

Mapeamento de áreas de risco de contaminação por agrotóxicos: um estudo de caso no estado do Espírito Santo, Brasil

Mapping areas at risk of contamination by pesticides: a case study in the state of Espírito Santo, Brazil

Mapeo de áreas en riesgo de contaminación por pesticidas: un estudio de caso en el estado de Espírito Santo, Brasil

Luan Carlos Octaviano Ferreira Leite

Mestrando em Ambiente Construído, UFJF, Brasil
luan.octaviano@engenharia.ufjf.br

Renata de Oliveira Pereira

Professora Doutora, UFJF, Brasil
renata.pereira@ufjf.edu.br

Jonathas Batista Gonçalves Silva

Professor Doutor, UFJF, Brasil
jonathas.silva@ufjf.edu.br



RESUMO

É sabido que os agrotóxicos são um importante pilar das práticas agrícolas contemporâneas, contudo, existem diversos efeitos negativos atrelados ao seu mau uso. Seus malefícios vão desde a deterioração da saúde humana até a degradação de componentes bióticos e abióticos dos ecossistemas. O presente estudo tem como objetivo a proposição de uma metodologia baseada em indicadores e Sistemas de Informação Geográfica para a identificação das culturas e áreas de risco de contaminação ambiental por agrotóxicos, assim como os principais agrotóxicos associados a tais culturas, utilizando o estado do Espírito Santo como estudo de caso. Fora consultadas bases de dados com o Sistema IBGE de Recuperação Automática e o Censo Agropecuário 2017 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; e as seções de agrotóxicos do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis e do Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo. Café, cana-de-açúcar, milho e banana se destacaram no cenário agrícola estadual. O café apresenta-se como a cultura com maior risco de contaminação associado, tendo 10 municípios inclusos na classe de alto risco. A banana por sua vez é a cultura com menor risco associado. Glifosato, mancozebe e flutriafol, ingredientes ativos amplamente consumidos no estado se encontram entre os 5 compostos mais vendidos dentre aqueles autorizados para cada uma das culturas. De modo geral, a metodologia proposta mostrou potencial na determinação das culturas e áreas de risco no estado, assim como dos principais ingredientes ativos associados as culturas, podendo auxiliar a gestão ambiental de seu território.

PALAVRAS-CHAVE: Gestão Ambiental; Metodologia; Sistemas de Informações Geográficas; Indicadores.

ABSTRACT

It is known that pesticides are an important pillar of contemporary agricultural practices, however, there are several negative effects linked to their misuse. Its harms range from the deterioration of human health to the degradation of biotic and abiotic components of ecosystems. The present study aims to propose a methodology based on indicators and Geographic Information Systems for the identification of crops and areas at risk of environmental contamination by pesticides, as well as the main pesticides associated with such crops, using the state of Espírito Santo as a case study. Databases were consulted with the IBGE Automatic Recovery System and the 2017 Agricultural Census of the Brazilian Institute of Geography and Statistics; and the pesticide sections of the Brazilian Institute for the Environment and Renewable Natural Resources and the Institute of Agricultural and Forestry Defense of Espírito Santo. Coffee, sugar cane, corn and bananas stood out in the state agricultural scenario. Coffee presents itself as the crop with the highest risk of contamination, with 10 municipalities included in the high risk class. The banana is the crop with the lowest associated risk. Glyphosate, mancozeb and flutriafol, active ingredients widely consumed in the state are among the 5 best-selling compounds among those authorized for each crop. In general, the proposed methodology showed potential in determining the crops and areas at risk in the state, as well as the main active ingredients associated with the crops, and may assist the environmental management of its territory.

KEYWORDS: Environmental management; Method; Geographic Information Systems; Indicators.

RESUMEN

Se sabe que los pesticidas son un pilar importante de las prácticas agrícolas contemporáneas, sin embargo, hay varios efectos negativos relacionados con su mal uso. Sus daños van desde el deterioro de la salud humana hasta la degradación de los componentes bióticos y abióticos de los ecosistemas. Este estudio tiene como objetivo proponer una metodología basada en indicadores y sistemas de información geográfica para identificar cultivos y áreas en riesgo de contaminación ambiental por pesticidas, así como los principales pesticidas asociados con dichos cultivos, utilizando el estado de Espírito Santo como caso de estudio. Se consultaron las bases de datos con el Sistema de Recuperación Automática IBGE y el Censo Agrícola 2017 del Instituto Brasileño de Geografía y Estadística; y las secciones de pesticidas del Instituto Brasileño de Medio Ambiente y Recursos Naturales Renovables y del Instituto de Defensa Agrícola y Forestal y Forestal de Espírito Santo. El café, la caña de azúcar, el maíz y las bananas se destacaron en el escenario agrícola estatal. El café se presenta como el cultivo con mayor riesgo de contaminación, con 10 municipios incluidos en la clase de alto riesgo. El plátano es el cultivo con el menor riesgo asociado. El glifosato, mancozeb y flutriafol, ingredientes activos ampliamente consumidos en el estado, se encuentran entre los 5 compuestos más vendidos entre los autorizados para cada cultivo. En general, la metodología propuesta mostró potencial para determinar los cultivos y las áreas en riesgo en el estado, así como los principales ingredientes activos asociados con los cultivos, y puede ayudar a la gestión ambiental de su territorio.

PALABRAS CLAVE: Gestión ambiental; Método; Sistemas de información geográfica; Indicadores.

1. INTRODUÇÃO

O uso de agrotóxicos é um importante pilar para sustentação das práticas agrícolas contemporâneas (Montagner et al., 2014). O Brasil tem se destacado ao longo dos anos no cenário mundial do consumo destas substâncias. Segundo Moraes (2019) o país partiu de um consumo de 58 mil toneladas em 1991, chegando a 375 mil toneladas em 2015, sendo sozinho responsável por 9,2% do consumo mundial, ficando atrás apenas dos Estados Unidos com 9,9 % e da China, maior consumidor, responsável por 43,6% do consumo mundial em 2015. Dados do IBAMA (2020) demonstram que o consumo de agrotóxicos no Brasil segue aumentando, chegando a mais de 549 mil toneladas comercializadas em seu território no ano de 2018.

O número de registros de novos princípios ativos tem acompanhado o aumento de consumo. Segundo dados do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) a quantidade de novas substâncias registradas cresceu desde 2005, indo de 90 novos registros concedidos em 2005 para 139 em 2015, ano a partir do qual o número de produtos registrados aumentou numa escala sem precedentes e sem nenhuma queda desde então, atingindo 474 novos registros no ano de 2019 (MAPA, 2020). Quando esses novos produtos apresentam modos de ação mais seguros e com menor toxicidade, podem reduzir os efeitos indesejados na saúde humana e no ambiente (Damalas & Eleftherohorinos, 2011). Porém, seu uso desordenado tem se tornado preocupante tanto do ponto de vista de saúde pública quanto do ponto de vista ambiental.

