

Quais agrotóxicos estão contaminando os solos brasileiros?

Which pesticides are contaminating a brazilian soils?

¿Qué agrotoxicos contaminan los suelos brasileños?

Recebido: 15/01/2020 | Revisado: 22/01/2020 | Aceito: 14/02/2020 | Publicado: 21/02/2020

Caroline Lopes Feijo Fernandes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3931-9786>

Universidade Federal do Rio Grande, Brasil

E-mail: carolinefernandesbio@gmail.com

Paula Florêncio Ramires

Universidade Federal do Rio Grande, Brasil

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4006-0879>

E-mail: cienla@hotmail.com

Renata Rodrigues de Moura

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3214-7456>

Universidade Federal do Rio Grande, Brasil

E-mail: rodriguesdmoura@hotmail.com

Roberta de Souza Pohren

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1173-6991>

Universidade Federal do Rio Grande, Brasil

E-mail: ropohren@gmail.com

Lisiane Martins Volcão

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1922-3330>

Universidade Federal do Rio Grande, Brasil

E-mail: lisivolcao@hotmail.com

Flavio Manoel Rodrigues da Silva Júnior

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7344-4679>

Universidade Federal do Rio Grande, Brasil

E-mail: f.m.r.silvajunior@gmail.com

Resumo

Os pesticidas têm uma importante função dentro da sociedade, entretanto seu uso excessivo pode causar problemas para a saúde do ambiente. Dentre estes problemas, a contaminação do

solo por agrotóxicos tem sido pouco discutida, fato preocupante, pois a qualidade do solo está relacionada diretamente ao funcionamento ecológico, a produção primária e a saúde humana. A contaminação do solo por agrotóxicos depende de diferentes fatores como os edáficos, propriedades do solo e da substância. O uso de agrotóxicos tem sido alvo de diferentes discussões mundiais, entretanto, estas discussões no cenário brasileiro tornam-se ainda mais necessárias devido ao vasto consumo e aplicação destas substâncias no país. Esta revisão apresenta uma visão crítica quanto a contaminação do solo por agrotóxicos dentro do território brasileiro utilizando como ferramentas o cálculo do quociente de risco e comparação entre os valores de referência para solo canadenses e brasileiros. Vale ressaltar que apenas 12 unidades federativas brasileiras tinham dados disponíveis sobre concentrações de pesticidas em solos reais brasileiros (Amazonas, Bahia, Maranhão, Mato Grosso, Minas Gerais, Pará, Paraná, Rondônia, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, São Paulo). Os pesticidas mais detectados no solo e em maiores concentrações foram o Diclorodifeniltricloroetano, Hexaclorociclohexano e Hexaclorobenzeno. Em geral, os locais de estudo possuíam cenários de exposição com particularidades e não estavam relacionados ao atual uso de agrotóxicos no país. Neste contexto, é enfatizado a importância de estudos adicionais sobre resíduos de pesticidas em solos brasileiros.

Palavras-chave: Monitoramento ambiental; Pesticidas; Defensivos agrícolas; Terra.

Abstract

Pesticides play an important role within society, but their overuse can cause problems for the health of the environment. Among these problems, soil contamination by pesticides has been little discussed, a matter of concern, since soil quality is directly related to ecological functioning, primary production and human health. Soil contamination by pesticides depends on different factors such as soil, soil and substance properties. The use of pesticides has been the target of different worldwide discussions, however, these discussions in the Brazilian scenario are even more necessary due to the vast consumption and application of these substances in the country. This review presents a critical view of soil contamination by pesticides within the Brazilian territory using as tools the calculation of the risk quotient and comparison between the reference values for Canadian and Brazilian soil. It is noteworthy that only 12 Brazilian federative units had data available on pesticide concentrations in Brazilian real soils (Amazonas, Bahia, Maranhão, Mato Grosso, Minas Gerais, Para, Paraná, Rondonia, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Sao Paulo). The most detected pesticides in soil and in higher concentrations were Dichlorodiphenyltrichloroethane,

Hexachlorocyclohexane and Hexachlorobenzene. In general, the study sites had particular exposure scenarios and were unrelated to the current use of pesticides in the country. In this context, the importance of further studies on pesticide residues in Brazilian soils is emphasized.

Keywords: Environmental monitoring; Pesticides; Terrestrial.

Resumen

Los pesticidas juegan un papel importante dentro de la sociedad, pero su uso excesivo puede causar problemas para la salud del medio ambiente. Entre estos problemas, la contaminación del suelo por pesticidas ha sido poco discutida, un tema de preocupación, ya que la calidad del suelo está directamente relacionada con el funcionamiento ecológico, la producción primaria y la salud humana. La contaminación del suelo por pesticidas depende de diferentes factores como el suelo, el suelo y las propiedades de la sustancia. El uso de pesticidas ha sido el objetivo de diferentes discusiones mundiales, sin embargo, estas discusiones en el escenario brasileño son aún más necesarias debido al gran consumo y aplicación de estas sustancias en el país. Esta revisión presenta una visión crítica de la contaminación del suelo por pesticidas dentro del territorio brasileño utilizando como herramientas el cálculo del cociente de riesgo y la comparación entre los valores de referencia para el suelo canadiense y brasileño. Cabe señalar que solo 12 unidades federativas brasileñas tenían datos disponibles sobre las concentraciones de pesticidas en suelos reales brasileños (Amazonas, Bahía, Maranhão, Mato Grosso, Minas Gerais, Pará, Paraná, Rondonia, Río de Janeiro, Río Grande del Sur, Santa Catarina, San Pablo). Los pesticidas más detectados en el suelo y en concentraciones más altas fueron diclorodifeniltricloroetano, hexaclorociclohexano y hexaclorobenceno. En general, los sitios de estudio tenían escenarios de exposición particulares y no estaban relacionados con el uso actual de pesticidas en el país. En este contexto, se enfatiza la importancia de realizar más estudios sobre residuos de pesticidas en suelos brasileños.

Palabras clave: Monitoreo ambiental; Pesticidas; Tierra.

1. Introdução

O uso de agrotóxicos tem sido objeto de debate e discussões em diferentes áreas do conhecimento devido ao seu reconhecido risco ambiental, social e de saúde pública, principalmente quando gerenciados de forma incorreta pelo homem (Steffen, Steffen, & Antonioli, 2011). Este risco, causado pelo uso desenfreado destas substâncias, tem

influenciado inúmeros estudos enfatizados pela importância da preservação do ambiente e da vida (C. Lima & Meurer, 2013).

