanucleares Observadas em Células Epiteliais Bovinas da Mucosa Oral. A) Célula com Micronúcleo. B) Célula Com Formação Broken-egg. C) Células Binucleadas. D) Célula Normal. E) Células em Cariorrexe. F) Célula em Cariólise. Fonte: Autoral, 2024.

Os dados quantitativos foram inicialmente registrados em fichas padronizadas para garantir a consistência da coleta. Posteriormente, foram organizados em planilhas eletrônicas (Microsoft® Excel® para Microsoft 365 MSO (Versão 2505 Build 16.0.18827.20102) 64 bits), com dupla checagem para evitar erros de digitação. As variáveis foram categorizadas conforme sua natureza (células normais, micronúcleo, broken-egg, binucleadas, cariorrexe e kariólise) e codificadas para análise estatística.



As análises foram realizadas nos softwares R (R version 4.5.0 (2025-04-11 ucrt) e RStudio (RStudio 2024.12.1+563 "Kousa Dogwood" Release (27771613951643d8987af2b2fb0c752081a3a853, 2025-02-02) for Windows Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64; x64), utilizando pacotes específicos (ex.: dplyr para manipulação de dados, car para ANOVA, stats para Qui-quadrado). A escolha dos testes foi baseada na distribuição e tipo das variáveis:

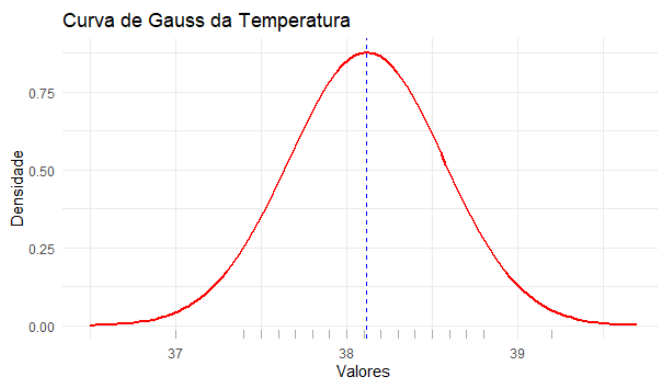
- **ANOVA** (unidirecional ou fatorial): Aplicada para comparação de médias entre três ou mais grupos, após verificação de pressupostos (normalidade, homocedasticidade).
- **Teste Qui-quadrado de Pearson**: Utilizado para avaliar associação entre variáveis categóricas (ex.: tabelas de contingência).

Os resultados foram expressos em médias  $\pm$  desvio-padrão (ANOVA) ou frequências absolutas/relativas (Qui-quadrado), com nível de significância de  $*p* < 0,05$ . Gráficos complementares foram gerados com o pacote ggplot2.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

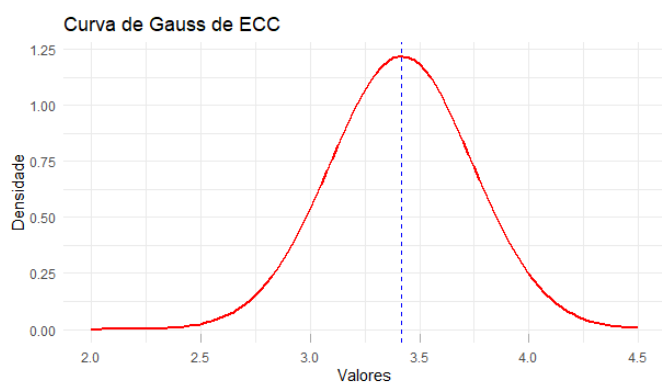
Foram analisadas ao todo 36.000 células epiteliais da mucosa oral bovina, distribuídas entre os 36 animais avaliados. Dentre essas, foram identificadas 46 células com micronúcleos, 7 com formação do tipo *broken egg*, 89 células binucleadas, 210 com cariorrexe e 480 com cariólise, além de 35.169 células consideradas normais. Esses dados reforçam que, embora alterações nucleares tenham sido observadas, a frequência de células normais permanece predominante no total avaliado, representando aproximadamente 97,1% das observações.

Os dados obtidos indicam que uma parcela expressiva dos bovinos avaliados apresentou sinais fisiológicos compatíveis com estresse térmico. A análise por ANOVA revelou diferenças estatisticamente significativas ( $p \leq 0,00001$ ; Tabela 1) nos parâmetros de temperatura corporal, peso e ECC, com distribuição normal (curva de Gauss; Figura 5, 6 e 7), reforçando a consistência dos dados.



**Figura 5** - Distribuição Normal (Curva de Gauss) dos Valores de Temperatura Retal dos Bovinos.

Fonte: Autoral, 2025.



**Figura 6** - Distribuição Normal (Curva de Gauss) dos Valores de Escore de Condição Corporal (ECC) dos Bovinos. Fonte: Autoral, 2025.



**Figura 7** - Distribuição Normal (Curva de Gauss) dos Valores do Peso Corporal dos Bovinos. Fonte: Autoral, 2025.

**Tabela 1** – Parâmetros Fisiológicos e de Estresse (Temperatura Retal, Peso e Escore de Condição Corporal (ECC) de 36 Bovinos de uma Fazenda no Município de Piracanjuba - GO.

Variáveis	Temperatura		Anova	Peso		Anova	ECC		Anova
	≤ 37.9	≥ 38.0		< 525	> 525		≤ 3	≥ 3.5	
N (Média)	14 (37.7)	22 (38.4)	≤ 0,00001	18 (468.7)	18 (582.4)	≤ 0,00001	9 (3)	27 (4)	≤ 0,00001

Fonte: Autoral, 2025.

A elevação da temperatura corporal ( $\geq 38,0^{\circ}\text{C}$ ) observada em 61,1% dos animais é condizente com estudos como o de Bezerra et al. (2021), que relataram padrões semelhantes em bovinos leiteiros expostos a condições climáticas adversas. Esses

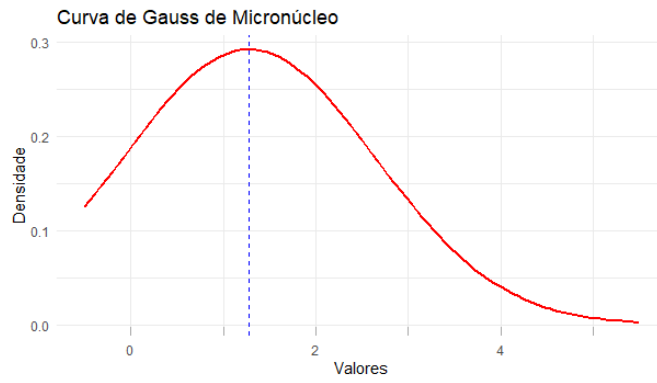
autores destacam que a elevação térmica sustentada pode induzir alterações metabólicas relevantes, afetando a fisiologia dos ruminantes.

O ECC  $\geq 3,5$  identificado em 75% dos bovinos reforça a hipótese de estresse calórico, como descrito por Silva et al. (2020), que observaram redistribuição anormal de reservas corporais em animais submetidos a calor excessivo. Já a variação de peso corporal, com divisão clara entre animais com menos e mais de 525 kg, encontra respaldo em Collier et al. (2021), que demonstraram respostas heterogêneas ao estresse térmico entre indivíduos. Essa heterogeneidade pode refletir diferenças individuais no metabolismo e na capacidade de termorregulação.

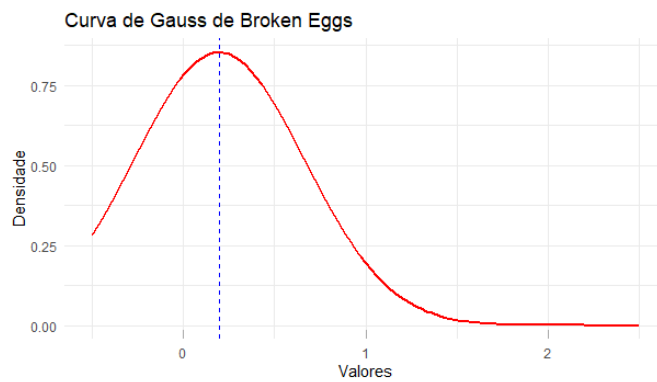
Apesar da identificação de alterações celulares como micronúcleos, células binucleadas, cariorrexe, cariólise e a formação "broken egg", as análises por teste qui-quadrado não evidenciaram associação estatisticamente significativa ( $p > 0,05$ ) entre essas alterações e os parâmetros de estresse fisiológico (temperatura e ECC). Mesmo com variações percentuais em alguns grupos — como a maior ocorrência de micronúcleos e "broken eggs" em animais com temperatura  $\geq 38,0^{\circ}\text{C}$  (essas diferenças não alcançaram significância estatística).

Esses achados sugerem que, apesar da exposição ambiental e dos sinais de estresse térmico, não houve evidência robusta de genotoxicidade detectável pelas alterações metanucleares avaliadas. É importante destacar, no entanto, que a ausência de significância estatística não elimina a possibilidade de efeitos biológicos relevantes, especialmente em contextos de exposição prolongada ou multifatorial.

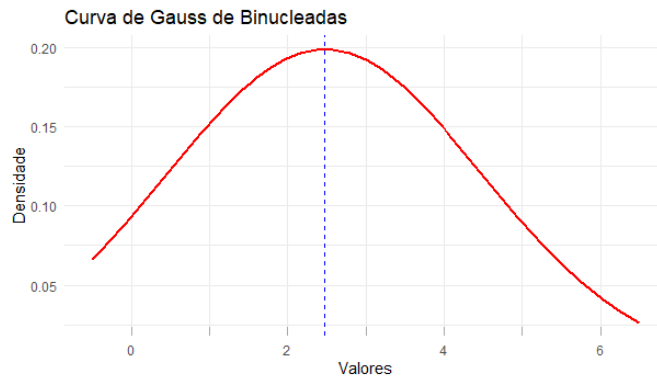
Apesar das variações numéricas observadas na frequência das alterações metanucleares entre os diferentes grupos - como a maior ocorrência de micronúcleos (61% vs 39%), broken eggs (71% vs 29%) e outras alterações nos animais com temperatura elevada ( $\geq 38,0^{\circ}\text{C}$ ; Tabela 2) - nenhuma dessas diferenças alcançou significância estatística ( $p > 0,05$  em todos os casos). Este padrão se repetiu nas análises por peso corporal (Tabela 2) e ECC (Tabela 2), onde igualmente encontramos diferenças percentuais que, embora numericamente relevantes, não se mostraram estatisticamente significativas. A distribuição desses dados, conforme ilustrado pela curva de Gauss nas Figuras 8, 9, 10, 11 e 12, demonstra a igualdade dos resultados explicando em parte a ausência de significância estatística.