Apesar de promoverem aumento na capacidade de oferta de alimentos, vale salientar que existem diversos impactos negativos atrelados ao uso dos agrotóxicos (Porto & Milanez, 2009). Dentre as principais consequências da exposição humana a essas substâncias podem ser citados problemas do sistema respiratório como asma, problemas de ordem neurológica como Doença de Parkinson e distúrbios cognitivos; desordens hormonais e reprodutivas; doenças crônicas; diabetes; danos no DNA; alterações cromossômicas; mutações genéticas e câncer (Bolognesi & Merlo, 2019; Dhananjayan & Ravichandran, 2018; Ji et al., 2020; Kim, Kabir, & Jahan, 2016; Lopes & Albuquerque 2018). Além de riscos à saúde pública, a utilização de agrotóxicos traz riscos para o ambiente através da contaminação de componentes bióticos e abióticos dos ecossistemas (água, ar, biota, solo, sedimentos, etc). Tais impactos ocorrem através da modificação em curto ou longo prazo, do funcionamento normal de um ecossistema, gerando assim, perdas de ordem econômica, social e estética (Peres, Moreira & Dubois, 2003; Parween & Jan, 2019).

Avaliar os riscos associados ao uso destas substâncias se torna de grande valor tendo em vista seus efeitos negativos sobre o ambiente e a saúde humana (Queiroz et al. 2018). Da mesma forma, informações confiáveis são de grande valor para subsidiar o planejamento e as tomadas de decisão, sendo fundamentais para sua efetividade. Entretanto, são observados entraves neste setor, como deficiências em dados georreferenciados e dificuldades na integração de departamentos e setores de diferentes áreas, que se restringem a situações de surto (Queiroz et al., 2012). Segundo Damalas & Eleftherohorinos (2011) diferentes indicadores têm sido utilizados para auxiliar nas avaliações de risco de agrotóxicos para a saúde e o ambiente. Contudo, seu uso tem sugerido a necessidade de criação de novos indicadores que tragam maior credibilidade e precisão a esse tipo de análise. Desta forma,



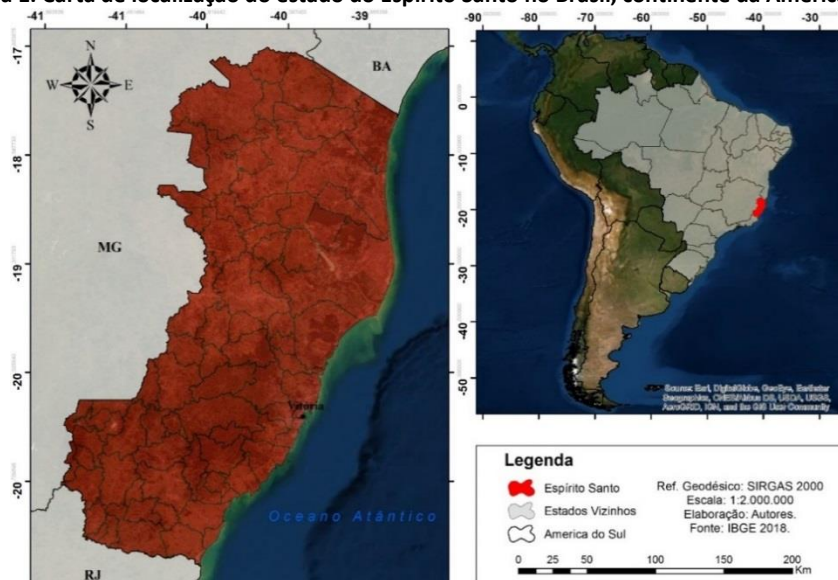
o presente estudo tem por objetivo propor uma metodologia baseada em indicadores e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para a identificação das culturas e áreas de risco de contaminação ambiental por agrotóxicos, assim como os principais agrotóxicos associados a tais culturas, utilizando o estado do Espírito Santo como estudo de caso.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. ÁREA DE ESTUDO

O Espírito Santo é uma das unidades federativas do Brasil, localizada na região Sudeste do país, fazendo divisa ao sul com o estado do Rio de Janeiro, a oeste com Minas Gerais e a norte com a Bahia, sendo banhado a leste pelo oceano Atlântico (Figura 1). Localiza-se a oeste do Meridiano de Greenwich e ao sul da Linha do Equador, com fuso horário de menos três horas em relação à hora mundial GMT. A extensão territorial é de 46.074,444 km² com uma população de 3.514.952 habitantes no último censo (2010), estimada para 4.018.650 de pessoas no ano de 2019 (IBGE, 2020a).

Figura 1. Carta de localização do estado do Espírito Santo no Brasil, continente da América do Sul.



Fonte: Autores, 2020.

O estado do Espírito Santo foi a região escolhida como estudo de caso, devido a seu reduzido número de municípios, apenas 78 e, principalmente, devido à existência do banco de dados sobre agrotóxicos do Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal (IDAF). Tal banco de dados permite a triagem dos agrotóxicos autorizados para cada cultura agrícola no estado, atribuindo maior confiabilidade ao método proposto uma vez que, sem ele, seria possível determinar os agrotóxicos autorizados para as culturas apenas a nível nacional o que poderia levar a análises com ingredientes ativos (I.A.'s) que, apesar de autorizados a nível nacional, podem não ser permitidos em um determinado estado.

2.2. DEFINIÇÃO DOS INDICADORES

A metodologia proposta no presente estudo envolve a definição de indicadores que auxiliem na compreensão do risco de contaminação por agrotóxicos em um determinado município. Foram consultadas diferentes bases de dados geográficos para a obtenção das informações necessárias, que posteriormente passaram por etapas de preparação até a construção da base de dados final. Nas seguintes seções são descritos os procedimentos empregados em cada uma das etapas.

2.2.1. LEVANTAMENTO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA

Para a análise da produção agrícola do estado do Espírito Santo foram utilizados dados do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020b). Foram obtidas as extensões de área plantada (ha) e a produção (ton) para todas as culturas agrícolas produzidas nos municípios do estado entre os anos de 2007 e 2018. Foi calculada a área plantada total (ha) de cada cultura e estabelecido um percentil de 90% como um valor acima do qual encontram-se as culturas de maior representatividade no cenário estadual. As culturas com área plantada total maior que o percentil 90% foram selecionadas como prioritárias para a aplicação da metodologia proposta.

2.2.2. ANÁLISE ESPACIAL DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA

Os valores de área plantada total das culturas agrícolas mais significativas no cenário estadual determinadas na etapa anterior foram espacializados através do software ArcGis versão 10.2.1, para a construção do indicador "Área plantada". Foi utilizada como base uma malha digital com os limites político-administrativos do estado do Espírito Santo, disponibilizada pelo IBGE (2015). Esse procedimento teve o intuito de permitir uma análise da distribuição espacial das extensões de terra plantada com as culturas selecionadas ao longo dos municípios do estado, tornando visível a concentração de maiores plantios em determinadas regiões de seu território.

2.2.3. DEMAIS INDICADORES

Através do arquivo vetorial do Censo Agropecuário do IBGE (2019) foram obtidas as informações necessárias para a construção dos demais indicadores de risco de contaminação por agrotóxicos. Os indicadores selecionados do censo foram: "V- 34. Utilização de agrotóxicos"; "V-35. Despesa com agrotóxicos"; "V-16. Uso da terra por lavouras" e "V-1. Número de propriedades rurais". No Quadro 1 há uma descrição dos indicadores utilizados, com suas respectivas fontes e significados.

Quadro 1. Indicadores utilizados no estudo com seus respectivos significados e fontes.