No cenário brasileiro, o problema com o uso de agrotóxicos toma proporções ainda maiores, devido ao país ser o maior consumidor de agrotóxicos do mundo, consumindo cerca de 20% do total produzido mundialmente (K. Oliveira & Lucchese, 2013). Ainda, este cenário problemático tende a aumentar como mostrado por Alves et al. (2008) (Alves, Contini, & Gasques, 2008) e dados do IBAMA (2017), onde identificou-se que entre os anos de 2000 e 2017 o comércio de pesticidas aumentou cerca de 200% (IBAMA, 2017).

O amplo uso de agrotóxicos no Brasil acaba se detendo a classes específicas, as quais lideram o uso em grande parte do território brasileiro, como as fenilureias (Ingredientes ativos como Diafenthiuron e Diuron), imidazóis (Exemplo: Carbendazim, Imazalil, Imazapir, Imazetapir), triazóis (tais como a Atrazina, Atrazina e Simazina) e triazóis (tais como propiconazol, tebuconazol e tetraconazol) (IBAMA, 2017). Além disso, diferentes ingredientes ativos lideram o ranking como os mais utilizados em território brasileiro levando em consideração as toneladas vendidas no ano de 2017 (IBAMA, 2017), tais como o Glifosato (173.150,75 ton.), 2,4-D ou ácido diclorofenoxiacético (57.389,35 ton.), Maconzebe (30.815,09 ton.), Acefato (27.057,66 ton.), Atrazina (24.730,90 ton.), Paraquate (11.756,39 ton.) e Imidacloprido (9.364,57 ton.), respectivamente.

Esta vasta utilização de agrotóxicos pode influenciar em inúmeros processos ecológicos devido à presença e persistência destes compostos nos diferentes compartimentos do ambiente (água, solo e ar). Dentre os compartimentos ambientais, o solo é um dos principais receptores destes contaminantes, uma vez que a poluição difusa e a persistência destes compostos afeta organismos edáficos e indiretamente o meio aquático e a vida humana (Stolte, et al., 2016). Como consequência desta contaminação pode-se prejudicar a saúde de diferentes ecossistemas e ainda, aumentar as vias de exposição aos pesticidas para seres humanos e outros organismos não alvo (FAO & ITPS, 2017). Entretanto, apesar dos problemas ambientais e sociais demonstrados, estudos que reúnam informações sobre resíduos de agrotóxicos nos solos são escassos (Fernandes, Volcão, Ramires, Moura, & Silva-Junior, 2020; Silva, et al., 2019), sendo mais discutido o meio aquático (Gomes, et al., 2017).

Contudo, considerando a problemática vivenciada dentro do país, a coleta de informações sobre os tipos de pesticidas no solo em território brasileiro pode fornecer dados pertinentes sobre as áreas geográficas de maior preocupação e a utilidade dos valores de referência existentes. Além disso, identificar tipos de agrotóxicos estudados e os riscos regionais podem também auxiliar no processo de prevenção aos prejuízos relacionados à

saúde humana e ambiental através do gerenciamento do risco.

2. Metodologia

Esta pesquisa é uma revisão crítica da literatura, utilizando bases de dados brasileiras e internacionais (Pubmed, Web Of Science, Toxnet, Google acadêmico, Scielo e base de dados de pesquisa agropecuária), além de dados oficiais de agências reguladoras de cada estado brasileiro disponíveis em websites. A busca foi realizada no ano de 2018 e foram considerados artigos escritos em qualquer idioma. Para incorporar a revisão os artigos deveriam ter analisado amostras ambientais de solos sem tratamento prévio e estas amostras deveriam ter sido coletadas dentro do território brasileiro. Foram extraídos dos artigos dados quanto ao grupo químico e agrônômico das substâncias, ano de publicação, locais e ano de coleta de solo e descrição dos motivos para realização de estudo na região. Os dados foram organizados em mapas e gráficos, onde os mapas foram confeccionados utilizando o software QGis 2.14.11. Para a confecção do mapa relativo ao nível máximo detectado de pesticida por estado brasileiro utilizou-se apenas a maior concentração total de pesticidas de um único estudo por estado e os valores quanto ao comércio de pesticidas foram referentes ao ano de 2014 (IBAMA, 2017).

O risco potencial para a vida terrestre e saúde humana foi avaliado utilizando o método de Quociente de Risco (RQ) (Isidori, Lavorgna, Nardelli, Pascarella, & Parrella, 2005), consistindo na razão entre o intervalo de concentração de cada pesticida e os valores de referência de qualidade do solo (RGV's). Para a interpretação do quociente, foram considerados risco, apenas os valores maiores do que 1. Os valores brasileiros de intervenção foram extraídos dos previstos no CONAMA N° 420/2009 (Brasil, 2009), sendo utilizados conforme a origem do solo (residencial e agrícola). Para a comparação entre os valores de Quocientes de risco utilizando os RGVs brasileiros e Canadenses os valores também foram avaliados conforme a origem do solo, porém, quando os estudos haviam utilizado solo residencial e agrícola, foram considerados a origem da maior parte dos estudos por agrotóxico. Os valores de intervenção canadenses foram derivados da revisão de literatura proposta por Li e Jennings, 2017(Li & Jennings, 2017).