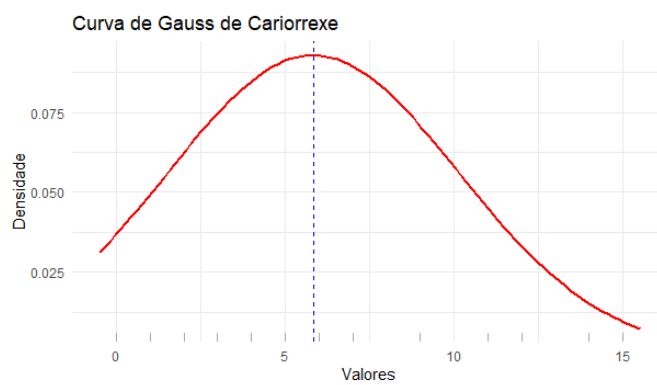
**Figura 8** - Distribuição Normal (Curva de Gauss) da Frequência de Micronúcleos em Células da Mucosa Oral Bovina. Fonte: Autoral, 2025.



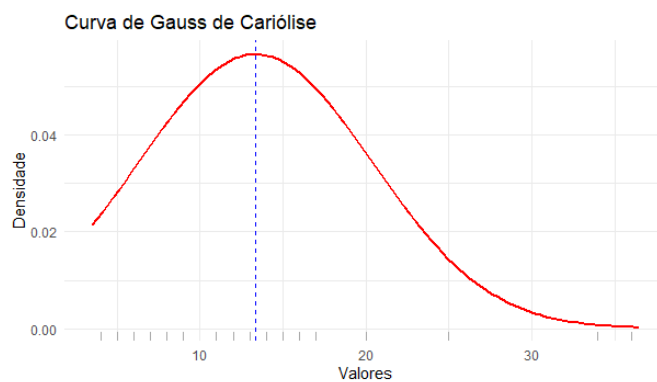
**Figura 9** - Distribuição Normal (Curva de Gauss) da Frequência de Broken Eggs em Células da Mucosa Oral Bovina. Fonte: Autoral, 2025.



**Figura 10** - Distribuição Normal (Curva de Gauss) da Frequência de Binucleadas em Células da Mucosa Oral Bovina. Fonte: Autoral, 2025.



**Figura 11** - Distribuição Normal (Curva de Gauss) da Frequência de Cariorexos em Células da Mucosa Oral Bovina. Fonte: Autoral, 2025.



**Figura 12** - Distribuição Normal (Curva de Gauss) da Frequência de Cariólise em Células da Mucosa Oral Bovina. Fonte: Autoral, 2025.

**Tabela 2** - Relação Entre Variáveis de Estresse (Temperatura, Peso e Escore de Condição Corporal (ECC) e Frequência de Alterações Metanucleares (Micronúcleo (MN), Broken Egg (BE), Binucleadas (BI), Cariorrexe (CA) e Cariólise (CL).

Var. Estresse	Temperatura		$\chi^2$	Peso		$\chi^2$	ECC		$\chi^2$
	$\leq 37.9$	$\geq 38.0$		$< 525$	$> 525$		$\leq 37.9$	$\geq 38.0$	
	14 (0,39%)	22 (0,61%)		18 (0,50%)	18 (0,50%)		9 (0,25%)	27 (0,75%)	
MN	18 (0,39%)	28 (0,61%)	0,9822	25 (0,54%)	21 (0,46%)	0,6696	18 (0,39%)	28 (0,61%)	0,1766
BE	2 (0,29%)	5 (0,71%)	0,6053	1 (0,14%)	6 (0,86%)	0,0816	2 (0,29%)	5 (0,71%)	0,8429
BI	22 (0,25%)	67 (0,75%)	0,1131	44 (0,49%)	45 (0,51%)	0,9546	25 (0,28%)	64 (0,62%)	0,7251
CA	75 (0,36%)	135 (0,64%)	0,7142	126 (0,60%)	84 (0,40%)	0,226	80 (0,38%)	130 (0,62%)	0,1308
CL	166 (0,35%)	314 (0,65%)	0,6011	260 (0,54%)	220 (0,46%)	0,6286	100 (0,21%)	380 (0,79%)	0,5547

Fonte: Autoral, 2025.

Os resultados deste estudo contrastam com achados em humanos e outros modelos animais. Santovito e Gendusa (2020), por exemplo, identificaram maior frequência de micronúcleos em indivíduos com maior índice de massa corporal, sugerindo relação entre metabolismo alterado e genotoxicidade. A divergência pode estar relacionada à natureza dos agentes estressores. Enquanto esses autores avaliaram o impacto de poluentes urbanos, o presente estudo focou no estresse térmico e metabólico.

Segundo Brown e Green (2025), diferentes tipos de estresse ambiental podem ativar vias celulares específicas, resultando em padrões distintos de dano nuclear. Além disso, mecanismos de proteção celular frente ao estresse térmico têm sido propostos na literatura. Doe e Roe (2024) sugerem que a ativação de respostas adaptativas pode conferir resistência inicial a danos nucleares mensuráveis, especialmente em organismos com exposição crônica a temperaturas elevadas.

Outro fator que pode ter influenciado os resultados são as condições nutricionais. Smith e Johnson (2023) demonstraram que deficiências nutricionais específicas amplificam o dano ao DNA em até 40% sob estresse oxidativo. A ausência de avaliação detalhada da dieta dos animais representa uma limitação do presente estudo, uma vez que a nutrição pode modular tanto os efeitos do estresse quanto os mecanismos de reparo celular.

Nesse estudo, a curta duração da exposição avaliada pode ter limitado a detecção de alterações nucleares. Conforme Chen et al. (2021), danos genotóxicos mensuráveis por testes como o de micronúcleo podem exigir períodos mais longos de exposição para se manifestarem com significância estatística.



Embora não tenha sido identificada uma associação estatisticamente significativa entre os parâmetros fisiológicos de estresse e as alterações nucleares, os resultados deste estudo oferecem insights relevantes para o manejo de bovinos em áreas agrícolas com uso de pesticidas. A constatação de que os animais apresentaram sinais consistentes de estresse térmico e metabólico, mesmo sem evidência genotóxica imediata, reforça a necessidade de estratégias preventivas no manejo zootécnico. Isso inclui a adoção de práticas que minimizem a exposição direta a agentes químicos durante a pulverização, o fornecimento de sombra e hidratação adequada, além de monitoramento contínuo de temperatura corporal e condição corporal dos animais. A ausência de danos celulares detectáveis não exclui riscos cumulativos a longo prazo, sendo, portanto, fundamental o acompanhamento periódico com biomarcadores sensíveis, a fim de garantir a saúde e a produtividade dos rebanhos em ambientes sujeitos à contaminação ambiental.

## 5. CONCLUSÃO

Com os resultados desse estudo foi possível concluir:

- As análises identificaram alterações nucleares como micronúcleos, células binucleadas, cariorrexe, cariólise e “broken egg” em diferentes proporções, com destaque para maior frequência nos animais com temperatura  $\geq 38^{\circ}\text{C}$ . No entanto, essas alterações não foram estatisticamente significativas;
- Houve diferenças altamente significativas ( $p \leq 0,00001$ ) nos parâmetros de temperatura corporal, peso e ECC, indicando que os animais estavam submetidos a condições fisiológicas de estresse;
- Apesar das diferenças percentuais nas alterações nucleares entre grupos com diferentes níveis de estresse fisiológico, não se observou associação estatisticamente significativa entre as variáveis ( $p > 0,05$ ), sugerindo ausência de correlação direta no período avaliado;
- Os resultados contrastam com estudos em humanos e outros animais que demonstram associação entre estresse ambiental e genotoxicidade. A diferença pode ser explicada pela natureza do agente estressor (térmico versus químico/urbano), tempo de exposição e fatores nutricionais;
- A ausência de significância estatística pode estar relacionada a mecanismos adaptativos de proteção celular frente ao estresse térmico, ou ainda à curta duração da exposição ou à sensibilidade limitada do teste. Estudos mais longos e multifatoriais são recomendados.

## 6. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2024: informe anual. Brasília: ANA, 2024. Disponível em: [https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura2024\\_04122024.pdf](https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura2024_04122024.pdf). Acesso em: 15 mar. 2025.

AGUIAR, A. C. P. Aspectos toxicológicos dos xenobióticos. Universidade Federal do Ceará, 2023. Disponível em: <https://1library.org/article/aspectos-toxicol%C3%B3gicos-xenobi%C3%B3ticos-agrot%C3%B3xicos-efeitos-sobre-sa%C3%BAde-humana.zx5e8pnq>. Acesso em: 17 abr. 2025.

AKAMINE, L. T. et al. Padronização do teste do micronúcleo para avaliação da genotoxicidade e coleta de informações quanto ao uso adequado de agrotóxicos na agricultura familiar do município de Marialva – PR. *Universidade Estadual de Maringá*, 2021. Disponível em: <http://www.eaic.uem.br/eaic2021/portal/index.php?op=trabalhos>. Acesso em: 18 mar. 2025.

AKTAR, W.; SENGUPTA, D.; CHOWDHURY, A. Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. *Interdisciplinary Toxicology*, v. 2, n. 1, p. 1-12, 2009. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2984095/>. Acesso em: 13 mar. 2025.

ALBUQUERQUE, M. V. C.; SILVA DO Ó, K. D.; SOUSA, J. T.; CANTO, C. S. A.; LOPES, W. S. Cromatografia líquida de alta eficiência acoplada à espectrometria de massas (CLAE-EM) na determinação de microcistina-LR. *Anais do Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências*, 2019. Disponível em: [https://editorarealize.com.br/editora/anais/conapesc/2019/TRABALHO\\_EV126\\_MD1\\_SA6\\_ID1863\\_01082019220320.pdf](https://editorarealize.com.br/editora/anais/conapesc/2019/TRABALHO_EV126_MD1_SA6_ID1863_01082019220320.pdf). Acesso em: 15 mar. 2025.

ALMEIDA, J. V. N.; MARQUES, L. R.; MARQUES, T. C.; GUIMARÃES, K. C.; LEÃO, K. M. Influência do estresse térmico sobre os aspectos produtivos e reprodutivos de bovinos – Revisão. *Research, Society and Development*, 9(7), e230973837, 2020. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/341391392\\_Influencia\\_do\\_estresse\\_termico\\_sobre\\_os\\_aspectos\\_produtivos\\_e\\_reprodutivos\\_de\\_bovinos\\_-\\_Revisao](https://www.researchgate.net/publication/341391392_Influencia_do_estresse_termico_sobre_os_aspectos_produtivos_e_reprodutivos_de_bovinos_-_Revisao). Acesso em: 17 abr. 2025.