Indicador	Significado	Fonte
Área plantada	Somatório da área plantada (ha) anualmente com cada cultura entre 2007 e 2018 em cada município.	Sistema SIDRA – Produção Agrícola Municipal (PAM) - IBGE (2020B)
Utilização de agrotóxicos	Percentual de estabelecimentos agropecuários com declaração de uso de agrotóxicos em relação ao total de estabelecimentos agropecuários no município em 2017.	Censo Agropecuário Brasileiro – IBGE (2019).
Despesa com agrotóxicos	Participação da despesa com agrotóxicos na despesa total do estabelecimento agropecuário, por município em 2017.	Censo Agropecuário Brasileiro – IBGE (2019).
Uso da terra para lavoura	Percentual da área do município coberta por lavouras em 2017.	Censo Agropecuário Brasileiro – IBGE (2019).
Estabelecimentos agropecuário	Total de estabelecimentos agropecuários, por município em 2017.	Censo Agropecuário Brasileiro – IBGE (2019).

Fonte: Autores, baseados em IBGE (2019, 2020).

2.3. CONSTRUÇÃO DA BASE DE DADOS

A partir dos dados vetoriais gerados nas etapas de análise espacial da produção agrícola e dos indicadores selecionados do Censo Rural, foi construída a base de dados utilizada para a análise final. Cada indicador selecionado no Censo Agropecuário foi individualizado em um arquivo *shapefile*, com exceção do indicador “Área Plantada” que já foi especializado em um *shapefile* separado. Os arquivos vetoriais posteriormente foram convertidos para o formato *raster*. Os arquivos *raster* passaram por um processo de classificação por intervalos iguais, dividindo os valores de cada indicador em 5 classes dos menores aos maiores, que receberam valores de 1 a 5 conforme o risco que representam. As classes dos menores valores de cada indicador receberam valor 1, como sendo de um risco muito baixo, aumentando gradativamente até as classes dos valores maiores, que receberam valor 5, como sendo um risco muito alto. Uma vez classificados, os arquivos *raster* passaram a representar os planos de informações utilizados no processo de sobreposição ponderada.

2.4. SOBREPOSIÇÃO DOS PLANOS DE INFORMAÇÃO

Para a sobreposição foi utilizada a ferramenta *Weighted Overlay*, que realiza uma média ponderada entre os valores dos pixels dos planos de informação sobrepostos que representam um mesmo ponto no espaço. Para a utilização dessa ferramenta, é necessário definir peso adequado para cada uma das variáveis envolvidas no processo, função que fica a critério dos responsáveis pela análise. Desta forma, foi adotado o método *Analytic Hierarchy Process (AHP)*, onde realiza-se uma comparação pareada entre as variáveis que determinam o fenômeno estudado e, através da atribuição de graus de igualdade ou de preferência entre as variáveis, são gerados os pesos mais adequados para cada plano de informação (Estoque, 2012). Este procedimento foi realizado com a extensão AHP do ArcGis, que realiza o processo de forma automática, sem necessidade de uso de outra plataforma. No quadro 2 estão os pesos encontrados para cada plano de informação:

Quadro 2. Pesos atribuídos aos planos de informação dos indicadores através do método AHP.

Plano de Informação	Peso definido pelo método AHP
Área plantada	43,026
Utilização de agrotóxicos	29,640
Despesas com agrotóxicos	17,247
Uso da terra para lavoura	5,484
Estabelecimentos agropecuários	4,603

Fonte: Autores.

Os planos de informações “Área plantada” de cada uma das culturas prioritárias foram sobrepostos individualmente com os demais planos “Utilização de agrotóxicos”, “Despesa com agrotóxicos”, “Uso da terra para lavoura” e “Estabelecimentos agropecuários”. Os resultados do processo de sobreposição foram mapas classificados indicando os municípios de baixo, médio e alto risco de contaminação por agrotóxicos, baseados em cada uma das culturas específicas.

2.5. MAPA SÍNTESE

Os resultados obtidos individualmente para cada uma das culturas foram sintetizados em um único mapa. O objetivo deste mapa é indicar aqueles municípios onde existe maior ou menor risco de contaminação ambiental por agrotóxicos considerando as principais culturas agrícolas do estado de forma generalizada. Neste procedimento foi utilizada a ferramenta *Weighted Sum*, que realiza uma soma dos valores atribuídos aos pixels dos planos de informação sobrepostos. Foi definido peso 1 para todos os planos de informação, de forma que nenhuma variável interfira mais que as demais no resultado final. Uma vez que os resultados dos mapeamentos individuais de cada cultura apresentam 3 classes, sendo: 1 – Baixo Risco, 2 - Médio Risco e 3 - Alto Risco, o resultado do mapa síntese varia entre 4, quando o município apresenta baixo risco para todas as culturas selecionadas e 12, caso o município apresente alto risco para todas culturas selecionadas. Desta forma, o arquivo de saída do processo de soma foi dividido em 3 classes iguais, sendo: 4 a 6 - Baixo Risco, 7 a 9 - Médio Risco e 10 a 12 - Alto Risco.

2.6. DETERMINAÇÃO DOS PRINCIPAIS AGROTÓXICOS ASSOCIADOS AS CULTURAS

Para a determinação dos principais agrotóxicos autorizados no estado para as culturas indicadas no presente estudo foram consultadas as bases de dados do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA, 2020) e do IDAF (2020). Na seção de agrotóxicos do IBAMA foram obtidos os totais comercializados, em toneladas, para cada I.A. entre os anos de 2009 e 2018 no estado do Espírito Santo. Através do somatório dos valores totais comercializados de cada I.A., foi possível determinar aqueles com maior consumo em seu território. Cabe destacar que ao longo do período analisado alguns I.A.’s podem ter perdido seu registro para comercialização. Desta forma, através de consulta ao sistema de agrotóxicos do IDAF foi verificada a autorização de cada um dos I.A.’s, sendo desconsiderados da análise aqueles que não se encontravam devidamente registrados no momento da análise (abril de 2020). Também foram desconsiderados os agentes microbiológicos e os adjuvantes óleo mineral e óleo vegetal por não se tratarem especificamente de agrotóxicos químicos.

Foram considerados como I.A.'s de risco os 5 compostos de maior comercialização dentre aqueles registrados para uso em cada uma das culturas. No sistema de agrotóxicos do IDAF também foi consultado o número de agrotóxicos registrado para cada uma das culturas, de forma a indicar aquela ou aquelas que possuem mais agrotóxicos passíveis de uso nos municípios do estado e que, potencialmente, expõem a maiores riscos o ambiente e a população local.