3. Resultados e discussões

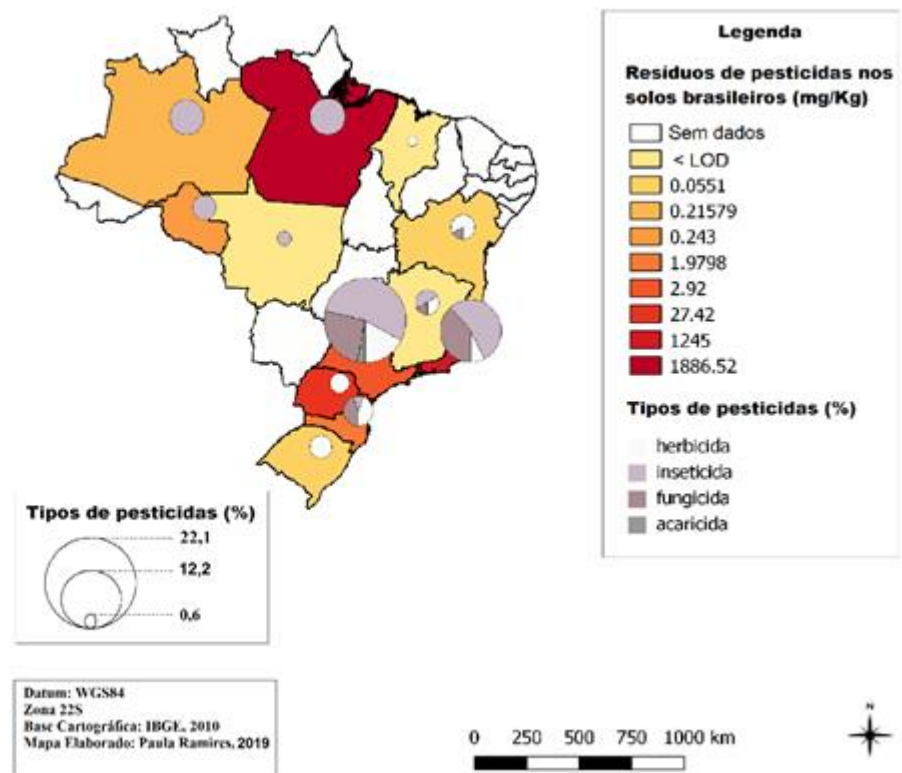
3.1 Panorama da contaminação do solo por agrotóxicos em território brasileiro

Os primeiros estudos sobre a contaminação de amostras reais de solo por agrotóxicos foram publicados na segunda metade da década de 1990 e houve um aumento expressivo a partir do final da década dos anos 2000 (Figura 1 a). Contudo, as coletas dos solos foram realizadas entre a segunda metade dos anos 1990 e início dos anos 2000 (Figura 1 b). Até o momento foram investigados 57 ingredientes ativos de agrotóxicos e 24 derivados metabólitos, totalizando 81 tipos diferentes de agrotóxicos. Do total investigado, 42% eram inseticidas, 28% fungicidas, 27% herbicidas e 3% acaricidas (Figura 2.). Destes, apenas 55 tipos de agrotóxicos foram detectados acima do LOD do método analítico utilizado pelos estudos.

Figura 1. Ano de publicação dos estudos que englobaram esta revisão



Figura 2. Concentração máxima da soma de agrotóxicos detectada em um único estudo e distribuição de resíduos de agrotóxicos por classe agronômica



A origem das amostras de solo utilizadas foi oriunda 52% de solos de áreas residenciais e 48% de solos agrícolas. Na relação entre os solos residenciais e solos agrícolas, o estado de São Paulo foi o que apresentou maior número de amostras positivas nos dois tipos de solos. Quanto ao solo residencial, a maioria das amostras eram oriundas do estado do Rio de Janeiro, seguido pelos estados do Pará, Amazonas, São Paulo, Rondônia e Mato Grosso, respectivamente. Destes estudos, foram detectados três classes químicas de agrotóxicos, porém, em sua maioria detectou apenas o grupo químico dos organoclorados.

Esta classe química e seus principais representantes (DDT, HCH e HCB), apesar de não serem mais utilizados no Brasil desde 2001, eles ainda são motivo de problemáticas ambientais e de saúde pública (Quinete, De Oliveira, Fernandes, Avelar, & Santelli, 2011; Rodrigues, de Souza, da Silva Rocha, da Costa, & de Alcântara Mendes, 2017). O Dicloro-Difenil-Tricloroetano – DDT é uma substância que teve um comércio amplamente difundido, devido a sua propriedade inseticida e seu uso foi extremamente indiscriminado durante a Segunda Guerra Mundial. Foi utilizado para eliminar insetos e combater as doenças que desolavam a população durante a guerra, como a Malária, Tifo e Febre amarela. Os outros agrotóxicos HCH e HCB vieram logo após a notória popularidade comercial que o DDT demonstrou. Estes pesticidas eram utilizados não apenas em áreas residenciais, mas também

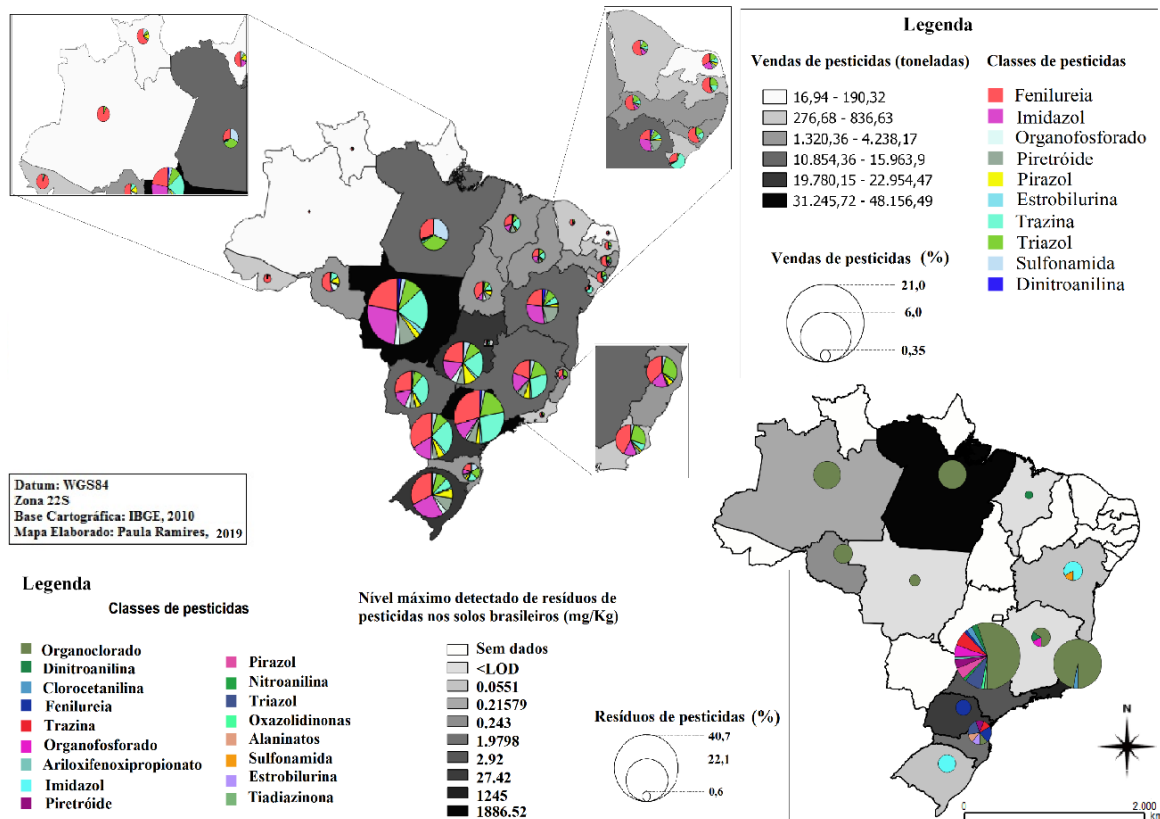
em grandes lavouras, o que resulta em riscos dobrados em relação a saúde do ambiente e humana. Estes, pareciam ser pesticidas ideais pois tinham uma alta persistência e baixa toxicidade a saúde humana, contudo através da sua entrada para o grupo dos POP's e de um acordo para erradicação do uso, estes produtos foram banidos de inúmeros países (ONU, 2009).