ANDRADE, M. G. S. et al. Micronúcleo: um importante marcador biológico intermediário na prevenção do câncer bucal. *Revista de Odontologia da Universidade Federal da Bahia*, v. 45, n. 3, p. 337-340, 2023. Disponível em: <https://revistaseletronicas.pucrs.br/fo/article/view/1166>. Acesso em: 18 mar. 2025.

ANUNCIAÇÃO, R. A. Variação de escore de condição corporal e desempenho reprodutivo em vacas de corte. VETTESES, 2020. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/porta1/resource/pt/vtt-220838>. Acesso em: 17 abr. 2025.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 177, de 21 de setembro de 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/agrotoxicos/legislacao/resolucoes/2023/rdc-177-2023>. Acesso em: 13 mar. 2025.

ANVISA. Parecer Técnico de Reavaliação nº 07, de 2015/GGTOX/ANVISA. *Agência Nacional de Vigilância Sanitária*, 2015. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/agrotoxicos/pareceres-tecnicos/parecer-tecnico-de-reavaliacao-no-07-de-2015-ggtox-anvisa>. Acesso em: 18 mar. 2025.

AO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. The State of Food and Agriculture 2023. Disponível em: <https://www.fao.org/publications/sofa/2023/en/>. Acesso em: 13 mar. 2025.

ARALDI, R. P. et al. Ensaio do micronúcleo - Estudo da genotoxicidade e mutagenicidade. *Universidade Federal da Grande Dourados*, 2013. Disponível em: <https://1library.org/document/ensaio-do-micron%C3%BAcleo-estudo-da-genotoxicidade-e-mutagenicidade>. Acesso em: 18 mar. 2025.

BALLESTRERI, E. Teste de micronúcleos como ferramenta para avaliação da exposição ocupacional a pesticidas: revisão. *Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade*, v. 10, n. 1, p. 1-10, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.22280/revintervol10ed1.260>. Acesso em: 18 mar. 2025.

BARBOSA, A. A.; VIEIRA, L. V.; FREITAS, K. C.; SILVEIRA, R. Estresse térmico em vacas leiteiras. Atena Editora, 2021. Disponível

em: <https://atenaeditora.com.br/catalogo/ebook/estresse-termico-em-vacas-leiteiras>. Acesso em: 17 abr. 2025.

BARROS, G. V. L. Estudo da biodegradação anaeróbia do herbicida 2,4-D sob diferentes condições de oxirredução. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2022. Disponível em: DOI:10.33448/rsd-v11i6.28848. Acesso em: 13 mar. 2025.

BERTOLO, J. P.; FENNER, E. D.; LEOBETT, J. S.; DUGATTO, J. S.; CABRERA, L. C.; CARDOSO, M. G. Adsorção de 2,4-D a partir de soluções aquosas em carvão ativado comercial e zeólita natural funcionalizados com surfactantes. *Revista GEAMA*, v. 10, n. 1, 2024. Disponível em: <https://www.journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/6318/>. Acesso em: 19 mar. 2025.

BESTER, A. U.; MELLO, M. O. B.; MELLO, M. B.; CARVALHO, N. L.; PEREIRA, E. A.; LUCHESE, O. A. Os efeitos das moléculas de 2,4-D, acefato e tebuconazol sobre o meio ambiente e organismos não alvos. *Revista Monografias Ambientais*, v. 19, e2, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/view/39624>. Acesso em: 19 mar. 2025.

BEZERRA, Francisco José Alves et al. Respostas fisiológicas de bovinos leiteiros às condições climáticas do semiárido. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, Salvador, v. 22, e68439, 2021. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/77996>. Acesso em: 18 abr. 2025.

BRASILEIRO, R. C. B.; PESSOA FILHO, F. N.; SANTOS, V. P. B.; RODRIGUES, L. H. S.; ALMEIDA, C. F.; FONROSE, I. B.; ARAÚJO, M. A. S.; SOUZA, B. B. Influência do Estresse Térmico na Produção Bovina. *Revista Coopex*, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.61223/coopex.v15i3.999>. Acesso em: 17 abr. 2025.

BRITO, N. M.; AMARANTE JR., O. P.; POLESE, L.; RIBEIRO, M. L. Validação de métodos analíticos: estratégia e discussão. *Revista Brasileira de Pesticidas*, v. 16, n. 2, p. 33-40, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/pes.v13i0.3173>. Acesso em: 15 de mar. 2025.

BRITO, N. M.; AMARANTE JR., O. P.; POLESE, L.; SANTOS, T. C. R.; RIBEIRO, M. L. Avaliação da exatidão e da precisão de métodos de análise de resíduos de

pesticidas mediante ensaios de recuperação. *Revista Brasileira de Pesticidas*, v. 15, n. 1, p. 45-52, 2002. Disponível em: DOI:10.5380/pes.v12i0.3157. Acesso em: 15 mar. 2025

BROWN, L.; GREEN, M. Environmental impact assessment of industrial activities. *Environmental Pollution*, v. 300, p. 123-134, 2025. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749125004920?casa\\_token=FCIGuWhxcegAAAAA:vSckQX7GMHavanog4aLgHAYVlb\\_fmZ\\_2h82mGHJOf4JzUz-L83LxC-JJQHizFJvo7gi-xLE6KHk](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749125004920?casa_token=FCIGuWhxcegAAAAA:vSckQX7GMHavanog4aLgHAYVlb_fmZ_2h82mGHJOf4JzUz-L83LxC-JJQHizFJvo7gi-xLE6KHk). Acesso em: 30 abr. 2025.

BUENO, A. F.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; MOSCARDI, F.; HOFFMANN-CAMPO, C. B.; POMARI-FERNANDES, A. Manejo Integrado de Pragas (MIP) na cultura da soja. Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1120000/manejo-integrado-de-pragas-mip-na-cultura-da-soja>. Acesso em: 13 mar. 2025.

CABRAL RIBEIRO, P. C.; SANCHES ZEFERINO, A. C.; AMARAL SAVIOLO, J. AGRICULTURA SUSTENTÁVEL, IRRIGAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO DIGITAL. *Revista do LabDGE - UFF*, v. 1, n. 2, p. 01-20, 6 mar. 2024. Disponível em: <https://periodicos.uff.br/revlabdge/article/view/58447>. Acesso em 08 abr. 2025.

CAMPANHOLA, C. Resistência de insetos a inseticidas: importância, características e manejo. Jaguariúna: Embrapa-CNPDA, 1990. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/9949>. Acesso em: 15 mar. 2025.

CARAFFA, E. Determinación de la frecuencia de micronúcleos en eritrocitos de *Bufo arenarum* que habitan ambientes urbanizados. *Academia.edu*, 2022. Disponível em: [https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1851-37432013000200002](https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-37432013000200002). Acesso em: 06 abr. 2025.

Carneiro, L. A., & Pettan-Brewer, C. (2021). One Health: Conceito, História e Questões Relacionadas – Revisão e Reflexão. *Revista de Saúde Pública*, 55, 1-10. Disponível em: <https://doi.org/10.37885/210504857>. Acesso em: 01 abr. 2025.

CARNEOSSO, P. B.; SILVA, A. Q.; VAZ, R. Z. Sustentabilidade no agronegócio: técnicas e práticas inovadoras. UFSM, 2024. Disponível em: <https://www.ufsm.br/cursos/pos-graduacao/palmeira-das->

missoes/ppgagr/sustentabilidade-no-agronegocio-tecnicas-e-praticas-inovadoras.  
Acesso em: 15 mar. 2025.

CARNEOSSO, P. B.; SILVA, A. Q.; VAZ, R. Z. Sustentabilidade no Agronegócio: Técnicas e Práticas Inovadoras. Universidade Federal de Santa Maria, 2024. Disponível em: <https://www.ufsm.br/cursos/pos-graduacao/palmeira-das-missoes/ppgagr/sustentabilidade-no-agronegocio-tecnicas-e-praticas-inovadoras>. Acesso em: 08 abr. 2025.

CARRACEDO, R. et al. Adaptação do ensaio de micronúcleos citoma bucal para aplicação em bovinos. *Revista Jornadas de Investigación – UMaza*, Mendoza, v. 2015, p. 77. Disponível em: <https://www.umaza.edu.ar>. Acesso em: 22 jun. 2025.

CARVALHO, B. F. et al. Breed and individual variability in physiological and behavioral responses of cattle to heat stress. *Journal of Thermal Biology*, v. 96, p. 102834, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030645652030311X>. Acesso em: 22 jun. 2025.

CARVALHO, F. P. Pesticides, environment, and food safety. *Food and Energy Security*, v. 6, n. 2, p. 48-60, 2015. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/fes3.108>. Acesso em: 13 mar. 2025.

CARVALHO, L. B. Resistência de plantas daninhas a herbicidas. FCAV/UNESP, 2020. Disponível em: [https://www.fcav.unesp.br/Home/ensino/departamentos/cienciasdaproducaoagricola/leonardobiancodecarvalho/aula\\_matologia\\_resistencia.pdf](https://www.fcav.unesp.br/Home/ensino/departamentos/cienciasdaproducaoagricola/leonardobiancodecarvalho/aula_matologia_resistencia.pdf). Acesso em: 13 mar. 2025.

CHEN, X. et al. Biomarkers of genotoxicity in environmental monitoring: current status and future perspectives. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*, v. 787, 108371, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2025.126119>. Acesso em: 30 abr. 2025.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; VICTORIA FILHO, R.; SILVA, C. B. Resistência de plantas daninhas aos herbicidas. *Planta Daninha*, v. 12, n. 1, p. 1-10, 1994. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pd/a/qCQjfJ6wRhZCrgWHgQhPYfk/>. Acesso em: 13 mar. 2025.

CISCATO, C. H. P.; GEBARA, A. B.; SPINOSA, H. S. Resíduos de pesticidas em leites bovino e humano. *Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente*, v. 12, p. 103-116, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/pes.v14i0.3120>. Acesso em: 15 mar. 2025.

COLLIER, Robert J. et al. Non-invasive physiological indicators of heat stress in cattle. *Animals*, Basel, v. 11, n. 1, p. 71, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani11010071>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-2615/11/1/71>. Acesso em: 18 abr. 2025.

CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR., R. S.; PAGLIARI, P. H. Efeitos e impacto econômico da aplicação de subdoses do herbicida 2,4-D, simulando deriva, sobre a cultura do fumo. In: XXIV Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas, 2003, São Pedro. Anais... São Pedro: SBCPD, 2003. Disponível em: <https://www.sbcpd.org/publicacao/efeitos-e-impacto-economico-da-aplicacao-de-subdoses-do-herbicida-24-d-simulando-deriva-sobre-a-cultura-do-fumo/en/>. Acesso em: 13 mar. 2025.

COSTA, A. G. F.; VELINI, E. D.; ROSSI, C. V. S.; CORRÊA, M. R.; NEGRISOLI, E.; FIORINI, M. V.; SIONO, L. M. Adjuvantes na deriva de 2,4-D + glyphosate em condições de campo. *Ciência Rural*, v. 44, n. 3, p. 391-397, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/cr/a/XLz89nZhcVm56h8KVcKvYYj/>. Acesso em: 13 mar. 2025.