3. RESULTADOS

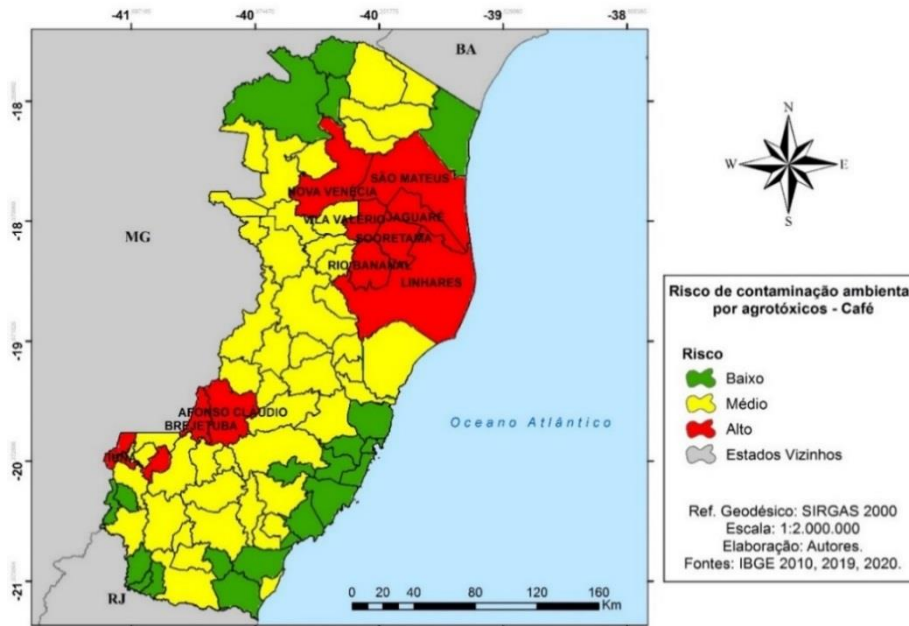
3.1. DETERMINAÇÃO DAS CULTURAS E ÁREAS DE RISCO

Conforme a análise das informações do sistema SIDRA do IBGE, observou-se que foram cultivadas 34 culturas no estado do Espírito Santo no período entre 2007 e 2018, das quais 21 são culturas permanentes e 13 são culturas temporárias. Em relação à área plantada, considerando o percentil 90%, as principais culturas no cenário estadual são o café, a cana-de-açúcar, o milho e banana. O café encontra-se em primeiro lugar, com um total de 5.202.368 hectares plantados entre os anos de 2007 a 2018. A cana-de-açúcar, segunda colocada no ranking de área planta, teve um total de 857.612 hectares plantados, valor aproximadamente 6 vezes menor que o do café, apesar de apresentar uma produção 6 vezes maior. O milho se encontra em terceiro lugar, com 276.472 ha plantados, seguido pela banana com 266.286 ha.

Conforme o mapeamento do risco de contaminação por agrotóxicos associado à cultura do café (Figura 2), 10 municípios são enquadrados na classe de alto risco, são eles: Nova Venécia, na mesorregião noroeste do estado, São Mateus, Jaguaré, Vila Valério, Sooretama, Rio Bananal e Linhares, inseridos na mesorregião do litoral norte espírito-santense, Afonso Cláudio e Brejetuba na mesorregião central e Lúna, na mesorregião sul do estado. A região do litoral norte é a que concentra o maior número de municípios com alto risco de contaminação de agrotóxicos associados ao café, com 6 municípios. A área total classificada como de alto risco é de 1.134.880 ha, correspondendo a 25 % do território do estado. A classe de médio risco é a que abrange mais municípios, um total de 47, cobrindo 55 % do território do estado (2.515.533 ha) enquanto a classe de baixo risco abrange 21 municípios, 21 % das terras do estado (943.453 ha).

Se ranqueados em ordem decrescente conforme o total de área plantada com café, no cenário estadual, os municípios classificados como de alto risco são: 1º Vila Valério (231.100 ha), 2º Jaguaré (224.350 ha), 3º Nova Venécia (197.798 ha), 4º Sooretama (186.735 ha), 5º Rio Bananal (166.845 ha), 6º Linhares (162.904 ha), 7º Brejetuba (151.880 ha), 8º São Mateus (151.844 ha), 9º Lúna (145.218 ha) e 10º Afonso Cláudio (139.774 ha). Em termos de produção em toneladas, se ordenados da mesma maneira, os municípios indicados como de alto risco possuem as seguintes colocações: 1º Jaguaré (402.372 ton), 2º Vila Valério (380.017 ton), 3º Sooretama (337.249 ton), 4º Nova Venécia (310.706 ton), 5º Linhares (306.081 ton), 6º Rio Bananal (301.844 ton), 7º Brejetuba (250.903 ton), 8º São Mateus (249.028 ton), 11º Lúna (200.764 ton) e 20º Afonso Cláudio (168.839 ton).

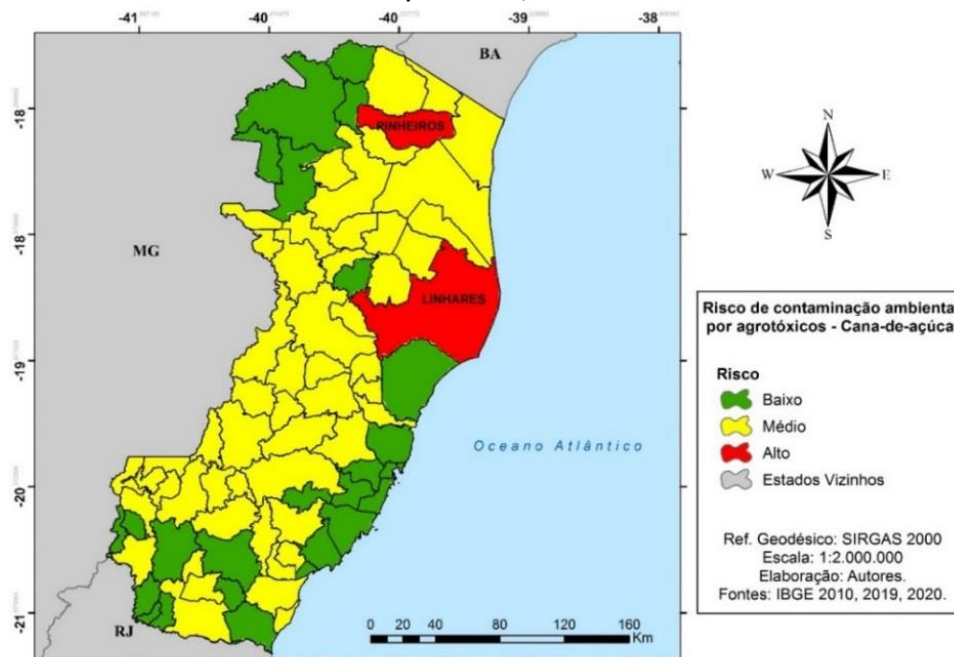
Figura 2. Mapa de risco de contaminação ambiental por agrotóxicos associados a cultura do café no estado do Espírito Santo, Brasil.



Fonte: Autores, 2020.

Em relação à cana-de-açúcar, 2 municípios apresentaram alto risco de contaminação por agrotóxicos, são eles: Linhares e Pinheiros, localizados na mesorregião litoral norte do estado (Figura 3). A área de 446.393 ha ocupada pelos dois municípios, representa 10 % do território do estado. A classe de médio risco é a mais ampla, abrangendo 51 municípios, 63 % do território do estado (2.896.452 ha). A classe de baixo risco abrange 25 municípios, representando 31 % da área total do estado (1.439.606 ha). O município de Linhares é o líder em área plantada com cana-de-açúcar no estado, com um total de 101.140 ha cultivados entre os anos de 2007 e 2018, sendo também o líder em termos de produção, com um total de 9.258.404 toneladas produzidas no mesmo período. Pinheiros é o terceiro município do estado com mais área plantada com cana-de-açúcar, um total de 107.943 ha cultivados no período estudado, entretanto, é o segundo maior produtor do estado, com 6.366.735 toneladas de cana-de-açúcar produzidas no mesmo período.