Em relação aos solos agrícolas, a maior parte das amostras é oriunda do estado de São Paulo, seguida dos estados de Santa Catarina, Minas Gerais, Bahia, Rio Grande Do Sul, Paraná e Maranhão, respectivamente. Foram detectados 15 grupos químicos diferentes, assim distribuídos por classe agrônômica: 46% eram inseticidas, 29% fungicidas, 23% herbicidas e 2% acarícidas (figura 2). Ainda, 58% dos agrotóxicos detectados pertencem a classe química dos organoclorados.

Os pesticidas DDT, HCH e seus derivados metabólitos foram os mais investigados e quantificados pelos estudos (67% dos estudos investigaram estes compostos). Entretanto, curiosamente os pesticidas mais utilizados mundialmente, mas principalmente no Brasil, não tem sido investigados, entre eles como o Maconzebe, Acefato, Paraquate, Imidacloprido e Glifosato (IBAMA, 2017), aos quais, há relatos na literatura da sua presença a curto e longo em diferentes tipos de solo (Kandil, El-Aswad, & Koskinen, 2015).

3.2 Cenários e regiões estudadas

Figura 3. Venda de agrotóxicos por classe química em território brasileiro e concentração máxima de agrotóxicos detectados nos estudos que integraram esta revisão.



3.2.1 Região Norte

O histórico de uso de agrotóxicos nesta região está intimamente relacionado as características do local, onde há condições propícias para a proliferação de inúmeros vetores de doenças como a malária, dengue e febre amarela. Durante um longo período de tempo, o governo buscou alternativas para o controle de vetores nesta região, aplicando principalmente DDT em áreas residenciais (intradomiciliar). Entretanto, o predomínio de habitações precárias não permitiu uma aplicação adequada do DDT, causando o insucesso da ação e posterior contaminação destas áreas (Loiola, Silva, & Tauil, 2007).

O estudo de Saldanha et al. (2010) buscou investigar a persistência de resíduos de DDT em solos coletados na cidade de Humaitá, localizada ao sul do estado do Amazonas. Além disso, Torres et al. (2002 e 2009) coletaram solo no entorno do Rio Tapajós e Rio Madeira, localizados nos estados do Pará, Rondônia e Amazonas. Esta investigação também foi motivada pelo uso de DDT para controle de vetores até o ano de 1993.

Durante e após o uso e proibição do DDT no Brasil, inúmeros locais acabaram tornando-se depósitos de agrotóxicos e de embalagens vazias, ao qual grande parte destes locais estão sob controle da FUNASA (Rodrigues, et al., 2017). A partir deste contexto,

Rodrigues et al. (2017), buscou investigar amostras de solo coletadas em dois pontos no Estado do Pará que foram utilizados para depósitos de agrotóxicos e que há a presença de residências.

Além do cenário de contaminação pelo uso de agrotóxicos para o controle de vetores, Torres et al. (2002) relata que a coleta de solo no entorno do Rio Madeira – RO, foi realizado em locais de amplo desmatamento e uso para plantio de soja. Este tipo de cenário pode estar relacionado a estudos que já tem evidenciado a contaminação por organoclorados em amostras tanto de sedimento quanto de tecido muscular e adiposo de tartarugas presentes na região amazônica (Ferreira, et al., 2017; Teófilo Pignati, et al., 2018).

O fato de que a região norte ter apresentado as maiores concentrações totais de agrotóxicos entre os estudos (Figura 3), é algo extremamente preocupante. Esta preocupação se ocorre devido ao desacordo com a lei 12.651/2012 a qual a região amazônica situada em grande parte no norte é assegurada como Reserva Legal e que não deve ser negligenciada e deveria auxiliar na conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade (Embrapa, 2019). Portanto, cabe o alerta sobre o uso indiscriminado destes compostos dentro da região amazônica e a necessidade de monitoramento e fiscalização, principalmente devido ao contrabando e passagem destas substâncias pelas fronteiras brasileiras (Liliane & Esquivel, 2017; Marçal, Fernandes, & Menck, 2017).

3.2.2 Região Nordeste

A região nordeste, apesar do menor consumo de agrotóxicos em relação a outras regiões do Brasil se destaca na produção de diferentes culturas, tais como a cana-de-açúcar, algodão, soja, milho e caju (Castro, 2013). Ainda assim, alguns estados e áreas tem recebido ampla preocupação ambiental e social devido a contaminação por estes xenobióticos. Uma destas áreas está localizada na região de Barreiras no estado da Bahia e município de Balsas no estado do Maranhão (IBGE, 2012; W. L. Soares & Porto, 2007). Portanto, foi nestes locais de ampla produção agrícola no nordeste que 3 estudos realizaram investigações de resíduos no solo (Kemmerich, et al., 2015; I. O Lima, Suelos, & Cristina, 2010; Nascimento, et al., 2018).

O trabalho de Nascimento et al. (2018) investigou resíduos de sulfloramida e descreveu o local estudado como com baixa atividade industrial e larga plantação de eucaliptos no estado da Bahia. Kemmerich et al. (2015) apenas relatou ter realizado a coleta

de solo na cidade de Barreiras-BA e avaliou os agrotóxicos imazamox, imazapic, imazapyr, imazaquin e imazethapyr. Ademais, o trabalho de Lima et al. (2013) investigou resíduos do agrotóxico trifuralina ao qual coletou solo de campos de cultivo de soja no município de Balsas -MA. Devido a não detecção de concentrações de trifuralina, na discussão, o autor relata que possivelmente não detectou este pesticida devido a substituição desta substância por outro agrotóxico com ação de amplo espectro. Entretanto, pode-se elucidar que apesar da trifuralina ser um pesticida amplamente comercializado na região nordeste, ainda assim, não destacasse como o pesticida mais comercializado pela região. Nesta, há um destaque dos mais comercializados, aos quais são pertencentes ao grupo das fenilureias (Diurom e Diaopentiurom), dos imidazóis (Carbendazim e Imazetapir) e dos triazóis (Tetraconazol). Contudo, através dos estudos realizados também nesta região, pode-se concluir que há uma baixa associação entre os tipos de agrotóxicos investigado no solo e os que são mais comercializados na região de estudo (figura 3) (C. Lima & Meurer, 2013).

