



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS APLICADAS E GEODINÂMICA

CLÁUDIA COSTA SAENGER

**ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DE
INTOXICAÇÃO HUMANA POR AGROTÓXICOS AGRÍCOLAS E DE
METAIS PESADOS EM ÁGUAS SUPERFICIAIS NO ESTADO DE
GOIÁS**

Dissertação de Mestrado nº 144

Área de Concentração: Geoprocessamento e Análise Ambiental

Brasília - DF
Setembro de 2018



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - IG
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS APLICADAS E GEODINÂMICA

**ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DE
INTOXICAÇÃO HUMANA POR AGROTÓXICOS AGRÍCOLAS E
DE METAIS PESADOS EM ÁGUAS SUPERFICIAIS NO ESTADO
DE GOIÁS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geociências Aplicadas e Geodinâmica da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

Área de concentração: Geoprocessamento e Análise Ambiental

Orientador:

Prof. Henrique Llacer Roig

Brasília - DF

2018

TERMO DE APROVAÇÃO

CLÁUDIA COSTA SAENGER

ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DE
INTOXICAÇÃO HUMANA POR AGROTÓXICOS AGRÍCOLAS E DE
METAIS PESADOS EM MANANCIASIS NO ESTADO DE GOIÁS

Dissertação apresentada e defendida em 29 de outubro de 2018 como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Geociências Aplicadas e Geodinâmica, outorgado pela Universidade de Brasília.

Banca examinadora:

Henrique Llacer Roig – Orientador
Universidade de Brasília

Weeberb João Réquia Junior
Harvard School of Public Health – Examinador externo

Edilson de Souza Bias
Universidade de Brasília – Examinador interno

Brasília - DF
Outubro de 2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço pela licença para mestrado, que me proporcionou a oportunidade de confeccionar esta dissertação desde sua concepção até a elaboração final e a todos que direta ou indiretamente contribuíram para essa finalidade: ao Governador do Estado de Goiás, Marconi Ferreira Perillo Júnior; à Superintendente de Gestão e Planejamento de Goiás, Liliane Moraes Batista de Sá; ao ex-Presidente da Agência Goiana de Defesa Agropecuária, Arthur Alves de Toledo e ao atual Presidente desta Agência, José Manuel Caixeta Haun; ao Gerente da Regional Rio Paranã, Geraldo Pereira Filho, e aos que adicionaram ao estatuto do servidor goiano o dispositivo legal da licença remunerada para estudo. Sem meu ganha-pão cotidiano não teria sido possível este trabalho.

Agradeço pela aprendizagem cotidiana, pela prontidão, atenção, paciência e pelo estímulo para esta pesquisa ao professor e orientador, Dr. Henrique Llacer Roig; aos professores Walter Massa Ramalho, André Caçado e Marina Neumann e aos colegas de laboratório, Francielle Lima, Daniela Pereira, Rogério Baptista e Maria Damasceno. Aprendi muito com vocês.

Agradeço pelo carinho e apoio do meu companheiro de todas as horas, Jaime Sautchuk, pelo afeto e compreensão de minha mãe, Regina de Magalhães Costa, e de meu pai, Marco Antonio Wittmann Saenger. Amo vocês.

Agradeço pela estabilidade emocional e ternura, dada por meu amigo Rodrigo Fávero, também pela Janete Krissak Pinheiro e Dr. Cassiano Teixeira de Moraes.

Agradeço pelo tanto que me é dado à vida.

*“Meu tema é o instante? meu tema de vida.
Procuro estar a par dele, divido – me milhares
de vezes quanto os instantes que decorrem,
fragmentária que sou e precários os momentos
– só me comprometo com vida que nasça com
o tempo e com ele cresça: só no tempo há
espaço pra mim.”*

Clarice Lispector

ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DE INTOXICAÇÃO HUMANA POR AGROTÓXICOS AGRÍCOLAS E DE METAIS PESADOS EM MANANCIASIS NO ESTADO DE GOIÁS

RESUMO

Autora: Cláudia Costa Saenger

Orientador: Henrique Llacer Roig

RESUMO: Em razão de contaminarem organismos não-alvos, os agrotóxicos constituem um relevante objeto para estudos do comportamento dessas substâncias na biota e no meio ambiente. Em virtude desse efeito, o objetivo deste trabalho foi descrever e analisar a epidemiologia das intoxicações por agrotóxicos agrícolas nos 246 municípios em Goiás, visando à eficiência e economicidade na administração pública, de maneira a prover de informações que direcionem ações dos agentes do estado. Para tanto, calcularam-se medidas, como o coeficiente de incidência e litro de agrotóxicos por hectares, essas foram espacializadas e quantificadas em mapas para posterior comparação entre essas duas variáveis. Além disso, foram sistematizados os dados sobre metais pesados nas águas de superfície, por município goiano. Os resultados do estudo indicam aumento do número de casos de pessoas intoxicadas, bem como de municípios em que residem as pessoas acometidas. Essas ocorrências têm um padrão de distribuição definido, que é na mesorregião sul goiana. A intoxicação de pessoas se associa com a quantidade de agrotóxicos aplicada em cada município: nos municípios no norte do estado têm pouca aplicação de agrotóxicos e poucos casos; já os municípios do sul do estado têm muita aplicação e muitos casos. A contaminação da água não pôde ser associada à intoxicação humana propiciada pela dispersão dos agrotóxicos via ambiental, pelo menos ao que diz respeito aos elementos chumbo e arsênio. Entretanto, os agrotóxicos aplicados nas lavouras podem viabilizar outros resíduos de metais pesados, cujas análises serão disponibilizadas em um banco de dados para futuros estudos.