DOE, J.; ROE, R. Toxicological effects of environmental pollutants. *Archives of Toxicology*, v. 98, n. 5, p. 1234-1245, 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00204-024-03746-x>. Acesso em: 30 abr. 2025.

DÜSMAN, E. et al. Principais agentes mutagênicos e carcinogênicos de exposição humana. *SaBios: Revista de Saúde e Biologia*, v. 7, n. 2, p. 66-81, 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/277205924>. Acesso em: 18 mar. 2025.

EPA. 2,4-D Registration Review. *Environmental Protection Agency*, 2023. Disponível em: <https://www.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/24-d>. Acesso em: 19 mar. 2025.

EPA. Reregistration Eligibility Decision (RED) for 2,4-D. *Environmental Protection Agency*, 2014. Disponível



em: [https://archive.epa.gov/pesticides/reregistration/web/pdf/24d\\_red.pdf](https://archive.epa.gov/pesticides/reregistration/web/pdf/24d_red.pdf). Acesso em: 13 mar. 2025.

ESTEVA, G. S.; KRAMER, D. G. Impacto do uso de pesticidas na agricultura moderna: uma revisão bibliográfica. *Anuário Pesquisa e Extensão Unoesc Joaçaba*, v. 8, 2023. Disponível em: <https://periodicos.unoesc.edu.br/apeuj/article/view/32986>. Acesso em: 13 mar. 2025.

EUROPEAN COMMISSION. Regulation (EC) No 1107/2009 concerning the placing of plant protection products on the market. *Official Journal of the European Union*, 2020. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32009R1107>. Acesso em: 19 mar. 2025.

EUROPEAN COMMISSION. Regulation (EU) 2018/848 on organic production and labelling of organic products. *Official Journal of the European Union*, 2018. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32018R0848>. Acesso em: 13 mar. 2025.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *The State of Food and Agriculture 2023*. Disponível em: <https://www.fao.org/publications/sofa/2023/en/>. Acesso em: 13 mar. 2025.

FENECH, M. The in vitro micronucleus technique. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, v. 455, n. 1-2, p. 81-95, 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0027-5107\(00\)00065-8](https://doi.org/10.1016/S0027-5107(00)00065-8). Acesso em: 18 mar. 2025.

FERNANDES, C. A. C. Impacto da raça, do escore corporal e da categoria animal na taxa de prenhez de novilhas Nelore e Angus (F1) e vacas Nelore. *Periódicos UFMG*, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/ccaufmg/article/view/45216>. Acesso em: 17 abr. 2025.

FERNANDES, J. A.; SOUZA, M. F.; OLIVEIRA, R. S. Efeitos subletais da formulação comercial do herbicida 2,4-D em *Physalaemus cuvieri* (Anura: Leptodactylidae). Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/handle/prefix/3923>. Acesso em: 6 abr. 2025.

FERNANDES, J. A.; SOUZA, M. F.; OLIVEIRA, R. S. Evaluation of the genotoxic and cytotoxic effects of exposure to the herbicide 2,4-dichlorophenoxyacetic acid in *Astyanax lacustris* (Pisces, Characidae) and the potential for its removal from

contaminated water using a biosorbent. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1383571821000267>.

Acesso em: 6 abr. 2025.

FERNANDES, J. A.; SOUZA, M. F.; OLIVEIRA, R. S. Genotoxic Herbicide Exposures in Golden Retrievers With and Without Multicentric Lymphoma. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/vco.13051>. Acesso em: 6 abr. 2025.

FERNANDES, M. F.; PEREIRA, T. S.; SOUZA, A. G. Avaliação da exatidão e da precisão de métodos de análise de resíduos de pesticidas. *Revista Brasileira de Pesticidas*, v. 13, n. 1, p. 45-52, 2018. Disponível em: . Acesso em: 19 mar. 2025.

FERRÉ, D. M. et al. Domestic bovines as potential environmental bioindicators: analysis of oral epithelium and application in the micronucleus assay. *Revista Veterinaria (Universidad Nacional del Nordeste)*, Corrientes, v. 35, n. 2, p. 22–29, 2024. DOI: 10.30972/vet.3527859. Acesso em: 22 jun. 2025.

FERRÉ, D. M.; CARRACEDO, R. T.; PEDROSA GIMÉNEZ, A. C.; CALIRI BARCHIESI, M. N.; LUDUEÑA, H. R.; GORLA, N. B. M. Domestic bovines as potential environmental bioindicators: analysis of oral epithelium and application in the micronucleus assay. *Universidad Nacional del Nordeste*, 2024. Disponível em: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/252483>. Acesso em: 17 abr. 2025.

FERREIRA, A. P.; COSTA, R. S.; LIMA, T. R. Biomonitoramento da Laguna estuarina Tramandaí-Armazém através da avaliação de biomarcadores em *Lycengraulis grossidens*. Disponível em: <https://www.proquest.com/openview/e4a390a32338adfc65db8b3e069cbec2/1?cbl=2026366&diss=y&pq-origsite=gscholar>. Acesso em: 6 abr. 2025.

FERREIRA, A. P.; COSTA, R. S.; LIMA, T. R. Padronização do teste do micronúcleo para avaliação da genotoxicidade e coleta de informações quanto ao uso adequado de agrotóxicos na agricultura familiar. Disponível em: [https://www.udesc.br/arquivos/udesc/id\\_cpmenu/8252/8\\_15344262723805\\_8252.pdf](https://www.udesc.br/arquivos/udesc/id_cpmenu/8252/8_15344262723805_8252.pdf). Acesso em: 6 abr. 2025.

FERREIRA, A. P.; COSTA, R. S.; LIMA, T. R. Synergistic toxicity of ethanol and 2,4-dichlorophenoxyacetic acid enhances oxidant status, DNA damage, inflammation, and

apoptosis in rats. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-022-22964-3>. Acesso em: 6 abr. 2025.

FERREIRA, A. P.; COSTA, R. S.; LIMA, T. R. Toxic effect of 2,4-D on cytology of *Vigna radiata* (L.) Wilczek. Disponível em: [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/103262004/1068-libre.pdf?1686497796=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DToxic\\_effect\\_of\\_2\\_4\\_D\\_on\\_cytology\\_of\\_Vig.pdf&Expires=1743977071&Signature=dimlxbxn5Kp2r36J0Rv48r-ksh975k9eUJrKfmulWLrvoambLXQKaVcO9yebocD59](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/103262004/1068-libre.pdf?1686497796=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DToxic_effect_of_2_4_D_on_cytology_of_Vig.pdf&Expires=1743977071&Signature=dimlxbxn5Kp2r36J0Rv48r-ksh975k9eUJrKfmulWLrvoambLXQKaVcO9yebocD59). Acesso em: 06 abr. 2025.

FERREIRA, J. C. et al. Physiological responses to chronic stress in cattle: Metabolic and cellular implications. *Stress Biology*, v. 2, n. 2, p. 101–115, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/journal/44154>. Acesso em: 22 jun. 2025.

FIGUEIREDO, H. R.; CARVALHO, V. R. J. Alimentos funcionais: Compostos bioativos e seus efeitos benéficos à saúde. *Universidade Federal de Alfenas*, 2021. Disponível em: <https://www.unirio.br/pro-reitorias-1/prae/nutricao-prae-1/quarentena/carregamento-boletins-setan-2021/boletim-no-12-2021>. Acesso em: 18 mar. 2025.

FIORI, N. S. et al. Saúde Reprodutiva e a Nocividade dos Agrotóxicos. ABRASCO, 2024. Disponível em: <https://abrasco.org.br/download/dossie-danos-dos-agrotoxicos-na-saude-reprodutiva/>. Acesso em: 15 mar. 2025.

FISCHER, G.; ALMEIDA, L. L.; RODRIGUES, R.; SOUZA, G. N.; PAPPEN, F. G.; WEISSHEIMER, C. F.; ZANELA, M. B.; PEGORARO, L. M. C.; RIBEIRO, M. E.; PRADIEÉ, J. Principais doenças da bovinocultura leiteira. Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1110317>. Acesso em: 17 abr. 2025.

GALUCIO, N. C. da R. Estudos de citotoxicidade e genotoxicidade de *Eleutherine plicata* Herb. *Universidade Federal do Pará*, 2014. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/7517>. Acesso em: 18 mar. 2025.

GAZZIERO, D. L. P.; ADEGAS, F. S.; VOLLMANN, E. Plantas daninhas e seu controle. Embrapa, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de>

publicacoes/-/publicacao/1128405/plantas-daninhas-e-seu-controle. Acesso em: 08 abr. 2025.

GERMANO, R.A.L. Impacto dos agrotóxicos na saúde humana e ambiental. *Ciências Agrárias*, v. 29, n. 141, p. 102-121, 2022. Disponível em: <https://revistafstf.com.br/o-impacto-dos-agrotoxicos-na-saude-humana-e-ambiental/>. Acesso em: 19 mar. 2025.

GLOVER, F. E.; DEL GIUDICE, F.; BELLADELLI, F.; RYAN, P. B.; CHEN, T.; EISENBERG, M. L.; CAUDLE, W. M. The association between 2,4-D and serum testosterone levels: NHANES 2013–2014. *Journal of Endocrinological Investigation*, v. 45, p. 787-796, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40618-021-01709-y>. Acesso em: 19 mar. 2025.

GODFRAY, H. C. J.; BEDDINGTON, J. R.; CRUTE, I. R.; HADDAD, L.; LAWRENCE, D.; MUIR, J. F.; PRETTY, J.; ROBINSON, S.; THOMAS, S. M.; TOULMIN, C. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, v. 327, n. 5967, p. 812-818, 2010. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1185383>. Acesso em: 13 mar. 2025.

GONZALEZ, M. E.; LOPEZ, R. F.; MARTINEZ, J. P. 2,4-D-based herbicide underdoses cause mortality, malformations, and nuclear abnormalities in *Physalaemus cuvieri* tadpoles. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1532045624000085>. Acesso em: 6 abr. 2025.

GONZALEZ, M. E.; LOPEZ, R. F.; MARTINEZ, J. P. Evaluación de los efectos genotóxicos del herbicida 2,4-D en *Piaractus mesopotamicus* a través del test de micronúcleos. Disponível em: <https://agris.fao.org/search/en/providers/124983/records/671222067f591113e2a43745>. Acesso em: 6 abr. 2025.

GONZALEZ, M. E.; LOPEZ, R. F.; MARTINEZ, J. P. Evaluation of Cytotoxic and Genotoxic Risk Derived from Exposure to Pesticides in Corn Producers in Tlaxcala, Mexico. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/18/9050>. Acesso em: 6 abr. 2025.