3.2.3 Região Sul

A região sul tem uma grande parcela da produção total agrícola brasileira. A região é a principal produtora de inúmeras culturas como o arroz, fumo, cebola e cevada (IBGE, 2009). Apesar da ampla contribuição da região para o cenário agrícola nacional, apenas 3 estudos investigaram resíduos de agrotóxicos no solo. Além disso, salientamos também o alto consumo de agrotóxicos nesta região, o que está em desacordo com o baixo número de estudo sobre resíduos de pesticidas no solo.

O estudo de Pinheiro et al. (2011) investigou resíduos dos agrotóxicos Lambda-cialotrina, Alacloro, Atrazina, Diurom, Azoxistrobina, Metconazol, Metalaxil e Tebuconazol em solos coletados no município de Ituporanga, situado na região do Alto Vale do Itajaí, no estado de Santa Catarina. O local de coleta segundo o autor tem amplo histórico de plantio de milho, batata, feijão, beterraba e cebola. O trabalho de Felício et al. (2016) investigou resíduos do Diurom e seus principais metabólitos em solos coletados em diferentes áreas de cultivo de cana-de-açúcar localizadas na cidade de Porecatu no estado do Paraná. Ademais, o estudo realizado por Kemmerich et al. (2015), averiguou resíduos de agrotóxicos do grupo químico dos imidazóis (Imazamox, Imazapic, Imazaquin e Imazetapir) em solos coletados de regiões de cultivo de arroz localizados na cidade de Santa Maria - RS.

3.2.4 Região Centro-Oeste

A região centro-oeste brasileira é considerada a região que mais consome agrotóxicos no país (IBAMA, 2017) . Além disso, esta região, principalmente o estado do Mato Grosso, é a principal produtora e exportadora de valiosos produtos para o PIB nacional como a soja, algodão e milho (SIDRA/IBGE, 2017). Entretanto, apesar da notória importância da região tanto em produção quanto em consumo de agrotóxico, foi encontrado pela busca apenas 1 único artigo sobre o tema. Ainda assim, o trabalho descrito por Dalla Villa et al. (2006) não relatou investigar o local de coleta devido a ampla utilização de agrotóxicos na região, mas sim avaliou um cenário distinto ocorrido na área residencial do município de Várzea Grande no estado de Mato Grosso. O local estudado segundo o autor havia um histórico de dispersão de recipientes de vidro quebrado contendo 4,4' DDT, portanto o mesmo investigou apenas resíduos de DDT e seu metabólito DDE no solo.

3.2.5 Região Sudeste

A região sudeste do Brasil é uma região com exploração agrícola histórica, sendo a principal produtora de cana-de-açúcar e café (SIDRA/IBGE, 2017). Portanto, a região também é dotada de diferentes cenários distintos relacionados a contaminação por agrotóxicos. Por exemplo, um dos casos de maior conhecimento sobre a exposição ambiental a organoclorados no Brasil, é na região da Cidade dos Meninos, localizada na cidade de Duque de Caxias, no estado do Rio de Janeiro.

A cidade dos Meninos tornou-se relevante devido a antiga existência de um Instituto de Malariologia (fábrica produtora de compostos HCH e DDT) e após a sua desativação, os resíduos destes contaminantes persistiram no local. Estes compostos acabaram disseminando-se para locais adjacentes por via aérea, lixiviação, águas pluviais e carreamento mecânico (Oliveira, Bastos, Dias, Silva, & Moreira, 2003). Devido a importância do local, os estudos de Asmus et al. (2008) e Oliveira et al. (2003) investigaram resíduos de organoclorados nos solos no entorno da fábrica e em áreas residenciais.

Ainda no estado do Rio de Janeiro outros cenários distintos também foram avaliados (Quinete, et al., 2011; Vieira, Torres, & Malm, 2001). O estudo de Quinete et al. (2011) avaliou a existência de resíduos dos pesticidas HCH, alacloro, heptacloro, metolacloro, aldrina, dieldrina, endrina, DDT e metabólitos e endosulfan I e II em uma área de proteção permanente (Parnaso). Já o estudo de Vieira et al. (2001) investigou resíduos de DDT e seus metabólitos em solos da cidade de Jacarepagua, local com histórico de epidemia de Leishmaniose.

Outros estudos na região sudeste investigaram áreas agrícolas das duas principais culturas da região, cana-de-açúcar no estado de São Paulo e café em Minas Gerais. Os estudos no estado de São Paulo foram realizados por Polese et al. (2002)(Polese, Dores, Jardim, Navickiene, & Ribeiro, 2002), Rissato et al. (2004, 2005 e 2006) e Toffoli et al. 2015. O trabalho de Polese et al. (2002) avaliou solos de áreas agrícolas do município de Araraquara e investigou os pesticidas trifluralina, simazina, atrazina e seus principais metabolitos, metribuzina e metolacoloro (Polese, et al., 2002).

Portanto os trabalhos de Rissato et al. (2004, 2005 e 2006) avaliaram múltiplos resíduos de Agrotóxicos. Dentre os investigados estão o HCH e seus metabólitos, DDT e seus metabólitos, endosulfan I, II e sulfatado, aldrina, dieldrina, endrina, heptacloro, heptacloro epóxido bromopropilato, clorotalonil, metil-diclofop, dicofol, HCB, metoxicloro, tetradifona, buprofezina, diclorana, etaconazol, hexaconazol, imazalil, linurom, metolacoloro, procloraz, propiconazol, etil-quizalofop, tebuconazol, triadimefona, triadimenol, trifluralina, vinclozolin, clorpirifos, diazinon, diclorvos, dimetoato, ciflutrina, cipermetrina e fenvalerato e mirex.. Os solos reais avaliados foram coletados na região de Bauru. Além destes, o estudo de Toffoli et al. (2015), avaliou resíduos de Fipronil e seus metabólitos em amostras de solo do entorno da bacia hidrográfica de Turvo Grande-SP. Houve apenas um estudo do estado de Minas Gerais (Soares, et al., 2015), ao qual avaliou os agrotóxicos trifluralina alacloro, HCH, paration metílico, dieldrina, endrina e DDT em solos de fazendas com ampla produção de café localizadas na cidade de Manhuaçu.