Palavras-chave: Coeficiente de Incidência, Agrotóxicos Agrícolas, Intoxicações.

ABSTRACT

Because they contaminate non-target organisms, pesticides are a relevant object for studies on the behavior of these substances in biota and in the environment. As a result of this effect, the objective of this study was to describe and analyze the epidemiology of poisoning by agricultural pesticides in the 246 municipalities in Goiás, aiming at efficiency and economy in public administration, in order to provide information those direct actions of state agents. For this, measurements were calculated and these were spatialized and quantified in maps for later comparison between the different information. These measures consisted in the sizing of the number of cases in the period, the population per municipality, the calculation of the incidence coefficient, the quantity of liters of pesticides per agricultural crop, and the systematization of data on heavy metals in surface waters, by municipality of Goiás. The results of the study indicate an increase in the number of cases of intoxicated people, as well as of the municipalities in which the affected people live. These occurrences have a defined distribution pattern, which is the southern Goiás mesoregion. Intoxication of people is associated with the amount of pesticides applied in each municipality: in the municipalities in the north of the state they have little application of pesticides and few cases; already the municipalities of the south of the state have high application and many cases. Environmental poisoning cannot be associated with lead and arsenic elements, although applied pesticides may allow other heavy metal residues, whose analyzes will be available in a database for future studies

Keywords: Incidence rate, Pesticides, Poison.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1: Número de casos de intoxicação por agrotóxicos agrícolas de acordo com a idade em Goiás – 2007 a 2017.....	27
Figura 2-2: Coeficiente de Incidência de intoxicações por agrotóxicos agrícolas por mesorregião de Goiás e média geral do Estado.	28
Figura 2-3: Coeficiente de Incidência de intoxicações por agrotóxicos agrícolas por mesorregião de Goiás e média geral do Estado (A) 2007 a 2009; (B) 2010 a 2012; (C) 2013 a 2015; (D) 2016 e 2017.....	29
Figura 2-4: Distribuição de frequência do Coeficiente de Incidência em Goiás (A) 2007 a 2009; (B) 2010 a 2012; (C) 2013 a 2015; (D) 2016 e 2017.	30
Figura 3-1: Análise de conglomerados por meio do método de Scan ZIP: (A) 2007 a 2009; (B) 2010 a 2012 ; (C) 2013 a 2015 e (D) 2016 e 2017, em que as cores definem as probabilidades de ocorrência.....	44
Figura 4-1: Estado de Goiás, em 5 mesorregiões, com exemplos de valores aleatórios de X e Y.	52
Figura 4-2: Matriz de contiguidade do tipo Queen.	53
Figura 4-3: Gráfico de dispersão de Moran (Moran’ Scatterplot).....	55
Figura 4-4: Valores possíveis do gráfico de dispersão de Moran.	56
Figura 4-5: Cluster Map (A). Mapa de significância, indicando p-valor que varia entre 0,001; 0,005 e 0,01, em escala de cores (B). Relação entre as variáveis “x” e “y”, de acordo com o gráfico de dispersão (C) e os resultados da randomização de Monte Carlo por 999 vezes (D) de 2007 a 2009.....	60
Figura 4-6: Cluster Map (A). Mapa de significância, indicando p-valor que varia entre 0,001; 0,005 e 0,01, em escala de cores (B). Relação entre as variáveis “x” e “y”, de acordo com o gráfico de dispersão (C) e os resultados da randomização de Monte Carlo por 999 vezes (D) de 2010 a 2012.....	61
Figura 4-7: Cluster Map (A). Mapa de significância, indicando p-valor que varia entre 0,001; 0,005 e 0,01, em escala de cores (B). Relação entre as variáveis “x” e “y”, de acordo com o gráfico de dispersão (C) e os resultados da randomização de Monte Carlo por 999 vezes (D) de 2013 a 2015.....	62
Figura 4-8: Cluster Map (A). Mapa de significância, indicando p-valor que varia entre 0,001; 0,005 e 0,01, em escala de cores (B). Relação entre as variáveis “x” e “y”, de acordo com o gráfico de dispersão (C) e os resultados da randomização de Monte Carlo por 999 vezes (D) de 2016 a 2017.....	63