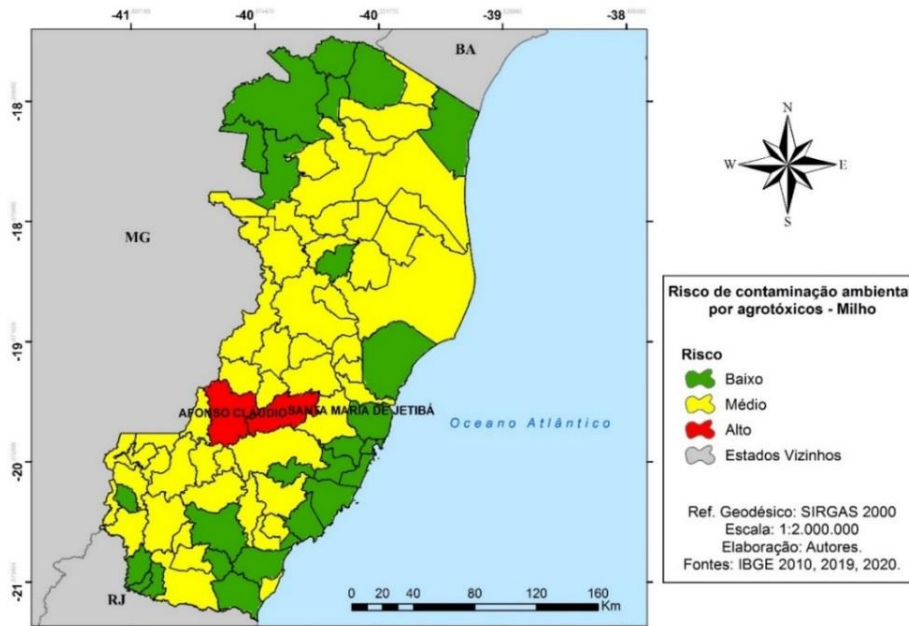
Figura 3. Mapa de risco de contaminação ambiental por agrotóxicos associados a cultura da cana-de-açúcar no estado do Espírito Santo, Brasil.



Fonte: Autores, 2020.

Para o cultivo do milho, a classe de alto risco abrange 2 municípios, são eles: Santa Maria de Jetibá e Afonso Cláudio, inseridos na mesorregião central do estado (Figura 4). Juntos, os dois municípios cobrem uma área de 166.846 ha, que representa apenas 4 % da área total do estado. A classe de médio risco é a mais abrangente, abarcando 50 municípios, 65 % do território do estado (2.987.400 ha). Na classe de baixo risco, por sua vez, estão inclusos 26 municípios, aproximadamente 31 % do território do estado (1.439.606 ha). O município de Santa Maria de Jetibá é o líder do estado em termos de área plantada com milho, um total de 30.125 ha entre 2007 e 2018, sendo líder também em produção, com 139.060 toneladas produzidas no mesmo período. Afonso Cláudio por sua vez é o segundo município em termos de área plantada com milho no estado, com 16.745 ha, e o sétimo em termos de produção, com 30.572 toneladas no período analisado.

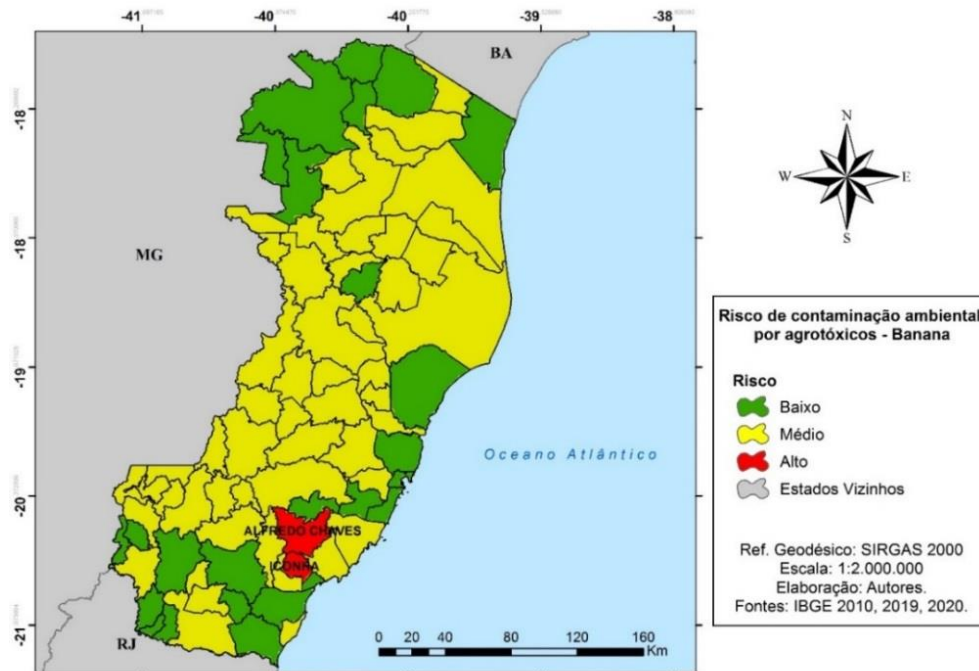
Figura 4. Mapa de risco de contaminação ambiental por agrotóxicos associados a cultura do milho no estado do Espírito Santo, Brasil.



Fonte: Autores, 2020.

Em relação à banana, 2 municípios apresentam alto risco de contaminação por agrotóxicos, são eles: Iconha e Alfredo Chaves, inseridos na mesorregião central do estado. Se somada, a área dos municípios é de 80.985 ha, que representa aproximadamente 2 % do território do estado. A classe de médio risco é a com maior representatividade, abrangendo 51 municípios, um total de 68 % do território do estado (3.111.471 ha). A classe de baixo risco abrange 25 municípios, uma área de 1.401.396 ha, 31% do território do estado. O município de Iconha é líder estadual em termos de área plantada com banana e também em produção, com totais de 34.882 ha cultivados e 366.120 toneladas produzidas entre 2007 e 2018. O município de Alfredo Chaves, por sua vez, é o segundo maior no estado em termos de área plantada e produção de banana, com 33.000 ha cultivados e 362.400 toneladas produzidas no período analisado.

Figura 5. Mapa de risco de contaminação ambiental por agrotóxicos associados a cultura da banana no estado do Espírito Santo, Brasil.



Fonte: Autores, 2020.