3.3 Quocientes de risco: por estado brasileiro e comparada

Os quocientes de risco são utilizados como uma ferramenta para identificar possíveis cenários de risco (Isidori, Lavorgna, Nardelli, Pascarella, & Parrella, 2005) e no presente estudo também utilizamos para comparação de valores de referência para solo (RGV's) entre dois países. Os quocientes de risco calculados por estado brasileiro (figura 4) demonstraram que o estado do Pará foi o que apresentou os maiores quocientes de risco quanto as concentrações de 4,4' DDT, 4,4' DDE e 2,4' DDD em áreas residenciais. Logo, o segundo maior quociente de risco foi apresentado pelo estado do Mato Grosso também pelos herbicidas 4,4' DDT e seu metabólito 4,4' DDE em áreas residenciais. Ainda, o estado de São Paulo também apresentou um risco, porém relacionado aos agrotóxicos hexaclorobenzeno (HCB) e aldrin em área agrícola. Contudo, o estado do Rio de Janeiro apresentou um risco

quanto a concentração do agrotóxico Beta Hexaclorociclohexano (Beta- HCH) em área residencial.

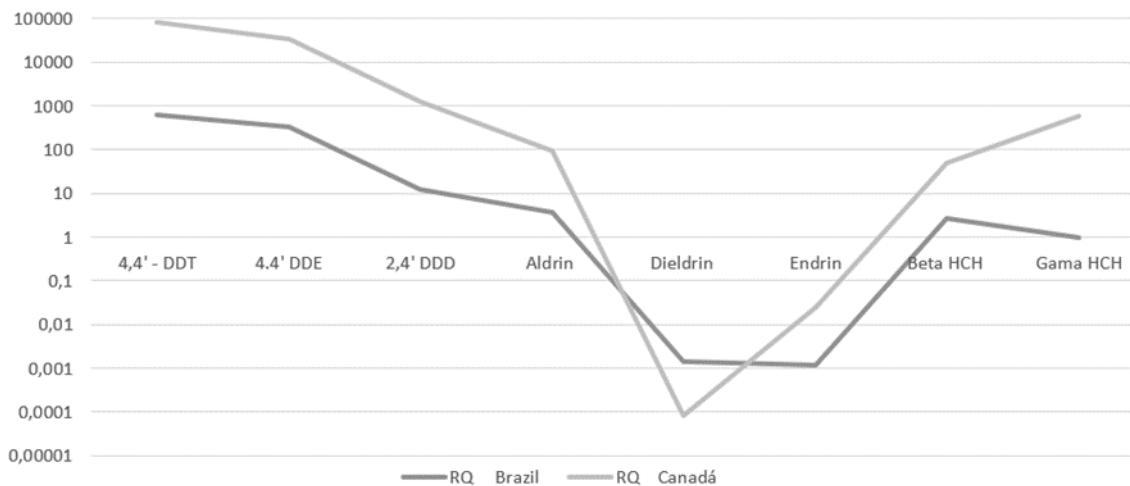
Os quocientes de risco apresentados principalmente em áreas residenciais são uma preocupação eminente, pois todos agrotóxicos compõem o grupo químico dos organoclorados. Este grupo de substâncias, apesar de atualmente ser proibido para comercialização no Brasil, podem causar diferentes efeitos deletério a saúde humana, como por exemplo neuropatia periférica, aplasia medular e aborto espontâneo (Flores, Ribeiro, Neves, & Queiroz, 2004). Como mecanismo de ação os organoclorados, de modo geral, atuam no fígado causando alterações enzimáticas e induzindo enzimas hepáticas do citocromo P450 (o que promove a ativação de substâncias carcinogênicas) (Saúde, 2002). Além disso, diferentes estudos, já identificaram a atuação de organoclorados como o DDT e metabólitos, clordano e heptacloro na inibição da comunicação intercelular devido a acumulação destes compostos na parte lipídica da membrana celular (Bahia, Guimarães, & Asmus, 2014)

Figura 4. Quocientes de risco por estado brasileiro utilizando como base os RGV's da resolução Conama 420/2009



Por fim, traçou-se um comparativo entre os quocientes de risco com os RGV's brasileiros e canadenses para os 8 agrotóxicos comuns aos 2 países (figura 5). Os RGV's canadenses foram escolhidos devido ao Canadá prover valores de referência mais restritivos em comparação a inúmeros países desenvolvidos (Li & Jennings, 2017). Com a comparação foi possível perceber que os quocientes de risco para o Canadá chegam a indicar um risco que varia de 18,75 a 94.000 vezes maior que para o Brasil. Portanto, com a revisão dos dados obtidos dos estudos e os quocientes de riscos brasileiros quanto ao Canadá pode-se indicar valores menos restritivos no Brasil.

Figura 5. Comparação entre os quocientes de risco para o Brasil e Canadá



3.4 Legislação brasileira: ingredientes ativos liberados e resolução para preservação dos solos

A atual situação brasileira quanto ao uso de agrotóxicos é uma preocupação sob inúmeros pontos de vista, tanto ambiental, social e de saúde pública. Entretanto, esta preocupação acaba sendo ainda maior devido a ampla permissividade da legislação brasileira, tema que já foi discutido em diferentes áreas de estudo (Albuquerque, et al., 2016; Souza, Costa, Maciel, Reis, & Pamplona, 2017). Esta permissividade pode ser representada pelo número alto de ingredientes ativos liberados para uso em território nacional aos quais, até metade do ano de 2019, totalizaram 518 ingredientes liberados onde mais de 40% são proibidos em inúmeros países como o Canadá e Estados Unidos (Amazonas, et al., 2018; ANVISA, 2019). Contudo, quando confrontamos os ingredientes ativos detectados no solo, apenas 5% não estão descritos na legislação vigente (ANVISA, 2019).

No que diz respeito a preservação da qualidade do solo no âmbito brasileiro, há a existência da resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (Brasil, 2009). Esta resolução estabelece que os empreendimentos que desenvolverem atividades com potencial de contaminação dos solos, deverão a critério do órgão ambiental competente, implantar o programa de monitoramento e apresentar relatório técnico conclusivo da qualidade do solo na área do empreendimento. No documento, esta resolução prevê valores de referência para 25 pesticidas ou metabólitos e o intuito do documento é de prevenir danos e proteger a saúde ecológica e humana dentro do território brasileiro.