Figura 5-1: Gráfico de comercialização de diferentes agrotóxicos, em percentual.....	69
Figura 5-2: Fluxograma metodológico deste estudo.	71
Figura 5-3: validação da topologia.....	73
Figura 5-4: Mapa da contaminação de pontos de captação de água versus intoxicação por agrotóxicos agrícola no ano de 2012, em Goiás.....	75
Figura 5-5: Mapa da contaminação de pontos de captação de água versus intoxicação por agrotóxicos agrícola no ano de 2013, em Goiás.....	76
Figura 5-6: Mapa da contaminação de pontos de captação de água versus intoxicação por agrotóxicos agrícola no ano de 2014, em Goiás.....	77
Figura 5-7: : Municípios analisados e não analisados.....	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1: Ingredientes ativos vendidos (T).....	31
Tabela 4-1: Valores aleatórios segundo mesorregião de Goiás.....	52
Tabela 4-2: :Exemplo de cálculo de uma matriz de distância de contiguidade Queen	52
Tabela 4-3: Valores de ZI são produtos da matriz de contiguidade W por $(x_k - \bar{x}_k) / \sigma_k$	53
Tabela 4-4: Soma ZI, cuja célula correspondente é realçada em amarelo.....	54
Tabela 4-5: Demonstração da equação 1.....	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1-2: Produção de culturas por área (ha).....	22
Quadro 2-2: Casos de Incidência de intoxicação por agrotóxicos agrícolas e população, por ano, em Goiás.....	28
Quadro 3-1: Valores da razão de log-verossimilhança (LLR) para o método Scan ZIP, número de casos, p-valor e população para cada cluster em cada triênio e o último biênio.	42
Quadro 4-1: Valores possíveis da correlação espacial.	56
Quadro 4-2: Protocolo descrito por de utilização de pesticidas	58
Quadro 5-1: Nomes dos municípios com os respectivos geocódigos.	81

SUMÁRIO

Capítulo 1 – Apresentação	14
1.1 Contextualização do agravo intoxicação por agrotóxicos agrícolas.....	17
1.2 Objetivo Geral	19
1.2.1 Objetivos Específicos	19
1.3 Área de estudo.....	20
1.4 Referências bibliográficas	23
Capítulo 2 – Análise da distribuição espacial das intoxicações de seres humanos por agrotóxicos agrícolas de 2007 a 2017 em Goiás, Brasil	24
1. Introdução	24
2. Materiais e métodos	25
3. Resultados	27
4. Discussão.....	32
5. Conclusão.....	33
6. Referências Bibliográficas	35
Capítulo 3 - Análise de conglomerados espaciais do agravo intoxicação por agrotóxicos agrícolas em seres humanos de 2007 a 2017 em Goiás, Brasil	38
1. Introdução	38
2. Materiais e métodos	40
3. Resultados	42
4. Discussão.....	45
5. Conclusão.....	46
6. Referências Bibliográficas	48
Capítulo 4 – Correlação entre dados de incidência do agravo intoxicação e quantidade de agrotóxicos aplicada nas lavouras nos anos de 2007 a 2017 em Goiás, Brasil.....	50
1. Introdução	50
2. Materiais e métodos	57
3. Resultados	58
4. Discussão.....	63
5. Conclusão.....	64
Capítulo 5 - Associação de dados de contaminação por metais pesados em águas superficiais e casos de intoxicação humana por agrotóxicos agrícolas, de 2012 a 2014, em Goiás, Brasil.....	68
1. Introdução	68
2. Materiais e Métodos.....	70

3. Resultados	73
4. Discussão.....	78
5. Conclusão.....	79
6. Referências Bibliográficas	83
Capítulo 6 - Conclusão da dissertação	85

Capítulo 1 – Apresentação

A relação entre o uso de agrotóxicos e prejuízos à saúde é razoavelmente conhecida, no que concerne a danos decorrentes do contato direto entre agentes e vítimas, no local em que são exercidas atividades agrícolas. O presente trabalho busca mapear, examinar e demonstrar a variação espaço-temporal da incidência do agravo à saúde em função do incremento do uso de agrotóxicos nas principais lavouras cultivadas no Estado de Goiás para o período de 11 anos (2007 a 2017).

Busca também tabular os dados e examinar as informações relativas à presença de metais pesados em águas superficiais, no esforço de evidenciar relações entre saúde da população local/elementos tóxicos presentes nas águas de superfície. Para isso, os estudos foram desenvolvidos a partir de dados fornecidos por duas fontes oficiais: Ministério da Saúde (MS) e Companhia de Saneamento de Goiás (SANEAGO).

Quanto à estrutura, a dissertação compreende seis capítulos organizados de modo a abarcar todos os estudos e conclusões necessários a cumprir os objetivos, sem, todavia, se desfazer em partes que o façam perder de vista a finalidade a ser alcançada.

O primeiro capítulo contempla uma visão holística do que consta em seu conteúdo. Versa sobre os objetivos, as hipóteses, além de conter a justificativa e a localização da região geográfica do tema a ser tratado.

O segundo capítulo é um estudo descritivo e ecológico da intoxicação por agrotóxicos agrícolas, realizado a partir da investigação e análise das seguintes variáveis: i) casos de intoxicação por agrotóxicos; ii) população em risco no ano em que se contabilizaram os casos.

O terceiro é uma análise de conglomerados de municípios com prováveis diagnósticos do agravo “intoxicação humana por agrotóxicos agrícolas”.

O quarto capítulo é uma análise de correlação espacial entre o uso de agrotóxicos e a incidência de intoxicação por esses produtos, a partir do estudo das quantidades utilizadas em Goiás, de 2007 a 2017, de acordo com o protocolo de uso desses produtos em diferentes lavouras, em particular as de soja, milho e cana-de-açúcar. Na metodologia deste artigo foram utilizadas as variáveis “incidência” e “utilização de agrotóxicos agrícolas”.

O quinto capítulo, realizado a partir das variáveis i) contaminantes inorgânicos; e ii) pontos de coleta de água de superfície em Goiás, busca verificar uma relação (*proxy*) entre as regiões de conglomerados de casos de intoxicação por agrotóxicos e a presença de contaminantes inorgânicos nas águas superficiais do estado.