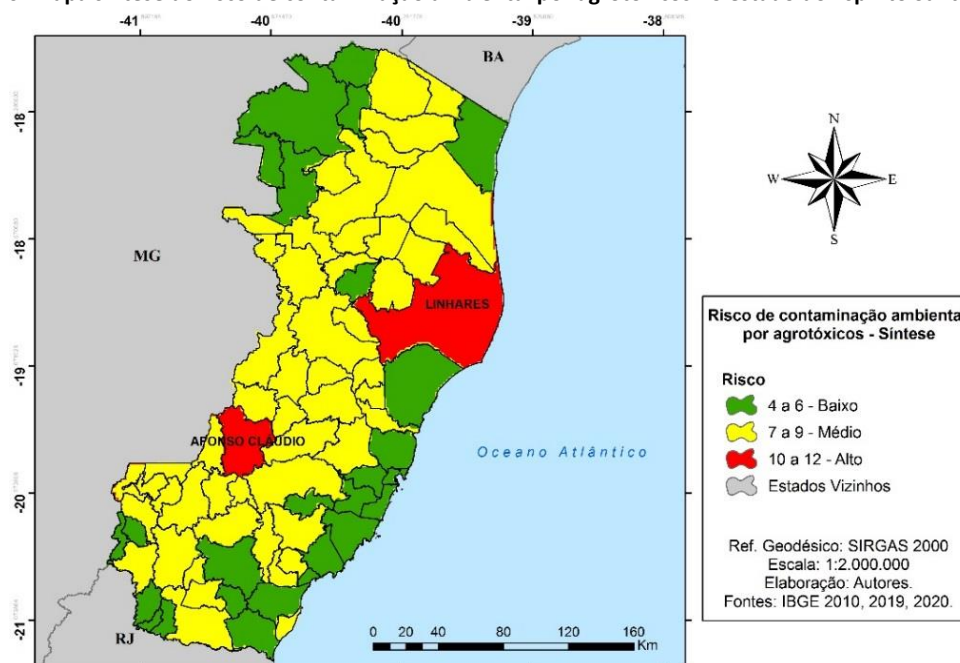
Ao confrontar os resultados do mapeamento, nota-se que o café é a cultura que possui maior risco associado de contaminação ambiental por agrotóxicos no estado do Espírito Santo entre as culturas analisadas. O seu número de municípios classificados como de alto risco é 5 vezes superior as demais culturas. Sua extensão de terras classificadas como de alto risco é aproximadamente 2 vezes superior que a cana-de-açúcar, 5 vezes superior ao milho e mais de 10 vezes superior a banana.

O estado é o segundo maior produtor de café do Brasil, ficando atrás apenas do estado de Minas Gerais, apesar de ser líder nacional no que se trata da variedade conilon (Ferrão et al., 2017). O café foi responsável, sozinho, por 36,2 % e 38,9 % do valor bruto da produção agropecuária no estado nos anos de 2016 e 2017, respectivamente (Galeano, 2017; Galeano et al., 2018). Tal fato demonstra a importância da cultura no cenário estadual e sugere a necessidade de cautela no uso de agrotóxicos em seu manejo. O mesmo se aplica à cana-de-açúcar, que apesar de ter menos municípios de alto risco que o café, é líder estadual em termos de produção. Sua extensão de terras de alto risco é mais de 2 vezes maior que a do milho e 5 vezes superior à da banana.

Em contrapartida, milho e banana são as culturas que apresentam menor risco associado ao uso de agrotóxicos no estado. O milho possui o maior número de municípios classificados como de baixo risco, assim como a maior extensão de terras inseridas nesta classe dentre as culturas analisadas. A banana, por sua vez, é a cultura com a menor extensão de terras classificadas como de alto risco apesar de apresentar uma extensão de terras inseridas na classe de médio risco maior que todas as outras culturas. Tais resultados sugerem que apesar do menor risco relacionado ao milho e a banana, não devem ser desconsideradas as boas práticas e cautela no uso de agrotóxicos.

Quanto ao mapa síntese dos riscos de contaminação ambiental por agrotóxicos no estado (Figura 6), nota-se que predominam as áreas de médio risco, de forma similar aos resultados individuais de cada cultura, abrangendo 51 municípios, uma área total de 2.799.990 ha, representando 61 % do território do estado. A classe de baixo risco está em segundo lugar, abrangendo 25 municípios, com uma área de 1.349.317 ha, aproximadamente 29 % do território do estado. A classe de alto risco é a de menor abrangência, apenas 2 municípios, uma área de 439.125 ha, 10 % do território do estado.

Figura 6. Mapa síntese do risco de contaminação ambiental por agrotóxicos no estado do Espírito Santo, Brasil.



Fonte: Autores, 2020.

Os municípios inseridos na classe de alto risco são Linhares e Afonso Cláudio. Cabe destacar que nenhum dos dois municípios inclusos nesta classe foram considerados de alto risco para todas as culturas. Linhares, na verdade, apresenta alto risco associado ao café e a cana-de-açúcar, enquanto apresenta médio risco para milho e banana. Afonso Cláudio, por sua vez, apresenta alto risco associado ao café e o milho, e médio risco associado a cana-de-açúcar e banana. Quanto aos municípios classificados como de baixo risco, 15 dos 25 apresentam baixo risco para todas as culturas, são eles: Apicacá; Atilio Vivacqua; Bom Jesus do Norte; Divino de São Lourenço; Ecoporanga; Marechal Floriano; Mucuri; Piúma; Ponto Belo; Presidente Kennedy; São José do Calçado; Serra; Viana; Vila Velha e Vitória.

Os resultados obtidos nestes municípios se dão devido seu baixo potencial agrícola. Dos 15 municípios citados, 13 se encontram entre os 15 menores totais de área plantada no estado (Apicacá, Atilio Vivacqua, Bom Jesus do Norte, Divino de São Lourenço, Ecoporanga, Mucurici, Piúma, Ponto Belo, São José do Calçado, Serra, Viana, Vila Velha e Vitória); 8 se encontram entre as 11 menores despesas com agrotóxicos no estado (Bom Jesus do Norte, Ecoporanga, Piúma, Ponto Belo, São José do Calçado,

Viana, Vila Velha e Vitória), 8 se encontram entre os 10 menores usos de agrotóxicos por estabelecimentos agropecuários (Bom Jesus do Norte, Mucurici, Piúma, Ponto Belo, São José do Calçado, Viana, Vila Velha e Vitória), 9 se encontram entre os 10 com menores áreas cobertas por lavoura (Bom Jesus do Norte, Ecoporanga, Mucurici, Piúma, Ponto Belo, Presidente Kennedy, Serra, Vila Velha e Vitória) e 5 representam os municípios com menos estabelecimentos agropecuários no estado (Bom Jesus do Norte, Piúma, Serra, Vila Velha e Vitória).

3.2. AGROTÓXICOS ASSOCIADOS AS CULTURAS

Analisando os dados do IBAMA (2020), observa-se que a distribuição das vendas dos I.A.'s se dá de forma desigual no estado, onde poucos I.A.'s são comercializados em larga escala enquanto muitos possuem vendas reduzidas. Dos 87 I.A.'s comercializados entre os anos de 2009 e 2018 com registro ativo atualmente no IDAF, apenas 4 possuem comercializações totais superiores a 1.000 toneladas e apenas 1 apresenta valor superior a 10.000 toneladas. Se somados os totais comercializados dos 5 I.A.'s mais vendidos, estes são, sozinhos, responsáveis por 81 % do total, 28027,52 toneladas de agrotóxicos comercializadas no estado durante o período analisado. O herbicida glifosato, I.A. mais consumido, é responsável por aproximadamente 56 % do total comercializado no estado, com 15.762,67 toneladas, valor aproximadamente 4 vezes superior ao segundo colocado, o herbicida 2,4-D, responsável por aproximadamente 11 % (3.222,21 toneladas).