Entretanto, a resolução CONAMA nº 420/2009 também tem sido alvo de discussões sobre sua permissividade e necessidade de revisão dos valores prescritos (Albuquerque, et al., 2016; Fernandes, et al., 2020; Marques, 2017; Souza, et al., 2017). Esta permissividade pode ser discutida com os resultados apresentados no presente trabalho, ao qual identificou que todos os pesticidas e metabólitos descritos na resolução foram investigados e detectados em alguma amostra de solo (Brasil, 2009). Contudo, apenas 21% dos agrotóxicos detectados em solos brasileiros estão descritos na resolução, indicando a necessidade de revisão dos valores existentes e a incorporação de novos agrotóxicos à lista do CONAMA.

O CONAMA dispõe de valores de proteção e de intervenção para solos, mas ficou estabelecido que os valores de qualidade são de responsabilidade dos órgãos ambientais estaduais, aos quais, tinham o prazo até 2014 para elaboração e disponibilização jurídica destes valores (Reis, Martinez, Da Silva-Junior, & De Lima, 2017). Ademais, também é de responsabilidade dos órgãos ambientais competentes a identificação, diagnóstico e intervenção de áreas suspeitas de contaminação, além da disponibilização destas informações (Brasil, 2009). O que até o momento de coleta dos dados desta revisão não foi disponibilizado. Portanto, indicamos que a realização de um inventário sobre sítios contaminados em todo território nacional, como preconizado na resolução vigente, é emergente. Isto porque os artigos científicos reportam dados pretéritos, ou seja, até 10 anos de lapso temporal entre a coleta do solo e a publicação, lapso este que pode ser utilizado para a intervenção adequada destas áreas. Além disso, para que ocorra de fato a identificação e gerenciamento do risco destes sítios será necessário o fortalecimento das políticas públicas em conjunto com um compromisso do governo federal e órgãos estaduais.

4. Conclusão

A partir dos resultados e discussões discernidos neste trabalho pode-se concluir 3 pontos chaves para perspectivas futuras:

1. Conclui-se que os agrotóxicos e regiões exploradas pelos estudos não são os de maior relevância agrícola atualmente no Brasil.

2. Conclui-se a falta de avaliação de cenários amplos de exposição e com resultados com poder de expansão a toda região, ou seja, busca de resíduos relacionados ao uso efetivo de agrotóxicos tanto em ambiente agrícola quanto em ambiente residencial. Isto por quê, parte dos estudos buscou avaliar locais com particularidades e históricos que não são comuns a outras localidades.

3. Conclui-se a emergência da revisão dos valores da resolução brasileira vigente e necessidade de implementação de valores de referência para solo por estado brasileiro (considerando peculiaridades ambientais, cultivos e uso de agrotóxicos de cada estado), ao qual seria compromisso das agência ambientais estaduais, para ocorrer de fato a proteção da saúde do solo e da vida.

5. Financiamento

Este trabalho foi apoiado pela parte da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código Financeiro 001

Referências

Albuquerque, A. F., Ribeiro, J. S., Kummrow, F., Nogueira, A. J. A., Montagner, C. C., & Umbuzeiro, G. A. (2016). Pesticides in Brazilian freshwaters: A critical review. *Environmental Science: Processes and Impacts*, 18(7), 779–787. Royal Society of Chemistry. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1039/C6EM00268D>

Amazonas, J., Silveira, G., Rodrigues, R., Almeida, V., Sarpa, M., & Freidch, K. (2018). Agrotóxicos utilizados no Brasil e proibidos em outros países. *Cadernos de Agroecologia*, 13(1).

ANVISA. (2019). Lista de Ingredientes Ativos de Uso Autorizado No Brasil. Retrieved from

<http://portal.anvisa.gov.br/registros-e-autorizacoes/agrotoxicos/produtos/monografia-de-agrotoxicos/autorizadas>

Bahia, C. A., Guimarães, R. M., & Asmus, C. I. R. F. (2014). Alterações nos marcadores hepáticos decorrentes da exposição ambiental a organoclorados no Brasil. *Cadernos Saúde Coletiva*, 22(2), 133–141. Retrieved from http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-462X2014000200133&lng=pt&tlng=pt

Brasil. (2009). Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009. *CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente*.

Castro, C. N. (2013). A Agricultura No Nordeste Brasileiro: Oportunidades E Limitações Ao Desenvolvimento. *IPEA boletim regional, urbano e ambiental*, 8, 77–89. Retrieved from http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/5592/1/BRU_n08_agricultura.pdf

Embrapa. (2019). Código florestal. Retrieved April 10, 2019, from <https://www.embrapa.br/codigo-florestal/area-de-reserva-legal-arl>

Fernandes, C. L. F., Volcão, L. M., Ramires, P. F., Moura, R., & Silva-Junior, F. M. R. (2020). DISTRIBUTION OF PESTICIDES IN AGRICULTURAL AND URBAN SOILS OF BRAZIL: A CRITICAL REVIEW. *Environmental Science: Processes and Impacts*, X(X), X.

Ferreira, P. A. L., Colabuono, F. I., Bicego, M. C., Montone, R. C., Figueira, R. C. L., Neves, P. A., Taniguchi, S., et al. (2017). Depositional history of polychlorinated biphenyls (PCBs), organochlorine pesticides (OCPs) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in an Amazon estuary during the last century. *Science of The Total Environment*, 615, 1262–1270. Elsevier B.V. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.303>

Flores, A. V., Ribeiro, J. N., Neves, A. A., & Queiroz, E. L. R. de. (2004). Organoclorados: um problema de saúde pública. *Ambiente & Sociedade*.

IBAMA. (2017). Boletim Anual de Produção, Importação, Exportação e Vendas de Agrotóxicos no Brasil, Boletim 2017.

IBGE. (2009). *Censo Agropecuário 2006. Censo agropecuário*. Retrieved from https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/2006_segunda_apuracao/default.shtm

IBGE. (2012). Censo Agro avança pela fronteira agrícola e mostra o Maranhão rural. Retrieved April 9, 2019, from <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/19116-censo-agro-avanca-pela-fronteira-agricola-e-mostra-o-maranhao-rural>

Kandil, M. M., El-Aswad, A. F., & Koskinen, W. C. (2015). Sorption–desorption of imidacloprid onto a lacustrine Egyptian soil and its clay and humic acid fractions. *Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 50(7), 473–83.