Por fim, o último capítulo é a síntese das conclusões observadas neste trabalho.

Como se tratam de artigos distintos a serem submetidos separadamente, as referências bibliográficas, tabelas, quadros e figuras serão definidos para cada capítulo.

Ressalta-se aqui que, entre as várias denominações utilizadas para agrotóxicos, como praguicidas, biocidas e etc., optou-se pelo termo “agrotóxico”, que é o mais utilizado na legislação brasileira atual (lei Federal Nº. 7802/07/1989 e o Decreto 4.074/01/2002)¹.

De maneira a dar uma visão geral da dissertação, a Figura 1-1 apresenta graficamente as etapas compreendidas nela. Enquanto que a definição de indicadores perpassa pelo cálculo do coeficiente de incidência ou de utilização de agrotóxicos por hectare nas lavouras), a espacialização de indicadores, por sua vez, diz respeito ao mapeamento temático dos indicadores, em todos os horizontes temporais aqui abordados. A interação/ comparação, por sua vez, consiste na sobreposição dessas diferentes informações.

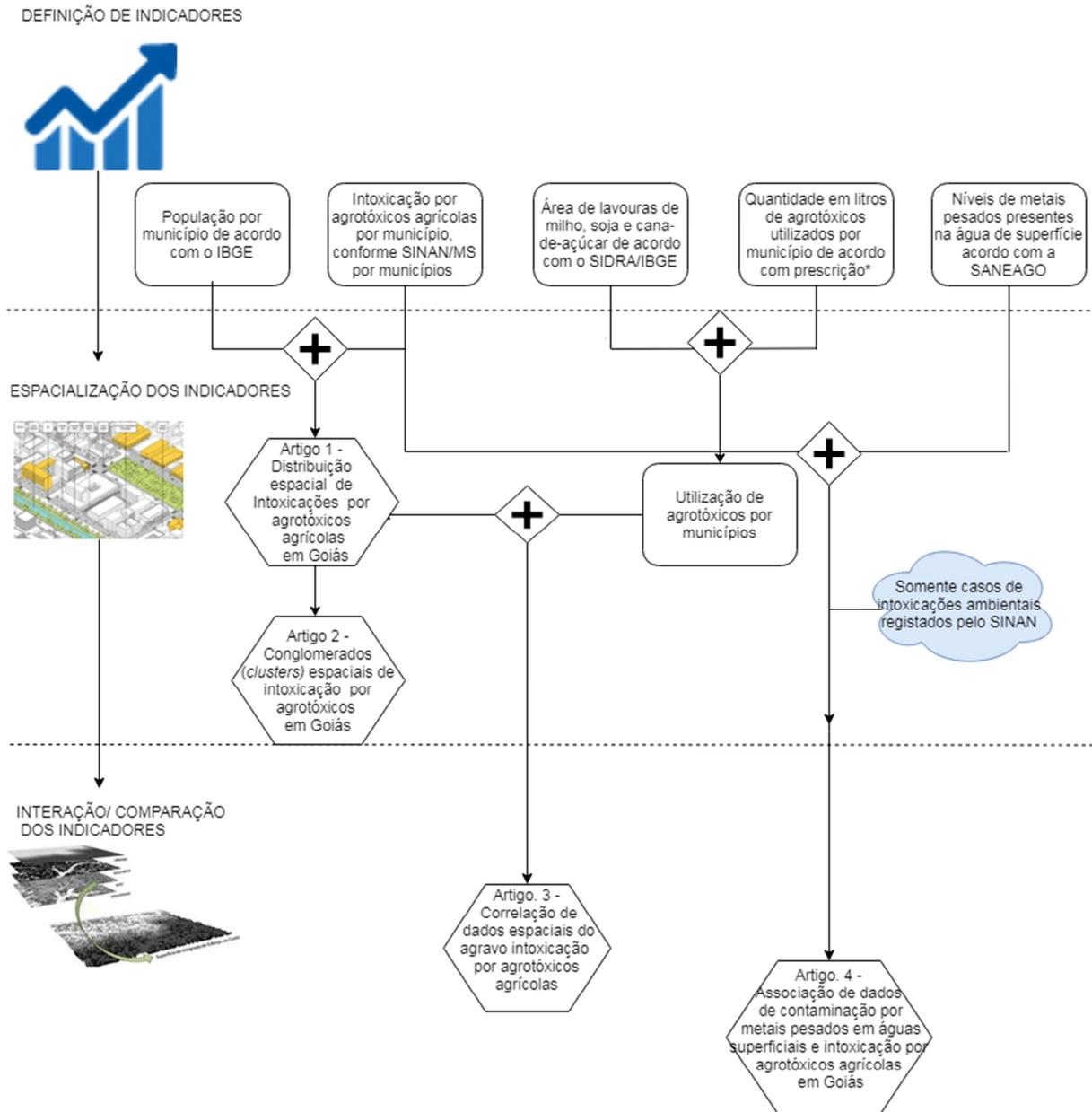


Figura 1-1: Esquema analítico da dissertação

1.1 Contextualização do agravo intoxicação por agrotóxicos agrícolas

O Brasil é um país que obtém da exportação de produtos agrícolas parte considerável de seus ganhos em moedas fortes, sendo esses produtos cultivados em áreas de monoculturas conduzidas sob tecnologias dependentes do uso de agrotóxicos.