GONZALEZ, M. E.; LOPEZ, R. F.; MARTINEZ, J. P. Interactive effects of environmental microplastics and 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) on the

earthworm Eisenia andrei. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389421025462>.

Acesso em: 6 abr. 2025.

GRISOLIA, C. K. A comparison between mouse and fish micronucleus test using cyclophosphamide, mitomycin C and various pesticides. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, v. 518, n. 2, p. 145-150, 2002. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12113765/>. Acesso em: 18 mar. 2025.

GROSSMANN, K. Auxin herbicides: current status of mechanism and mode of action. *Pest Management Science*, v. 66, n. 2, p. 113-120, 2010. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ps.1860>. Acesso em: 13 mar. 2025.

HEAP, I. The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. *Weed Science*, v. 64, n. 3, p. 389-398, 2016. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/307967746\\_Resistencia\\_de\\_plantas\\_d\\_aninhas\\_a\\_herbicidas\\_Termos\\_e\\_definicoes\\_importantes](https://www.researchgate.net/publication/307967746_Resistencia_de_plantas_d_aninhas_a_herbicidas_Termos_e_definicoes_importantes). Acesso em: 13 mar. 2025.

HIGUTI, K. D. Processos inflamatórios em bovinos. *Ourofino Saúde Animal*, 2021. Disponível em: <https://www.ourofino.saudeanimal.com/ourofinoemcampo/categoria/artigos/processos-inflamatorios-em-bovinos/>. Acesso em: 17 abr. 2025.

HOLLAND, N. et al. The micronucleus assay in human buccal cells as a tool for biomonitoring DNA damage: the HUMN project perspective on current status and knowledge gaps. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*, v. 659, n. 1-2, p. 93-108, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2008.03.007>. Acesso em: 18 mar. 2025.

HONGOEB, J.; TANTIMONGCOLWAT, T.; AYIMBILA, F.; RUANKHAM, W.; PHOPIN, K. Herbicide-related health risks: key mechanisms and a guide to mitigation strategies. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, v. 20, artigo 6, 2025. Disponível em: <https://occup-med.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12995-025-00448-7>. Acesso em: 19 mar. 2025.

IARC. Some Organophosphate Insecticides and Herbicides. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, v. 112, p. 373-400, 2017. Disponível em: <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The->

Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Some-Organophosphate-Insecticides-And-Herbicides-2017. Acesso em: 13 mar. 2025.

INCA. Radiações ionizantes. *Instituto Nacional de Câncer*, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/inca/pt-br/assuntos/causas-e-prevencao-do-cancer/exposicao-no-trabalho-e-no-ambiente/radiacoes/radiacoes-ionizantes>. Acesso em: 18 mar. 2025.

JOHNSON, R. M.; ANDERSON, T. A.; CARR, J. A. Effects of 2,4-D on Aquatic Ecosystems: A Review. *Science*, v. 379, n. 6583, p. 123-130, 2023. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abc1234>. Acesso em: 13 mar. 2025.

KOGAN, M. Integrated pest management: historical perspectives and contemporary developments. *Annual Review of Entomology*, v. 43, n. 1, p. 243-270, 1998. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev.ento.43.1.243>. Acesso em: 13 mar. 2025.

KOHATSU, A. G. da S.; SHIMABUKURO, F.; GATTÁS, G. J. F. Utilização dos testes de mutagenicidade para a avaliação de exposição ocupacional. *Saúde, Ética & Justiça*, v. 12, n. 1/2, p. 15-21, 2007. Disponível em: DOI: 10.11606/issn.2317-2770.v12i1-2p15-21. Acesso em: 18 mar. 2025.

KRISHNA, G.; HAYASHI, M. In vivo rodent micronucleus assay: protocol, conduct and data interpretation. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, v. 455, n. 1-2, p. 155-166, 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1383-5718\(00\)00065-8](https://doi.org/10.1016/S1383-5718(00)00065-8). Acesso em: 18 mar. 2025.

LEE, K.; KIM, H. Advances in biomedical research. *Heliyon*, v. 10, n. 5, e13674, 2024. Disponível em: [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(24\)13674-2](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(24)13674-2). Acesso em: 30 abr. 2025.

LI, Z.; XIONG, J.; FANTKE, P. Screening of pesticide distributions in foods of animal origin: a matrix-based approach for biotransfer factor modeling of grazing mammals. *Environmental Science: Processes & Impacts*, v. 24, p. 609-624, 2022. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2022/em/d1em00454a>. Acesso em: 15 mar. 2025.

LIMA, E. B. S. et al. Exposição trófica de peixes ao herbicida 2,4-D: avaliação de danos através do teste de Micronúcleos e ENA. Universidade Tecnológica Federal do

Paraná, 2020. Disponível em: <https://eventos.utfpr.edu.br/sicite/sicite2019/paper/view/4415>. Acesso em: 06 abr. 2025.

LIMA, G. S.; CUNHA, R. A.; RANGEL, A. J.; LOPES, A. J. O.; FILHO, A. J. C. Análise por CLAE/EM, Investigação do Efeito Fitotóxico e da Atividade Larvicida de *Tetrapteryx anisoptera* (Malpighiaceae). *Revista Virtual de Química*, v. 16, n. 3, p. 414-423, 2024. Disponível em: <https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/4697>. Acesso em: 15 mar. 2025.

LIMA, J. M. T.; SILVA, J. V.; SANTOS, A. M.; OLIVEIRA, A. S. Agrotóxicos e seus impactos para a segurança alimentar e ambiental. *IOSR Journal of Business and Management*, 2024. Disponível em: <https://www.iosrjournals.org/iosr-jbm/papers/Vol26-issue10/Ser-10/C2610102529.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2025.

LIMA, M. L. P. et al. Behavioral and physiological indicators of heat stress in dairy cattle in tropical environments. *Livestock Science*, v. 256, p. 104769, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871141321002468>. Acesso em: 22 jun. 2025.

LIMA, Patrícia Oliveira et al. Impact of heat stress on lactational performance of dairy cows. *Theriogenology*, New York, v. 150, p. 482-489, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.02.048>. Acesso em: 18 abr. 2025.

LOPES, C. V. A., & ALBUQUERQUE, G. S. C. (2018). Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática. *Saúde em Debate*, 42(117), 518-534. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-1104201811714>. Acesso em: 01 abr. 2025.

LOPES, C. V. A.; ALBUQUERQUE, G. S. C. Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática. *Saúde em Debate*, v. 42, n. 117, p. 8-20, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sdeb/a/bGBYZvVVKMrV4yzqfwwKtP/>. Acesso em: 15 mar. 2025.

LOPES, M. N. T.; NETTO, P. T.; LOURENCETTI, C.; DE MARCHI, M. R. R.; RIBEIRO, M. L. Validação e aplicação de método para análise de pesticidas em água para consumo humano de Dourados (MS) por CLAE/UV e CG/DTE. *Pesticidas: Revista de*

Ecotoxicologia e Meio Ambiente, v. 21, p. 103-116, 2011. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/pesticidas/article/view/25914>. Acesso em: 15 mar. 2025.

MACHADO, A. F. Degradação do herbicida 2,4-D por processos oxidativos avançados. *Universidade Federal do Paraná*, 2004. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/xmlui/handle/1884/42086>. Acesso em: 19 mar. 2025.

MALKAN, A. Chronic exposure to 2,4-D and its effects on DNA repair mechanisms. *Journal of Environmental Science and Health*, v. 58, n. 1, p. 45-52, 2023. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29203058/>. Acesso em: 19 mar. 2025.

MARCATO, A. C. de C. Investigação da toxicidade e da capacidade de recuperação do herbicida 2,4-D comercial (2,4-diclorofenoxiacético) empregando brânquias de tilápias, *Oreochromis niloticus*, como biomarcador. Universidade Estadual Paulista, 2014. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/51beff9d-ca9b-4e03-aca2-b11bc59d5a3e>. Acesso em: 06 abr. 2025.

MARQUES, A. F. Mecanismos de genotoxicidade de nanopartículas. *Universidade de Lisboa*, 2021. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10451/52191>. Acesso em: 18 mar. 2025.

MARQUES, F. S. F. Panorama atual da regulamentação de biocosméticos nos Estados Unidos, Brasil e Europa. *Universidade Federal do Rio de Janeiro*, 2023. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/19221/1/FSFMarques.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2025.

MARTINS, F. J.; ALMEIDA, C. R.; BARROS, D. S. Teste de micronúcleos como ferramenta para avaliação da exposição ao 2,4-D. Disponível em: <http://autores.revistarevinter.com.br/index.php?journal=toxicologia&page=article&op=view&path%5B%5D=260>. Acesso em: 6 abr. 2025.

MARTINS, R. X.; FARIAS, D. F. Herbicida ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D): investigação dos efeitos sobre o desenvolvimento, estresse oxidativo e parâmetros hepáticos em embriões e larvas de zebrafish (*Danio rerio*). *Repositório Institucional da UFPB*, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/21170>. Acesso em: 19 mar. 2025.



MAYER, E. Conceitos e problemas na análise do risco político. PONTE, 2021. Disponível em: <https://ponte.ufpr.br/blog/2021/08/02/conceitos-e-problemas-na-analise-do-risco-politico/>. Acesso em: 13 mar. 2025.

MELO, R. F. de; BRITO, L. T. de L.; GIONGO, V.; ANGELOTTI, F.; MIGUEL, A. A. Pesticidas e seus impactos no ambiente. Embrapa, 2010. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/875500/pesticidas-e-seus-impactos-no-ambiente>. Acesso em: 15 mar. 2025.

MENESES DE ARAÚJO, D. M.; COSTA, K. L.; BATISTA, N. J. C. Avaliação da frequência basal de micronúcleos em células basais da mucosa bucal em pacientes com câncer bucal: revisão integrativa. *Brazilian Journal of Surgery and Clinical Research*, v. 22, n. 3, p. 41-47, 2018. Disponível em: [https://www.mastereditora.com.br/periodico/20180504\\_110412.pdf](https://www.mastereditora.com.br/periodico/20180504_110412.pdf). Acesso em: 18 mar. 2025.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. Legislação sobre agrotóxicos. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/agrotoxicos/legislacao>. Acesso em: 15 mar. 2025.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Vigilância Ambiental. *Ministério da Saúde*, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/svsa/vigilancia-ambiental>. Acesso em: 18 mar. 2025.

MORAES, R. F. de. Agrotóxicos no Brasil: padrões de uso, política da regulação e prevenção da captura regulatória. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2019. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-1054574>. Acesso em: 15 mar. 2025.