Kemmerich, M., Bernardi, G., Adaime, M. B., Zanella, R., & Prestes, O. D. (2015). A simple and efficient method for imidazolinone herbicides determination in soil by ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1412, 82–89. Elsevier B.V. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1016/j.chroma.2015.08.005>

Li, Z., & Jennings, A. (2017). Worldwide regulations of standard values of pesticides for human health risk control: A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(7), E826.

Liliane, C., & Esquivel, W. (2017). O contrabando de agrotóxicos e a violação do direito fundamental a saúde: estudo de caso na região oeste do Paraná Smuggling of agrochemical in the west region of Paraná and the violation of the fundamental right. *Ciências Sociais Aplicadas em Revista*, 17(33), 170–191.

Lima, C., & Meurer, E. (2013). Elementos-traço no solo, nas águas e nas plantas de uma lavoura de arroz irrigado do rio grande do sul. *REA*, 15, 20–30.

Lima, I. O. ., Suelos, T. E. N., & Cristina, T. (2010). Spectrophotometric Procedure for Determination of Trifluralin in Soil *, 47–52.

Loiola, C. C. P., Silva, C. J. M. da, & Tauil, P. L. (2007). Controle da malária no Brasil: 1965 a 2001. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 11(4), 235–244.

Marçal, W. S., Fernandes, J. A. da S., & Menck, M. F. (2017). SURTO DE INTOXICAÇÃO DE BOVINOS POR HEXACLOROBENZENO- BHC. *Archives of Veterinary Science*, 75–85.

Marques, L. (2017). Atlas do envenenamento alimentar no Brasil. *Unicamp*. Retrieved December 22, 2018, from <https://www.unicamp.br/unicamp/ju/artigos/luiz-marques/atlas-do-envenenamento-alimentar-no-brasil>

Nascimento, R. A., Nunoo, D. B. O., Bizkarguenaga, E., Schultes, L., Zabaleta, I., Benskin, J. P., Spanó, S., et al. (2018). Sulfluramid use in Brazilian agriculture: A source of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) to the environment. *Environmental Pollution*, 242, 1436–1443. Elsevier Ltd. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.122>

Oliveira, R. M. de, Bastos, L. H. P., Dias, A. E. X. de O., Silva, S. A. da, & Moreira, J. C. (2003). Concentração residual de hexaclorociclohexano em área contaminada na Cidade dos Meninos, Duque de Caxias, Rio de Janeiro, Brasil, após tratamento com óxido de cálcio. *Cadernos de Saúde Pública*, 19(2), 447–453.

ONU. (2009). *Stockholm Covention on Persistent Organic Pollutants (POPs)*. Secretariat of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants.

Polese, L., Dores, E. F. G. de C., Jardim, E. F. G., Navickiene, S., & Ribeiro, M. L. (2002). Determination of herbicides residues in soil by small scale extraction. *Eletica Quimica*, 2(1), 00.

Quinete, N. S., De Oliveira, E. D. S., Fernandes, D. R., Avelar, A. D. S., & Santelli, R. E. (2011). Assessment of organochlorine pesticide residues in Atlantic Rain Forest fragments, Rio de Janeiro, Brazil. *Environmental Pollution*, 159(12), 3604–3612. Elsevier Ltd. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2011.08.004>

Reis, F. O., Martinez, E., Da Silva-Junior, F. M. R., & De Lima, A. C. R. (2017). Análise dos

dispositivos legais nos estados brasileiros perante a Resolução 420/2009. *âmbito Jurídico*, 157(X), 1–5. Retrieved from <https://ambitojuridico.com.br/cadernos/direito-ambiental/analise-dos-dispositivos-legais-nos-estados-brasileiros-perante-a-resolucao-420-2009/>

Rodrigues, A. O., de Souza, L. C., da Silva Rocha, C. C., da Costa, A. C. G., & de Alcântara Mendes, R. (2017). Assessment of DDT and Metabolites in Soil and Sediment of Potentially Contaminated Areas of Belém, Amazon Region, Brazil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 99(1), 125–130. Springer US.

Saúde, M. da. (2002). Avaliação de risco à saúde humana por resíduos pesticidas organoclorados em Cidade dos Meninos, Duque de Caxias, RJ,. *Brasilia*. Retrieved December 22, 2018, from <http://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2015/janeiro/06/AVALIA----O-DE-RISCO-por-residuos-de-pesticidas-em-cidade-dos-meninos.pdf>

SIDRA/IBGE. (2017). Produção agrícola municipal. Retrieved April 9, 2019, from <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>

Soares, C., Neves, A., Queiroz, M., Oliveira, A., Costa, A., Assis, R. C., & Andrade, C. E. O. (2015). Determination of pesticides in soil using a hyphenated extraction technique. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 26(9), 1790–1797.

Soares, W. L., & Porto, M. F. (2007). Atividade agrícola e externalidade ambiental: uma análise a partir do uso de agrotóxicos no cerrado brasileiro. *Ciência & Saúde Coletiva*, 12(1), 131–143.

Souza, G. dos S., Costa, L. C. A. da, Maciel, A. C., Reis, F. D. V., & Pamplona, Y. de A. P. (2017). Presença de agrotóxicos na atmosfera e risco à saúde humana: uma discussão para a Vigilância em Saúde Ambiental. *Ciência & Saúde Coletiva*, 22(10), 3269–3280. Retrieved from http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232017021003269&lng=pt&tlng=pt

Teófilo Pignati, M., Costa De Souza, L., de Alcântara Mendes, R., de Oliveira Lima, M., Antonio Pignati, W., & Carlos Brito Pezzuti, J. (2018). Levels of organochlorine pesticides in

Amazon turtle (*Podocnemis unifilis*) in the Xingu River, Brazil. *Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 0(0), 1–7. Taylor & Francis. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/03601234.2018.1505077>

Vieira, E. D. R., Torres, J. P. M., & Malm, O. (2001). DDT environmental persistence from its use in a vector control program: A case study. *Environmental Research*, 86(2), 174–182.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Caroline Lopes Feijo Fernandes – 30%

Paula Florência Ramires – 15%

Renata Rodrigues de Moura – 15%

Roberta de Souza Pohren – 10%

Lisiane Martins Volcão – 15%

Flavio Manoel Rodrigues da Silva Júnior – 15%