O Ministério da Saúde apura e classifica os casos de intoxicação humana por agrotóxicos com base em diferentes metodologias definidas pelo referido órgão, que podem ser exames laboratoriais que evidenciem a intoxicação e, também, no caso de morte, exame médico legal. A intoxicação pode também ser diagnosticada a partir de manifestações clínicas, associadas ao saber de antecedente comprovado de exposição a produtos tóxicos. Outra metodologia possível compara o quadro clínico que está em questão com outros quadros que se vinculem àquele em questão no tempo e espaço². As metodologias de apuração, em resumo, são classificáveis em três grupos, a saber: diagnósticos laboratoriais, diagnósticos clínicos e diagnósticos epidemiológicos². Na presente dissertação, qualquer um dos três tipos de metodologias foi considerada válida para fins de quantificação dos números que embasam as conclusões.

Quanto ao vínculo epidemiológico, estudos mais recentes os pesquisadores se utilizam do Sistema de Informações Geográficas (SIG) para estimar os efeitos na saúde associados com o uso de agrotóxicos na agricultura³.

As notificações de intoxicação de pessoas por agrotóxicos são também classificadas em ocupacionais ou não-ocupacionais. Ambos os tipos de exposição são estratificados por categorias de exposição: i) ambiental; ii) acidental; iii) habitual; iv) tentativa de suicídio; e v) outros. As respectivas quantidades de notificações⁴ foram tabuladas nas tabelas 1-1 e 1-2.

A categoria de exposição “ambiental” refere-se à intoxicação não-intencional decorrente da contaminação do solo, ar ou água, de maneira isolada ou cumulativa⁵. A categoria “acidental” engloba os casos de exposição indesejável e inesperada, não intencional, e gravosa à saúde⁵. A categoria de exposição “habitual” está relacionada a qualquer caso ou efeito tóxico decorrente do uso rotineiro de agrotóxico, incluindo-se o uso habitual em ambiente de trabalho⁵. A categoria “tentativas de suicídio” é referente ao uso intencional de qualquer produto com a intenção de causar a própria morte⁵. Na

categoria de exposição “outros”, são contabilizados os casos de intoxicação em que estão inclusas tentativas de abortamento, tentativas de homicídio e outros eventos que não foram classificados nas categorias anteriores, mas que não podem ser ignorados. A Tabela 1-1 dá ideia geral dos casos totais ocupacionais. Por sua vez, a Tabela 1-2 diz de casos totais não ocupacionais. Ambas serão especificadas, por municípios, nos artigos seguintes. O total de casos, tanto ocupacionais, quanto não ocupacionais, foi utilizado nos artigos 1, 2 e 3, quanto aos casos ambientais, acidentais e habituais. Por outro lado, apenas os casos acidentais foram utilizado no artigo 4.

Tabela 1-1: Quantidade de casos ocupacionais, em suas categorias, por ano, em Goiás, de acordo com o Sistema Nacional de Notificações e Agravos (SINAN) do Ministério da Saúde (MS), 2018.

Casos ocupacionais						
ANO	Ambiental	Acidental	Habitual	Tentativa de suicídio	Outros	TOTAL
2007	1	15	8	0	5	29
2008	6	51	6	1	12	76
2009	4	38	17	2	14	75
Subtotal	11	104	31	3	31	180
2010	2	32	9	0	26	69
2011	7	53	15	0	14	89
2012	5	39	11	1	39	95
Subtotal	14	124	35	1	79	253
2013	21	86	13	2	44	166
2014	23	89	16	2	40	170
2015	5	58	17	0	11	91
Subtotal	49	233	46	4	95	427
2016	10	69	12	3	27	121
2017	7	51	22	4	14	98
Subtotal	17	120	34	7	41	219
Total no período	91	581	146	15	246	1079

Tabela 1-2: Quantidade de casos não ocupacionais, em suas categorias, por ano, em Goiás, de acordo com o Sistema Nacional de Notificações e Agravos (SINAN) do Ministério da Saúde (MS), 2018.

Casos não ocupacionais						
ANO	Ambiental	Acidental	Habitual	Tentativa de suicídio	Outros	TOTAL
2007	0	13	0	16	2	31
2008	3	7	0	8	4	22
2009	0	14	0	33	4	51
Subtotal	3	34	0	57	10	160
2010	11	11	3	30	1	56
2011	0	16	0	39	4	59
2012	0	28	3	54	9	94
Subtotal	11	55	6	123	14	252
2013	10	33	2	71	10	126
2014	3	26	4	64	6	103
2015	6	24	3	58	3	94
Subtotal	19	83	9	193	19	432
2016	0	41	0	66	4	111
2017	1	32	5	83	5	126
Subtotal	1	73	5	149	9	259
Total no período	33	172	15	373	43	844

Os casos relatados como ocupacionais e não ocupacionais totalizam 1.923. Entretanto, foram identificados 2.182 casos de intoxicação por agrotóxicos agrícolas de acordo com o SINAN-MS, o que significa que os casos não discriminados em quaisquer dessas categorias somam 259.

1.2 Objetivo Geral

Analisar e especializar a influência do uso de agrotóxicos no Estado de Goiás.