A cultura do milho é aquela com mais agrotóxicos registrados para comercialização no IDAF, com 521 produtos. Os 5 compostos mais comercializados para o milho são o glifosato, 2,4-D, mancozebe, clorpirifós e flutriafol. O café vem em segundo lugar, com 460 produtos registrados no estado. Os 5 compostos com uso autorizado mais comercializados para cultura são o glifosato, o 2,4-D, o mancozebe, o clorpirifós e o flutriafol. A cana-de-açúcar ocupa a terceira colocação, com 403 produtos registrados. Os 5 compostos autorizados para a cultura mais comercializados são glifosato, 2,4-D, mancozebe, flutriafol e dicloreto de paraquate. A banana é a cultura com menos agrotóxicos registrados, ocupando a quarta colocação com 141 produtos, número expressivamente menor que as demais. Para esta cultura, os compostos mais comercializados são glifosato, mancozebe, clorpirifós, flutriafol e dicloreto de paraquate. Nota-se alguma convergência entre os compostos encontrados. Os I.A.'s glifosato, I.A. mais comercializado no estado; mancozebe, terceiro I.A. mais vendido no estado (1.666,34 ton); e flutriafol, quinto mais vendido (776,73 ton), merecem destaque por se encontrarem entre os 5 mais comercializados dentre os agrotóxicos autorizados para as quatro culturas analisadas no presente estudo.

A água é o único compartimento ambiental com parâmetros de qualidade para agrotóxicos previstos por lei. Contudo, apesar de estar localizado em uma das regiões do país com maior disponibilidade de informações sobre qualidade da água de consumo humano (Barbosa et al., 2015; Oliveira et al., 2019), o Espírito Santo, apresenta um baixo número de municípios com dados para agrotóxicos e carências para operacionalização do sistema (Altoé, 2018). Segundo o autor, em 2014 apenas 19 % dos municípios capixabas monitoraram agrotóxicos na água, número que se reduziu ao longo dos últimos anos, chegando a aproximadamente 6 % em 2018 segundo dados do Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Ministério da Saúde, 2020).

Apenas o glifosato, dentre os compostos elencados nesse estudo, é considerado nos parâmetros de qualidade da água concomitantemente nas Resoluções CONAMA n° 357 que trata de mananciais superficiais, e CONAMA n° 396 que trata de águas subterrâneas, além do anexo XX da Portaria de Consolidação n° 5 de 2017, que trata da água para consumo humano. O I.A. mancozebe é considerado apenas na PC n° 5 de 2017, enquanto o flutriafol não é citado em nenhuma das três legislações (Brasil, 2005, 2008, 2017). Esse fato é preocupante da perspectiva ecológica e sanitária. Segundo a última edição do Relatório Nacional de Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Agrotóxicos, o Espírito Santo se encontra acima do dobro da média nacional de intoxicações por agrotóxicos entre 2007 e 2015. Reforçando a necessidade de estados legislarem no âmbito ambiental devido suas especificidades.

Quanto a classificação de toxicidade ambiental, glifosato e mancozebe se enquadram na Classe III – Produto Perigoso ao Meio Ambiente, enquanto o flutriafol está na Classe II – Produto Muito Perigoso ao Meio Ambiente. A literatura demonstra relações diretas entre os agrotóxicos destacados e efeitos negativos de ordem ambiental, reforçando o seu risco. O glifosato, I.A. mais consumido no Brasil (IBAMA, 2020), mostra ligação a quedas na resposta imune de mexilhões a proliferação de patógenos oportunistas (Iori et al., 2019), e a distúrbios metabólicos em peixes após longa exposição (Li et al., 2017). O fungicida mancozebe, também amplamente consumido no Brasil, demonstrou potencial de interferência na reprodução e desenvolvimento de invertebrados em solos brasileiros (Carniel et al., 2019) e também no sistema reprodutivo feminino em mamíferos, através de danos nas células granulosas do ovário (Paro et al., 2012). Lopez-Antia et al., 2018) encontraram evidências de que a ingestão de alimentos contaminados pelo fungicida flutriafol podem reduzir em até 50 % o tamanho da prole de algumas aves.

O estado não conta com legislação própria com padrões de qualidade da água ou para os demais componentes ambientais, contudo, os resultados obtidos no presente estudo podem sugerir a necessidade de uma legislação a nível estadual para balizar o uso dos agrotóxicos identificados, assim como minimizar seus riscos.

4. CONCLUSÃO

A metodologia proposta se mostrou eficaz na determinação das culturas agrícolas mais representativas no estado do Espírito Santo, assim como os municípios sob risco de contaminação ambiental e os agrotóxicos associados a cada uma das culturas podendo, assim, auxiliar na gestão ambiental de seu território. As culturas que se destacam no cenário agrícola do estado são o café, a cana-de-açúcar, o milho e banana. O café mostrou-se como a cultura com maior risco de contaminação ambiental por agrotóxicos, tendo o maior número de municípios incluídos na classe de alto risco. A banana por sua vez se apresentou como a cultura de menor risco associado.

Quanto aos agrotóxicos associados as culturas, glifosato, mancozebe e flutriafol são os mais difundidos. Tal resultado destaca a necessidade de cautela no emprego de tais substâncias visto seu potencial tóxico. A predominância de áreas de médio risco de contaminação no território do estado corrobora com essa hipótese uma vez que a falta de manejo adequado dos agrotóxicos nestas regiões

pode ampliar os riscos, expondo ecossistemas e populações inteiras aos efeitos deletérios destas substâncias.

Os resultados do presente estudo podem ser incorporados no processo de tomada de decisão para a criação de uma legislação a nível estadual que busque evitar a contaminação dos recursos hídricos com agrotóxicos. Recomenda-se a realização de futuros estudos que considerem a dinâmica ambiental e a toxicidade dos agrotóxicos empregados nos municípios para auxiliar a adequada compreensão e a previsão dos riscos associados a tais compostos.

5. AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) pelo apoio na realização do presente trabalho através da concessão de bolsa de estudos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Altoé, P. S. **Agrotóxicos No Estado Do Espírito Santo : uma análise das questões legais e dos efeitos nas águas superficiais do rio Jucu causados pelo herbicida glifosato**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2016.

Barbosa, A. M. C.; Solano, M. L. M.; Umbuzeiro, G. A. (2015). Pesticides in Drinking Water – The Brazilian Monitoring Program. **Frontiers in Public Health**, v. 3(Novembro), p. 1–10.

Bolognesi, C.; Merlo, F. D. (2019). Pesticides: Human health effects. **Encyclopedia of Environmental Health** (2° ed.). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11818-4>

Brasil. Resolução CONAMA N° 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Brasília - DF, 2005.

Brasil. Resolução CONAMA N° 396, de 3 de abril de 2008. **Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências**. Brasília - DF, 2008.

Brasil. Portaria de Consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017. **Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde, Ministério da Saúde**. Brasília - DF, 2017.