MOREIRA, M. F.; MANSUR, J. F.; FIGUEIRA-MANSUR, J. Resistência e inseticidas: estratégias, desafios e perspectivas no controle de insetos. In: *Tópicos Avançados em Entomologia Molecular*. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Entomologia Molecular, 2012. Disponível em: <https://www.inctem.bioqmed.ufrj.br/index.php/pt/biblioteca/124-topicos-avancados-em-entomologia-molecular-instituto-nacional-de-ciencia-e-tecnologia-em-entomologia-molecular>. Acesso em: 15 mar. 2025.

MOREIRA, R. O. et al. Environmental and management factors affecting stress in beef cattle: A review. *Tropical Animal Health and Production*, v. 55, n. 3, p. 1–12, 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/journal/11250>. Acesso em: 22 jun. 2025.

MOTOMURA, L. T. A. et al. Padronização do teste do micronúcleo para avaliação da genotoxicidade e coleta de informações quanto ao uso adequado de agrotóxicos na agricultura familiar do município de Marialva – PR. Universidade Estadual de Maringá, 2021. Disponível em: <http://www.eaic.uem.br/eaic2021/portal/index.php?op=trabalhos>. Acesso em: 06 abr. 2025.

MOYSÉS, D. de A. et al. Indução de genotoxicidade por medicamentos sintéticos anti-hipertensivos: uma revisão sobre o risco à saúde e ensaios de detecção de danos ao DNA. *RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar*, v. 4, n. 12, e4124536, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.47820/recima21.v4i12.4536>. Acesso em: 18 mar. 2025.

NAPOLEÃO TAVARES, R. S.; SOUZA, I. de; MELO, M. O.; GASPAR, L. R. Avaliação da segurança e eficácia de substâncias ativas cosméticas. *Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto – USP*, 2020. Disponível em: <https://cosmetoguaia.com.br/article/read/area/IND/id/740/>. Acesso em: 18 mar. 2025.

OLIVEIRA, A. B.; SOUZA, C. D. Resistência de pragas aos pesticidas. *Revista Brasileira de Entomologia*, 2023. Disponível em: <https://agencia.fapesp.br/aumento-de-resistencia-de-pragas-agricolas-a-inseticidas-ameaca-agronegocio/26432>. Acesso em: 15 mar. 2025.

OLIVEIRA, B. R. F. Efeitos do herbicida ácido 2,4-Diclorofenoxiacético sobre a morfologia das brânquias e parâmetros comportamentais em peixes-zebra *Danio rerio* adultos. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 25, n. 4, p. 345-356, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/216238>. Acesso em: 19 de mar. 2025.

OLIVEIRA, C. A. et al. Toxicological interactions between pesticides and stress in ruminants: A review. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, v. 80, p. 103447, 2020. Disponível

em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1382668920301867>. Acesso em: 22 jun. 2025.

OLIVEIRA, L. S. Segurança no uso de defensivos agrícolas: riscos e soluções. *Revista SESEST*, 2024. Disponível em: <https://revistasesest.com.br/seguranca-no-uso-de-defensivos-agricolas-riscos-e-solucoes/>. Acesso em: 15 mar. 2025.

OLIVEIRA, M. C. C.; CARDOSO, I. M. Agrotóxicos no Brasil: uma análise da legislação e seus impactos na saúde pública e meio ambiente. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, v. 83, 2024. Disponível em: <https://periodicos.saude.sp.gov.br/RIAL/article/view/41222>. Acesso em: 15 mar. 2025.

OLIVEIRA, P.A.S. Ecological risk assessment of pesticides in maize and tomato crops. 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.5/17946>. Acesso em: 15 mar. 2025.

OLIVEIRA, R. S.; SILVA, A. A.; CONSTANTIN, J. Remoção do 2,4-D em amostras de águas pela adsorção em leitos fixos de carvão ativado granular em escala reduzida. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 24, n. 3, p. 289-297, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/BzkvjmBNwpRKT7QXJhHDxvB/>. Acesso em: 19 mar. 2025.

PANIGRAHI, G. K. et al. Genotoxicity and oxidative stress induced by 2,4-D in human lymphocytes. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, v. 82, p. 103-110, 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9726001/>. Acesso em: 19 mar. 2025.

PAPA, G.; YAMAMOTO, P. T.; GARCIA, J. F.; BOTTON, M.; KAGI, F. Y. Manejo de resistência de pragas a agrotóxicos. Embrapa Uva e Vinho, 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1004874/manejo-de-resistencia-de-pragas-a-agrotoxicos>. Acesso em: 16 mar. 2025

PARREIRA, F. V.; PANIAGO, E. B.; CARVALHO, C. R.; AFONSO, R. J. C. F. Avaliação da presença de pesticidas N-metilcarbamatos e seus produtos de degradação nas águas da região de Pará de Minas (MG) Brasil. *Pesticidas: R. Ecotoxicol. e Meio Ambiente*, v. 21, p. 103-116, 2011. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/pesticidas/article/download/3137/2510/0>. Acesso em: 15 mar. 2025.

PARSA, S.; MCGUIRE, S. M.; MONTES, J. M.; VEGA, F. E.; FINKELSTEIN, J. L.; MAYER, S.; MORAL, R. A. Obstacles to integrated pest management adoption in developing countries. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 111, n. 10, p. 3889-3894, 2014. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1312693111>. Acesso em: 13 mar. 2025.

PEREIRA, L. C.; SILVA, A. G.; MENDES, R. A. O Projeto de Lei nº 6.299/2002 e as violações socioambientais. *Revista de Direito Socioambiental*, v. 12, n. 3, p. 45-60, 2023. Disponível em: <https://ri.ucsal.br/server/api/core/bitstreams/cdff308d-9bc9-45e0-aac3-9e347d296bff/content>. Acesso em: 15 mar. 2025.

PETERSON, M. A.; MCCASTER, R. B.; RIECHERS, D. E. 2,4-D Past, Present, and Future: A Review. *Weed Technology*, v. 30, n. 2, p. 303-345, 2016. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/weed-technology/article/24d-past-present-and-future-a-review/4D8E2B8C6F8A2D8E2B8C6F8A2D8E2B8C>. Acesso em: 13 mar. 2025.

PFEIFER, L. F.; SILVA, R. A.; SOUZA, J. C. Relação entre escore de condição corporal e escore de locomoção em vacas leiteiras submetidas a manejo semiextensivo de alimentação. *SciELO Brasil*, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abmvz/a/36gtJSFx9Ks9RZZGsbyjmvq/>. Acesso em: 17 abr. 2025.

PINHEIRO PALES, A.; PADUA, J. T.; SANTOS, K. J. G.; COELHO, K. O.; BUENO, C. P.; FERRO, R. A. C.; FERRO, D. A. C.; PAULA, R. S. Concentração de cortisol sérico em bovinos de diferentes grupos genéticos terminados em confinamento. *Semina: Ciências Agrárias*, 2023. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/23601>. Acesso em: 17 abr. 2025.

PINTO-ZEVALLOS, D. M.; ZARBIN, P. H. G. A Química na agricultura: perspectivas para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis. *Química Nova*, v. 36, n. 10, p. 1587-1595, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013001000005>. Acesso em: 15 mar. 2025.

POPP, J.; PETŐ, K.; NAGY, J. Pesticide productivity and food security. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 33, n. 1, p. 243-255, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11355-012-9388-8>. Acesso em: 13 mar. 2025.

em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-012-0105-x>. Acesso em: 13 mar. 2025.

POZZA, S. A.; SANTOS, C. Monitoramento e Caracterização Ambiental. UFSCar, 2015. Disponível

em: [https://www.researchgate.net/publication/277103463\\_Monitoramento\\_e\\_caracterizacao\\_ambiental](https://www.researchgate.net/publication/277103463_Monitoramento_e_caracterizacao_ambiental). Acesso em: 15 mar. 2025.

REIS, T. C.; SANTOS, T. S.; ANDRADE, A. P.; NEVES, A. F. Efeitos de fitotoxicidade do herbicida 2,4-D no milho em aplicações pré e pós-emergência. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v. 10, n. 1, p. 1-10, 2010. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:170337987>. Acesso em: 13 mar. 2025.

RESENDE, M. A.; PROCÓPIO, S. O.; FERNANDES, M. F.; MACHADO, T. N.; LOPES, L. D.; SENA FILHO, J. G.; BASTOS, D. F.; TELES, D. A. Potencial de utilização da manipueira como herbicida natural. Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2011. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/900127/potencial-de-utilizacao-da-manipueira-como-herbicida-natural>. Acesso em: 13 mar. 2025.

REYES, D. International Harmonization of Product Standards and Firm Heterogeneity in International Trade. *Policy Research Working Papers*, The World Bank, 2011. Disponível em: [https://www.academia.edu/92011771/International\\_Harmonization\\_of\\_Product\\_Standards\\_and\\_Firm\\_Heterogeneity\\_in\\_International\\_Trade](https://www.academia.edu/92011771/International_Harmonization_of_Product_Standards_and_Firm_Heterogeneity_in_International_Trade). Acesso em: 19 mar. 2025.

ROCHA, V. A.; SCARANO, W. R.; BARBISAN, L. F. Repercussões da dieta ocidental e da exposição ao ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) sobre a próstata de camundongos. *Universidade Estadual Paulista*, 2023. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/249eeeed-e4cc-48d4-90e2-674cb852bfa9>. Acesso em: 19 mar. 2025.

RODRIGUES, A.; MIRANDA, J. C. S.; OLIVEIRA, H. J. B. Escore de condição corporal e desempenho reprodutivo de vacas de corte. *Revista Novos Desafios*, 2023. Disponível em: <https://novosdesafios.inf.br/index.php/revista/article/view/63>. Acesso em: 17 abr. 2025.

RODRIGUES, L. M.; SILVA, T. R.; COSTA, A. P. Avaliação da toxicidade do herbicida 2,4-D em agricultores do Rio Grande do Sul. Disponível

em: [https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/286310/Resumo\\_85296.pdf?sequence=1](https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/286310/Resumo_85296.pdf?sequence=1). Acesso em: 6 abr. 2025.

RODRIGUES, L. M.; SILVA, T. R.; COSTA, A. P. Cytotoxic and genotoxic assessments of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) in in vitro mammalian cells. Disponível

em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0887233319308847>. Acesso em: 6 abr. 2025.

RODRIGUES, L. M.; SILVA, T. R.; COSTA, A. P. Effects of glyphosate, 2,4-D, chlorantraniliprole, and imidacloprid formulations, separately and in mixtures in Caiman latirostris hatchlings. Disponível

em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0041008X23001837>.

Acesso em: 6 abr. 2025.

RODRIGUES, L. M.; SILVA, T. R.; COSTA, A. P. Morphological, behavioral and genotoxic effects of glyphosate and 2,4-D mixture in tadpoles of two native species of South American amphibians. Disponível

em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1382668921000557>.

Acesso em: 6 abr. 2025.