1.2.1 Objetivos Específicos

Aqui se propõe um modelo de risco para prever regiões de maiores quantidades de intoxicações, possibilitando aos órgãos de defesa agropecuária o

direcionamento das ações de fiscalização, bem como à vigilância, contribuindo-se, assim, para o aprimoramento do Sistema Único de Saúde (SUS).

Elencamos a seguir os objetivos específicos:

- I. Identificar áreas de intoxicação humana por agrotóxicos em cada município;
- II. Identificar a quantidade de agrotóxicos utilizados em lavouras de soja, milho e cana-de-açúcar por município;
- III. Analisar estatisticamente as distribuições das intoxicações,
- IV. Verificar se há associação entre variáveis, por meio do Índice de Moran bivariado.
- V. Verificar qualitativamente a adequação aos parâmetros relativos à contaminação dos pontos de coleta de água por metais pesados;

1.3 Área de estudo

O Estado de Goiás, localizado na região Centro-Oeste do Brasil (Figura 1-2), tinha, no último censo populacional, realizado em 2010, 583 mil moradores na zona rural, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística⁶, e cerca de 5 milhões moradores da zona urbana. A área do Estado compreende 340.106 km², também de acordo com o IBGE (2018). A taxa populacional na zona rural decresceu em 3,87%, desde 2000 a 2010, enquanto que a zona urbana aumentou em 23% neste mesmo período.

Localização do Estado de Goiás-Brasil

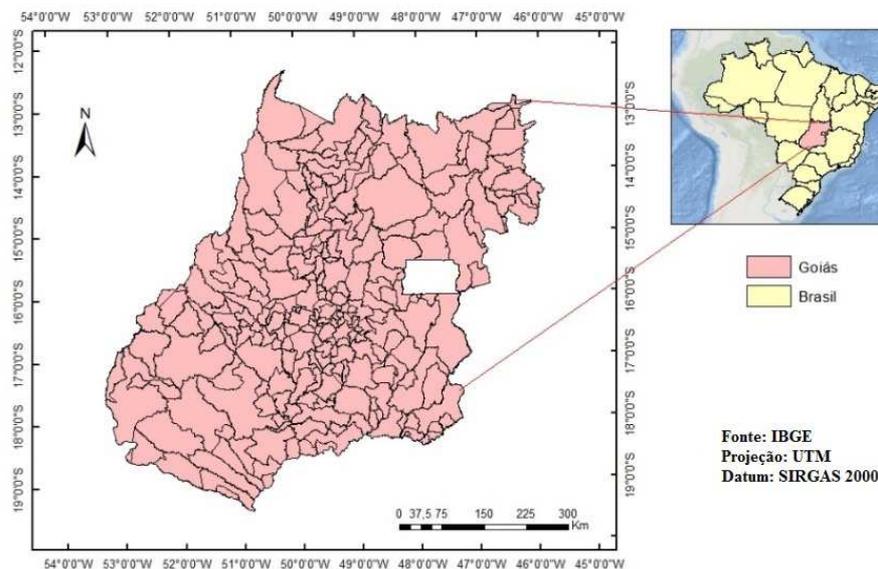


Figura 1-2: Localização geográfica de Goiás – Brasil

A produção de milho, soja e cana-de-açúcar, em 2017, no Brasil é discriminada, por UFs, na Figura 1-3. Goiás é o segundo maior produtor de cana, o terceiro de milho e o quarto de soja, quando comparado ao restante das UFs⁷.

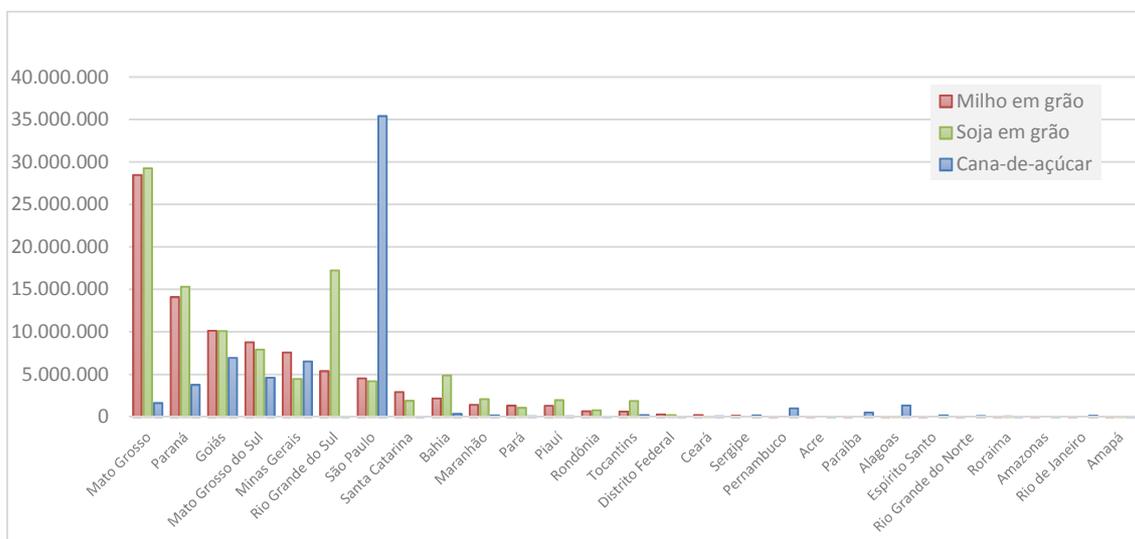


Figura 1-3: Quantidade (em T) de milho, soja e cana produzidas em 2017, por Unidade Federativa.