Carniel, L. S. C.; Niemeyer, J. C.; Filho, L. C. I. O.; Alexandre, D.; Gebler, L.; Klauberg-Filho, O. (2019). The fungicide mancozeb affects soil invertebrates in two subtropical Brazilian soils. **Chemosphere**, v. 232, p. 180–185. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.179>

Damalas, C. A.; Eleftherohorinos, I. G. (2011). Pesticide exposure, safety issues, and risk assessment indicators. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 8, n. 5, p. 1402–1419. <https://doi.org/10.3390/ijerph8051402>

Dhananjayan, V.; Ravichandran, B. (2018). Occupational health risk of farmers exposed to pesticides in agricultural activities. **Current Opinion in Environmental Science and Health**, v. 4, p. 31–37. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.07.005>

Estoque, R. (2012). Analytic Hierarchy Process in Geospatial Analysis. In: Murayama, Y. (Edt.). **Progress in Geospatial Analysis** (pp. 157–181). Tokyo: Springer. https://doi.org/10.1007/978-4-431-54000-7_11

Ferrão, R. G.; Fonseca, A. F. A.; Ferrão, M. A. G.; Muner, L. H. (Eds.). (2017). **Café Conilon** (2° ed). Vitória, ES: INCAPER.



Galeano, E. A. V. (2017). **Boletim da Conjuntura Agropecuária Capixaba**. n. 12, ano III, Vitória, ES. Disponível em: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/handle/123456789/2976>. Acesso em: 15 abr. 2020.

Galeano, E. A. V.; Moratti, D. G.; Cade, A. M. E.; Ferrari, F. A. (2018). **Boletim da Conjuntura Agropecuária Capixaba**. n. 15, ano IV. Disponível em: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/123456789/3394/1/Boletim-da-conjuntura-Agropecuaria-Ano-IV-n-16-Dezembro-de-2018.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2020.

IBAMA. (2020). **Relatórios de Comercialização de Agrotóxicos**. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos#boletinsanuais>. Acesso em: 04 abr. 2020.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2015). **Bases e Referências**. Disponível em: <https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais>. Acesso em: 04 abr. 2020.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2019). **Censo agropecuário : resultados definitivos 2017**. (IBGE, Ed.). Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/>. Acesso em: 10 abr. 2020.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2020a). **Espírito Santo**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/es.html>. Acesso em 10 abr. 2020.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2020b). **Produção Agrícola Municipal**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/ipca15/brasil>. Acesso em: 04 abr. 2020.

Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal (2020). **Agrotóxicos**. Disponível em: <https://app.idaf.es.gov.br/eidaf/consultas-agrotoxicos>. Acesso em: 04. abr. 2020.

Iori, S.; Rovere, G. D.; Ezzat, L.; Smits, M.; Ferrareso, S. S.; Babbucci, M.; Marin, M. G.; Masiero, L.; Fabrello, J.; Garro, E.; Carraro, L.; Cardazzo, B.; Patarnello, T.; Mattozo, V.; Bargelloni, L.; Milan, M. (2019). The effects of glyphosate and AMPA on the mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis* and its microbiota. **Environmental Research**, v. 182, p. 1-39. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108984>

Ji, C., Song, Q., Chen, Y., Zhou, Z., Wang, P., Liu, J., Sun, Z.; Zhao, M. (2020). The potential endocrine disruption of pesticide transformation products (TPs): The blind spot of pesticide risk assessment. **Environment International**, v. 137(Setembro), p. 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105490>

Kim, K. H.; Kabir, E.; Jahan, S. A. (2016). Exposure to pesticides and the associated human health effects. **Science of the Total Environment**, v. 575, p. 525–535. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.009>

Li, M. H.; Ruan, L. Y.; Zhou, J. W.; Fu, Y. H.; Jiang, L.; Zhao, H.; Wang, J. S. (2017). Metabolic profiling of goldfish (*Carassius auratus*) after long-term glyphosate-based herbicide exposure. **Aquatic Toxicology**, v. 188(março), p. 159–169. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2017.05.004>

Lopes, C. V. A.; Albuquerque, G. S. C.(2018). Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática. **Saúde Em Debate**, v. 42, n° 117, p. 518–534. <https://doi.org/10.1590/0103-1104201811714>

Lopez-Antia, A.; Ortiz-Santaliestra, M. E.; Mougeot, F.; Camarero, P. R.; Mateo, R. (2018). Brood size is reduced by half in birds feeding on flutriafol-treated seeds below the recommended application rate. **Environmental Pollution**, v. 243, p. 418–426. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.08.078>

Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. (2020). **Portal de Dados Abertos Sobre Agrotóxicos**. Disponível em: <https://dados.contraosagrotoxicos.org/organization/mapa>. Acesso em 2 abr. 2020.

Montagner, C. C.; Vidal, C.; Acayaba, R. D.; Jardim, W. F.; Jardim, I. C. S. F.; Umbuzeiro, G. A. (2014). Trace analysis of pesticides and an assessment of their occurrence in surface and drinking waters from the State of São Paulo (Brazil). **Analytical Methods**, v. 6, n. 17, p. 6668–6677. <https://doi.org/10.1039/c4ay00782d>

Moraes, R. F. (2019). **Agrotóxicos no brasil: padrões de uso, política da regulação e prevenção da captura regulatória**. pp. 84. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.

Oliveira Júnior, A.; Magalhães, T. B.; Mata, R. N.; Santos, F. S. G.; Oliveira, D. C.; Carvalho, J. L. B.; Araújo, W. N. (2019). Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Sisagua): características, evolução e aplicabilidade. **Epidemiologia e Serviços de Saúde : Revista Do Sistema Unico de Saude Do Brasil**, v. 28, n. 1, p. 1-13. <https://doi.org/10.5123/S1679-49742019000100024>

Paro, R.; Tiboni, G. M.; Buccione, R.; Rossi, G.; Cellini, V.; Canipari, R.; Cecconi, S. (2012). The fungicide mancozeb induces toxic effects on mammalian granulosa cells. **Toxicology and Applied Pharmacology**, v. 260, n. 2, p. 155-161. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2012.02.005>

Parween, T.; Jan, S. (2019). Pesticides and environmental ecology. In: Parween, T.; Jan, S. (Edts.) **Ecophysiology of Pesticides** (pp. 1-38). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-817614-6.00001-9>

Peres, Frederico, Moreira, J. C., & Dubois, G. S. (2003). Agrotóxicos, saúde e ambiente: uma introdução ao tema. In: Frederico Peres. & J. C. Moreira. (Eds.), **É Veneno ou é Remédio?: Agrotóxicos, Saúde e Ambiente** (Vol. 5, pp. 21-41). Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ.

Porto, M. F.; Milanez, B. (2009). Eixos de desenvolvimento econômico e geração de conflitos socioambientais no Brasil: desafios para a sustentabilidade e a justiça ambiental. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 14, n. 6, p. 1983-1994. <https://doi.org/10.1590/s1413-81232009000600006>

Queiroz, A. C. L.; Cardoso, L. S. M.; Silva, S. C. F.; Heller, L.; Cairncross, S. (2012). Programa nacional de vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano (vigiagua): Lacunas entre a formulação do programa e sua implantação na instância municipal. **Saude e Sociedade**, v. 21, n. 2, p. 465-478. <https://doi.org/10.1590/S0104-12902012000200019>

Ministério da Saúde. (2020). **SISAGUA - Amostras de Vigilância**. Disponível em: <http://www.dados.gov.br/dataset/sisagua-amostras-de-vigilancia-demais-parametros>. Acesso em: 10 abr. 2020.