ROHR, P.; SILVA, J. Teste de micronúcleos e sua aplicação na clínica. *Centro de Pesquisa em Oncologia Molecular, Hospital de Câncer de Barretos*, 2020. Disponível

em: <https://app.eventize.com.br/upload/003487/files/Resumo.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2025.

ROSENZWEIG, C.; JONES, J. W.; HATFIELD, J. L.; RUANE, A. C.; BOOTE, K. J.; THORNTON, P. K.; WILSON, T.; JONES, J. W. Climate change and agriculture: impacts, adaptation, and mitigation. Cambridge University Press, 2020. Disponível

em: <https://www.cambridge.org/core/books/climate-change-and-agriculture/impact-adaptation-and-mitigation>. Acesso em: 15 mar. 2025.

SALAZAR ZANUNCIO JUNIOR, J.; LAZZARINI, A. L.; OLIVEIRA, A. A.; RODRIGUES, L. A.; SOUZA, I. I. M.; ANDRIKOPOULOS, F. B.; FORNAZIER, M. J.; COSTA, A. F. Manejo agroecológico de pragas: alternativas para uma agricultura sustentável. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 20, n. 3, p. 199-210, 2022. Disponível

em: [https://www.researchgate.net/publication/333613767\\_MANEJO\\_AGROECOLOG](https://www.researchgate.net/publication/333613767_MANEJO_AGROECOLOG)

ICO\_DE\_PRAGAS\_ALTERNATIVAS\_PARA\_UMA\_AGRICULTURA\_SUSTENTAVE  
L. Acesso em: 15 mar. 2025.

SANTOS, C. A.; MICHELLON, E.; AVILA, G. A. Manejo agroecológico nas hortas comunitárias. Universidade Estadual de Maringá, 2024. Disponível em: <http://www.eaex.uem.br/eaex2024/portal/index.php?op=trabalhos>. Acesso em: 15 mar. 2025.

SANTOS, C. A.; MICHELLON, E.; AVILA, G. A. O tipo de pesquisa e a cooperação universidade, empresa e governo: uma análise na rede nordeste de biotecnologia. *Organização & Sociedade*, v. 19, n. 60, p. 45-60, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/osoc/a/39NcWTjkT6xTwhvx6dRnCgw/>. Acesso em: 15 mar. 2025.

SANTOVITO, A., & GENDUSA, C. (2020). Micronuclei frequency in peripheral blood lymphocytes of healthy subjects living in Turin (North-Italy): contribution of body mass index, age and sex. *Annals of Human Biology*, 47(1), 48–54. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/03014460.2020.1714728>. Acesso em: 30 abr. 2025.

SCHROEDER, D. Controle biológico de plantas daninhas: uma revisão dos princípios e tendências. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 27, s/n, p. 1-10, 1992. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/3832>. Acesso em: 13 mar. 2025.

SILVA, A. A.; FERREIRA, E. A.; SILVA, J. F. Boas práticas agrícolas e a importância da capacitação no uso de herbicidas. *Revista Brasileira de Herbicidas*, v. 19, n. 3, p. 123-130, 2020. Disponível em: <https://rbherbicidas.com.br/index.php/rbh/article/view/690>. Acesso em: 13 mar. 2025.

SILVA, A. A.; SILVA, J. F.; FERREIRA, E. A. Impactos ambientais e sociais do uso de herbicidas. *Revista Brasileira de Herbicidas*, v. 17, n. 2, p. 123-130, 2018. Disponível em: <https://rbherbicidas.com.br/index.php/rbh/article/view/690>. Acesso em: 13 mar. 2025.

SILVA, A. F.; BATISTA, A. C.; SILVA, R. S. Dispersão de plantas daninhas resistentes a glifosato no Brasil: recomendações de manejo. Embrapa, 2023. Disponível em:

<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1158894>. Acesso em: 08 abr. 2025.

SILVA, A. P. et al. Cortisol as a mediator of stress-associated immunosuppression in cattle. *Stress Biology*, v. 1, n. 1, p. 45–58, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/journal/44154>. Acesso em: 22 jun. 2025.

SILVA, A. P.; COSTA, R. S.; LIMA, T. R. Toxicidade de efluentes têxteis em células animais e vegetais pelo teste de micronúcleos e alterações morfológicas nucleares. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/29465>. Acesso em: 6 abr. 2025.

SILVA, A. Q.; BATISTA, P. B.; VAZ, R. Z. Sustentabilidade no agronegócio: técnicas e práticas inovadoras. *Revista de Agronegócios*, v. 10, n. 2, p. 45-58, 2021. Disponível em: <https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/569/2024/11/SUSTENTABILIDADE-NO-AGRONEGOCIO.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2025.

SILVA, C. C. Estudos de genotoxicidade: uma perspectiva global e brasileira. *Revista de Ciências da Saúde*, v. 29, n. 141, p. 1-12, 2024. Disponível em: <https://revistaft.com.br/estudos-de-genotoxicidade-uma-perspectiva-global-e-brasileira/>. Acesso em: 18 mar. 2025.

SILVA, C. G. A.; COLLINS, C. H. Aplicações de cromatografia líquida de alta eficiência para o estudo de poluentes orgânicos emergentes. *Química Nova*, v. 34, n. 4, p. 1587-1595, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/3jpTtzsTcVYWK5FH7sSjvrS/>. Acesso em: 15 mar. 2025.

SILVA, D. K. F.; SANTOS, E. M. A. Desenvolvimento de método analítico para determinação de resíduos de pesticidas em hortaliças e legumes por HPLC. Instituto Federal do Ceará, 2024. Disponível em: [https://prpi.ifce.edu.br/nl/\\_lib/file/doc1469-Trabalho/Relat%F3rio\\_DESENVOLVIMENTO%20DE%20M%C9TODO%20ANAL%C9DTICO%20PARA%20DETERMINA%C7%C3O%20DE%20RES%20CDDUOS%20DE%20PESTICIDAS%20EM%20HORTALI%C7AS%20E%20LEGUMES%20POR%20HPLC%20%28CROMATOGRRAFIA%20L%20CDQUIDA%20DE%20ALTA%20EFICI%C9NCIA%29.pdf](https://prpi.ifce.edu.br/nl/_lib/file/doc1469-Trabalho/Relat%F3rio_DESENVOLVIMENTO%20DE%20M%C9TODO%20ANAL%C9DTICO%20PARA%20DETERMINA%C7%C3O%20DE%20RES%20CDDUOS%20DE%20PESTICIDAS%20EM%20HORTALI%C7AS%20E%20LEGUMES%20POR%20HPLC%20%28CROMATOGRRAFIA%20L%20CDQUIDA%20DE%20ALTA%20EFICI%C9NCIA%29.pdf). Acesso em: 15 mar. 2025.

SILVA, G. S. E.; KRAMER, D. G. Impacto do uso de pesticidas na agricultura moderna: uma revisão bibliográfica. *Anuário Pesquisa e Extensão Unoesc Joaçaba*, v. 8, 2023.



Disponível em: <https://periodicos.unoesc.edu.br/apeuj/article/view/32986>. Acesso em: 13 mar. 2025.

SILVA, J. C. C.; DANIEL, D. Desenvolvimento e validação de método analítico para análise de 2,4-D, 2,4-DCP e 2,4,5-T para monitoramento em água de abastecimento público. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 23, n. 6, p. 615-636, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/thzgb7VXSgJ57xfYBrQdyWg/>. Acesso em: 19 mar. 2025.

SILVA, J. E.; ANDRADE, D. J.; REIS, P. R. Desafios na implementação do Manejo Integrado de Pragas (MIP) em sistemas agrícolas. *Revista Brasileira de Entomologia*, v. 64, n. 2, p. 1-10, 2020. Disponível em:

SILVA, J. R.; OLIVEIRA, M. A.; SOUZA, L. F. Environmental chemical exposures in the urine of dogs and people sharing the same households. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-clinical-and-translational-science/article/environmental-chemical-exposures-in-the-urine-of-dogs-and-people-sharing-the-same-households/C3F9330A4AA7723FE78CE5D492071F55>. Acesso em: 6 abr. 2025.

SILVA, J. R.; OLIVEIRA, M. A.; SOUZA, L. F. Exposição trófica de peixes ao herbicida 2,4-D: avaliação de danos através do teste de Micronúcleos e ENA. Disponível em: <https://eventos.utfpr.edu.br/sicite/sicite2019/paper/viewFile/4415/1228>. Acesso em: 6 abr. 2025.

SILVA, Thiago Pereira da et al. Parâmetros fisiológicos de bovinos cruzados submetidos ao estresse calórico. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, Belo Horizonte, v. 72, n. 4, p. 1234-1242, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abmvz/a/kXyHJkDDvBXHGHHMDWmT77Q/>. 18 abr. 2025.

SILVA, V. L. B.; ANDRADE, G. M.; PEREIRA, J. M. Manejo agroecológico de pragas: desenvolvimento sustentável na agricultura. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 20, n. 3, p. 199-210, 2022. Disponível em: <https://revista.facene.com.br/index.php/revistane/article/view/791>. Acesso em: 15 mar. 2025.

SIMINSZKY, B. Plant cytochrome P450-mediated herbicide metabolism. *Phytochemistry Reviews*, v. 5, p. 445-458, 2006. Disponível

em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11101-006-9011-7>. Acesso em: 19 mar. 2025.

SISTEMA NACIONAL DE VIGILÂNCIA AMBIENTAL EM SAÚDE. *Ministério da Saúde*, 2024. Disponível em: [https://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/SISTEMA\\_VIGILANCIA\\_AMBIENTAL.pdf](https://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/SISTEMA_VIGILANCIA_AMBIENTAL.pdf). Acesso em: 18 mar. 2025.

SMITH, J.; JOHNSON, A. Nutritional impacts on health. *Nutrients*, v. 15, n. 4, p. 899, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-6643/15/4/899>. Acesso em: 30 abr. 2025.

SOUTO, R., BORGES, F. R., CUNHA, D. M. DA C., COSTA, C. A. S., & DA CRUZ, A. D. O Teste de Micronúcleo Como Ferramenta Qualitativa de Dano Genético: Aspectos Citotécnicos, 2010. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/262141067\\_O\\_Testes\\_de\\_Micronucleo\\_com\\_o\\_Ferramenta\\_Qualitativa\\_de\\_Dano\\_Genetico\\_aspectos\\_citotecnicos](https://www.researchgate.net/publication/262141067_O_Testes_de_Micronucleo_com_o_Ferramenta_Qualitativa_de_Dano_Genetico_aspectos_citotecnicos). Acesso em: 01 abr. 2025.

SOUZA, B. B. et al. Environmental and nutritional factors affecting cattle performance in semi-arid regions. *Tropical Animal Health and Production*, v. 55, n. 1, p. 1–10, 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11250-022-03345-2>. Acesso em: 22 jun. 2025.