O Estado de Goiás foi a área de estudo escolhida por estar entre as quatro Unidades Federativas que mais utilizam o glifosato, que, por sua vez, é o agrotóxico de

maior comercialização no território nacional. O segundo agrotóxico mais utilizado é o 2,4 D, cujo comercialização por esta Unidade Federativa é de 2085 toneladas. (Larissa Bombardi)

No que tange à produção agrícola, Goiás vem se auto-superando⁷⁻⁹ a cada triênio, de acordo com o que mostra o Quadro 1-2 abaixo.

Quadro 1-1: Produção de culturas por área (ha) (IBGE, 2018)

Ano/cultura	Soja	Milho	Cana-de-açúcar
2007 a 2009	6.815.933	2.773.880	826.939
2010 a 2012	7.681.102	3.040.253	2.009.077
2013 a 2015	9.388.070	4.044.024	2.685.377
2016 a 2017	6.261.921	3.204.586	1.832.929

Por sua vez, se a quantidade de agrotóxicos recomendada por lavouras é utilizada de acordo com protocolos prescritos¹⁰, ela também aumenta a cada triênio. Isso significa que de 2007 a 2009 terão sido utilizados aproximadamente 77 milhões de litros de agrotóxicos; de 2010 a 2012, 90 milhões; de 2013 a 2015, 113 milhões, e de 2016 a 2017, terão sido utilizados 78 milhões de litros desses produtos.

1.4 Referências bibliográficas

1. Silva JM, Faria HP, Silva EN, Pinheiro TMM. Protocolo de Atenção à Saúde dos Trabalhadores Expostos a agrotóxicos. Diretrizes para Atenção Integr. à Saúde do Trab. Complexidade Difer. 2006;1–27.
2. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Documento orientador para a implementação da vigilância em saúde de populações expostas a agrotóxicos; 2013. [Acesso em 12.07.2016]. Disponível em: <www.saude.gov.br/svs/pisast> Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde.
3. Kim KH, Kabir E, Jahan SA. Exposure to pesticides and the associated human health effects. Sci Total Environ 2017; 575:525–35.
4. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. SINAN [Internet]. [Acesso em 27.12.2017] Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?sinannet/cnv/Intoxgo.def>>
5. Secretaria do Estado da Saúde. Instrutivo comentado da ficha de notificação. 2016; [Acesso em 13.07.2018]. Disponível em: <<https://central3.to.gov.br/arquivo/312293/>>
6. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [Home page na Internet]. Sist. IBGE Recuper. Automática. Produção Agrícola Munic. [Acesso em 21.07.2017]; Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/202>>
7. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [Home page na Internet]. Sist. IBGE Recuper. Automática. Produção Agrícola Munic. [Acesso em 2018 Jul 26]. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6615>>
8. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [Home page na Internet]. Sist. IBGE Recuper. Automática. Produção Agrícola Munic. 2018 [Acesso em 10.05.2018]. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457>>
9. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [Home page na Internet]. Sist. IBGE Recuper. Automática. Produção Agrícola Munic. [Acesso em 10.08.2018]. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/772>>
10. Pignati WA, Lima FAN de S e, Lara SS de, et al. Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: uma ferramenta para a Vigilância em Saúde. Cien Saude Colet 2017;22(10):3281–93.

Capítulo 2 – Análise da distribuição espacial das intoxicações de seres humanos por agrotóxicos agrícolas de 2007 a 2017 em Goiás, Brasil

Periódico a ser submetido - Revista Brasileira de Epidemiologia

1. Introdução

Diante da carência de informações acerca de pessoas expostas a agrotóxicos, a Organização Mundial de Saúde -OMS, já em publicação de 1995, preconizava estudos para avaliação dos efeitos dessas substâncias na saúde humana¹. O mesmo texto aponta a necessidade de dados descritivos, tanto relacionados com envenenamento por agrotóxicos, quanto com as causas de morbidade nas comunidades envolvidas, bem como com os níveis da exposição ambiental e humana a esses produtos. Entretanto, observa-se também que, nos dias atuais, ainda há poucos estudos que abordem o tema.

Estimativas indicam que, em todo mundo, foram produzidas cerca de 2,72 milhões de toneladas de agrotóxicos entre 2011 e 2012². Segundo publicação do Ministério da Saúde - MS (2013), entre os países da América Latina, o Brasil é o maior consumidor de agrotóxicos, respondendo por 86% do consumo³, percentual que corresponderia, em 2017, a 508.557 toneladas⁴.

Ainda segundo os dados do MS foram comercializadas cerca de 95 mil toneladas de agrotóxicos agrícolas, apenas no Estado de Goiás, no ano de 2013. Essa quantidade equivale à aplicação de 16,96 Kg/ha de agrotóxicos na área plantada no Estado. Quantidade que ultrapassa a média brasileira, que é de 16,44 Kg/ha⁵. Os números do MS, todavia, divergem dos dados do IBGE: segundo estes, referentes ao ano de 2013, em Goiás, o volume de agrotóxicos negociado foi de 46,5 mil toneladas⁴.