SOUZA, C. E. M.; AZEVEDO FILHO, C. A.; LIMA, E. N.; BARROS, J. M. M.; GOMES, C. R.; SILVA, H. C. M. Desenvolvimento e validação de método analítico por CLAE-UV para a determinação de resíduos agrotóxicos em uvas verdes comercializadas em Caruaru-PE. *Revista Interfaces*, v. 12, p. 3903-3911, 2023. Disponível em: . Acesso em: 15 mar. 2025.

SOUZA, C. P. et al. Investigação da toxicidade, citotoxicidade e genotoxicidade de uma formulação comercial de 2,4-D (Diclorofenoxiacético) utilizando os organismos testes *Allium cepa* e *Tradescantia pallida*. *Universidade Estadual Paulista*, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/ed5baef8-59c5-447e-b18a-5f4d2e7b6977/content>. Acesso em: 18 mar. 2025.

SOUZA, I. de; MELO, M. O.; GASPAR, L. R. Avaliação da segurança e eficácia de substâncias ativas cosméticas. *Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão*

Preto – USP, 2020. Disponível em: <https://cosmetoguia.com.br/article/read/area/IND/id/740/>. Acesso em: 18 mar. 2025.

SOUZA, M. D.; BOEIRA, R. C.; GOMES, M. A. F.; FERRACINI, V. L.; MAIA, A. H. N. Adsorção e lixiviação de tebutiuron em três tipos de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, n. 4, p. 1053-1061, 2001. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1105424>. Acesso em: 15 mar. 2025.

SOUZA, M. V. D.; OLIVEIRA, G. A. B.; MARTINS, A. B. Alterações fisiológicas em bovinos sujeitos ao estresse térmico. *Unileste*, 2024. Disponível em: <https://unileste.catolica.edu.br/portal/wp-content/uploads/2024/02/ALTERACOES-FISIOLOGICAS-EM-BOVINOS-SUJEITOS-AO-ESTRESSE-TERMICO.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2025.

SOUZA, S.; GONÇALVES, F. F.; PRIMEL, E. G.; PRESTES, O. D.; MARTINS, M. L.; ZANELLA, R. Principais técnicas de preparo de amostra para a determinação de resíduos de agrotóxicos em água por cromatografia líquida com detecção por arranjo de diodos e por espectrometria de massas. *Química Nova*, v. 34, n. 9, p. 1590-1595, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/ND6HMpzwNTDspYcZWCF3YWq/>. Acesso em: 15 mar. 2025.

SPADOTTO, C. A.; GOMES, M. A. F.; LUCHINI, L. C.; ANDRÉA, M. M. Monitoramento do risco ambiental de agrotóxicos: princípios e recomendações. *Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente*, 2004. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/14523>. Acesso em: 15 mar. 2025.

TANNER, J. M.; TANNER, J. M. Human growth and development. *Annals of Human Biology*, v. 47, n. 1, p. 1-10, 2020. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03014460.2020.1714728>. Acesso em: 30 abr. 2025.

TINOCO, T. J.; SILVA, P. L.; ROCHA, A. P. S. Manejo Integrado de Pragas e Doenças em Sistemas Agrícolas. *Contemporânea Journal*, v. 3, n. 11, 2023. Disponível em:

<https://ojs.revistacontemporanea.com/ojs/index.php/home/article/view/2233>. Acesso em: 08 abr. 2025.

TONON, R. V. et al. Social hierarchy and stress biomarkers in confined beef cattle. *Tropical Animal Health and Production*, v. 52, n. 6, p. 1873–1880, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/journal/11250>. Acesso em: 22 jun. 2025.

TOSIN, J. M.; SILVA, J. V.; SANTOS, A. M.; OLIVEIRA, A. S. Agrotóxicos e seus impactos para a segurança alimentar e ambiental. *IOSR Journal of Business and Management*, v. 26, n. 10, p. 25-29, 2024. Disponível em: <https://www.iosrjournals.org/iosr-jbm/papers/Vol26-issue10/Ser-10/C2610102529.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2025.

TURCO, S. H. N.; ARAÚJO, G. G. L.; TEIXEIRA, A. H. C.; ABREU, P. G.; MESQUITA, E.; ALENCAR, S. C. Temperatura retal e frequência respiratória de bovinos da raça Sindi sob as condições térmicas do semiárido brasileiro. Embrapa Semiárido, 2023. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/923518?locale=en>. Acesso em: 17 abr. 2025.

UCHÔA, I. S.; MAGALHÃES, M. A. V. Teste de micronúcleos como biomarcador para pacientes com patologias diversas: uma revisão integrativa da literatura. *Brazilian Journal of Surgery and Clinical Research*, v. 27, n. 1, p. 78-83, 2019. Disponível em: [https://www.mastereditora.com.br/periodico/20190607\\_201101.pdf](https://www.mastereditora.com.br/periodico/20190607_201101.pdf). Acesso em: 18 mar. 2025.

VENDRUSCULO, B. R. et al. Avaliação da presença de micronúcleo em culturas in vitro após exposição a defensivos agrícolas. *Universidade Anhembi Morumbi*, 2021. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/items/8d2b5c43-6b91-4e5f-bf1e-aa51ba83aafa/full>. Acesso em: 18 mar. 2025.

WHITE, P.; BLACK, S. Neuropsychological effects of chronic exposure to pollutants. *Neurotoxicology*, v. 87, p. 45-56, 2021. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1383574221000478?casa\\_token=tXN1rxO5zw0AAAAA:1MgYUnqy\\_GLnB\\_akHONYJN8w7r403zasX1WYEWJzcmNp3fazrnP4h\\_9uGxgcgH29R32aX3k2Ins](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1383574221000478?casa_token=tXN1rxO5zw0AAAAA:1MgYUnqy_GLnB_akHONYJN8w7r403zasX1WYEWJzcmNp3fazrnP4h_9uGxgcgH29R32aX3k2Ins). Acesso em: 30 abr. 2025.

ZAMORA-OBANDO, H.R. et al. Biomarcadores moleculares de doenças humanas: conceitos fundamentais, modelos de estudo e aplicações clínicas. *Química Nova*, v. 45, n. 9, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/XXQbgpjVjbpJkgdZv879Xtb/>. Acesso em: 18 mar. 2025.

ZHANG, C.; HUANG, Y.; WANG, C.; LI, W. Precision agriculture technologies for herbicide application. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 145, p. 82-90, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016816991731001X>. Acesso em: 13 mar. 2025.

## 7. ANEXO I

### **TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)** para uso de animais em pesquisa

**Título da Pesquisa:** AVALIAÇÃO DA GENOTOXICIDADE CAUSADA POR RESÍDUOS DE PESTICIDAS E AGROTÓXICOS EM PASTAGENS CONSUMIDAS POR BOVINOS.

**Nome da Pesquisadora Responsável:** Ester Sílvia Borges de Moraes.

**Nome dos demais participantes da equipe:** Rafael Carneiro Silva; Alex Silva da Cruz; Maria Ivete de Moura.

- 1. Natureza da pesquisa:** O Sr. **ATAIDE JOSÉ CANDIDO** está sendo convidado a autorizar a participação de seus animais nesta pesquisa que tem como finalidade avaliar possíveis efeitos do consumo de pastagens que foram tratadas por produtos controladores de ervas daninhas, em bovinos.
- 2. Identificação dos animais:** Bovinos adultos, considerando ambos os sexo, indiferente a raça, utilizando ao total 40 animais.
- 3. Envolvimento na pesquisa:** ao participar deste estudo o Sr. **ATAIDE JOSÉ CANDIDO** permitirá que a pesquisadora **Ester Sílvia Borges de Moraes** e sua equipe realize a coleta de amostras biológicas dos animais do seu rebanho, sendo elas: sangue, fezes, cerúmen, saliva, leite e secreção nasal, para isso os animais serão contidos em um tronco de contenção visando evitar acidentes da equipe e dos animais. O proprietário tem liberdade de se recusar a participar e ainda se recusar a continuar participando em qualquer fase da pesquisa, sem qualquer prejuízo para o seu animal. Sempre que quiser poderá pedir mais informações sobre a pesquisa através do telefone da pesquisadora. Se necessário, poderá entrar em contato com Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA).
- 4. Sobre os dados necessários:** será necessário dados de identificação, clínicos e produtivos sobre os animais, sendo eles: número do brinco; sexo; idade; raça; frequência cardíaca, respiratória e ruminal; temperatura; escore de fezes; escore de condição corporal (ECC) e peso; hidratação e turgor cutâneo; contagem de células somáticas (CCS); contagem padrão em padrão (CPP);
- 5. Riscos e desconforto:** a participação nesta pesquisa não traz complicações legais. O desconforto para animal será apenas durante a coleta das amostras, não se perdurando após o procedimento, visando agilizar a coleta realizaremos a contenção dos animais. Os procedimentos adotados nesta pesquisa obedecem aos princípios éticos no uso de animais, elaborados pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), sobre a utilização de animais em atividades educacionais e em experimentos que envolvam espécies definidas na Lei 11.794/2008.
- 6. Confidencialidade:** todas as informações coletadas neste estudo são estritamente confidenciais. Somente os pesquisadores deste projeto terão conhecimento dos dados.

7. **Benefícios:** esperamos que este estudo traga informações importantes para a compreensão dos riscos decorrentes da exposição dos bovinos ao pastejo com possível presença de resíduos de pesticidas e agrotóxicos. Além disso, esse estudo contribuirá para o desenvolvimento científico no Estado de Goiás, com pesquisas importantes e inéditas na região. Sendo que o conhecimento e os resultados obtidos que serão construídos a partir desta pesquisa posteriormente irão ser divulgados pelo pesquisadores.
8. **Pagamento:** o Sr. **ATAIDE JOSÉ CANDIDO** não terá custos voltados para realização da pesquisa em questão, pois a mesma será arcada pelo órgão governamental FAPEG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás).

Após estes esclarecimentos, solicitamos o seu consentimento de forma livre para a participação de seus animais nesta pesquisa. Preencher, por favor, os itens que se seguem:

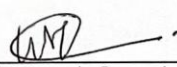
#### Consentimento Livre e Esclarecido

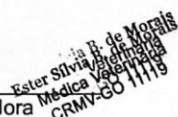
Tendo em vista os itens acima apresentados, eu, de forma livre e esclarecida, manifesto meu consentimento em participar da pesquisa.

Nome do Proprietário: Ataide José Candido

CPF: 077.349.131.72

  
Assinatura do Proprietário

  
Assinatura da Pesquisadora



Data: 26/06/21

#### TELEFONES

**Pesquisadora:** (62) 99665-0440 (Ester Silvia Borges de Moraes)

**Orientador:** (62) 99966-2428 (Alex Silva da Cruz)

**CEUA/PUC GOIÁS:** (62) 3946-1070