Em outros estados com grande produção agrícola e com área territorial semelhante à de Goiás, o uso de agrotóxicos é inferior⁶. Em Mato Grosso, por exemplo, com 357 mil km², o quociente entre a quantidade de agrotóxicos comercializados e a área cultivada corresponde a 14,17 Kg/ha. O Estado do Maranhão, por sua vez, tem a área territorial próxima a 332 mil Km² e produção agrícola menor do que a de Goiás (9º produtor de soja, 10º produtor de milho e 12º produtor de cana-de-açúcar); o quociente entre o volume de agrotóxico comercializado e a área plantada é de 9,26 Kg/ha⁶.

As culturas da soja, do milho e da cana-de-açúcar, no ano de 2015, responderam por mais de 70% do uso total de agrotóxicos no Brasil⁷

2. Materiais e métodos

Propõe-se aqui um estudo descritivo e ecológico, portanto observacional, baseado na análise dos casos incidentes de intoxicação humana por agrotóxicos agrícolas. Os dados de entradas foram basicamente: o número de agravo de intoxicações por agrotóxicos agrícolas, a população por município e o limite dos municípios de Goiás, e a venda de agrotóxico em Goiás, de acordo com o MAPA.

Os dados utilizados nesse estudo foram os seguintes: o número de agravo de intoxicações por agrotóxicos agrícolas, a população por município, o limite dos municípios de Goiás, e o volume de agrotóxicos comercializados em Goiás, de acordo com o MAPA.

Embora alguns autores se utilizem do Sistema Nacional de Informações Toxicofarmacológicas (SINITOX)¹⁹⁻²¹, por ser este um estudo mais recente, foi utilizado o Sistema de Informações de Agravos de Notificações (SINAN) enquanto fonte de referência. Ressalta-se que há outros estudos²²⁻²⁴ que igualmente utilizam do SINAN. Assim, foram analisados os casos oficiais disponibilizados no sítio eletrônico do SINAN, acerca do agravo de intoxicações por agrotóxicos agrícolas em humanos de 2007 a 2017, por município de residência, anualmente, sendo no último ano apurados os casos até dia 21/12. Os dados são referentes aos casos, por ano, em todos os 246 municípios goianos. O SINAN dispõe os casos de intoxicações por agrotóxicos agrícolas, que podem ser selecionados por idade, gênero, tipo de exposição, entre outras variáveis.

Os dados do agravo em questão estão de acordo com a Classificação Internacional de Doenças (CID), décima revisão, e foram utilizados na pesquisa os casos de envenenamento acidental (X 48), envenenamento intencional (X 68), envenenamento de causa indeterminada (Y 18), que constam nos capítulos XIX a XXI do CID 10.

O envenenamento acidental X48 inclui intoxicação nas residências, nas habitações coletivas, escolas, comércio, fazenda, entre outros. Podem ser causadas por fungicidas, herbicidas, inseticidas, produtos usados na proteção de florestas e raticidas, excluindo adubos e fertilizantes. Por sua vez, a intoxicação intencional X 68 inclui os mesmos locais e os mesmos produtos, porém sob o viés suicida. Sobre a classificação Y 18, é utilizada quando não se sabe a intenção da exposição²⁵.

O tamanho da população por município foi obtido por meio do TABNET²⁶, que também compõe o sítio eletrônico do MS e contempla dados secundários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), compilados e tabulados.

A venda de ingredientes ativos em Goiás e suas respectivas quantidades, em toneladas, por ano foi também obtida junto ao MAPA, por meio da Lei de Acesso à Informação (Lei nº 12.527, de 18 de novembro de 2011)²⁷.

Os atributos alfa-numéricos obtidos do TABNET e dados georreferenciados de Goiás obtidos dos IBGE foram relacionados, conforme os geocódigos dos municípios da base do IBGE. Foi consolidada a base de dados em um *geodatabase* do *software* ArcGIS (ESRI®), versão 10.2.

A incidência da população envenenada por agrotóxicos agrícolas foi classificada por quantis para todos os períodos, tendo os nove primeiros anos sido agrupados por triênios, além do biênio de 2016 e 2017.

Para obtenção do Coeficiente de Incidência (CI), o número de casos novos registrados foi dividido pelo número de indivíduos da população residente do respectivo ano de notificação desses casos, de acordo com o município de notificação, multiplicado por cem mil, conforme terminologia proposta por Costa *et. al*²⁸, de acordo com a equação 1²⁹.

$$CI = \frac{CN * 100.000}{Pop} \quad \text{Equação 1}$$

CI: Coeficiente de Incidência; onde CN é o número de casos novos de pessoas intoxicadas por ano e onde Pop: população sob risco para o mesmo ano.

Para verificar se havia correlação entre o CI médio no estado e o volume de venda de ingredientes ativos foi realizada uma análise de correlação de *Spearman*, para isso, foi utilizado o software Sofastats, versão 1.4.6. Os histogramas foram elaborados a partir do *software* GeoDa, versão 1.12.1.131. A confecção de mapas temáticos foi feita mediante o *software* ArcGis (ESRI®), versão 10.2.

Abaixo, é mostrada a fórmula da correlação de *Spearman*:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d^2}{n(n^2 - 1)}$$

3. Resultados

De acordo com MS, foram identificados 2.182 casos de intoxicação por agrotóxicos, incluindo intencionais e não-intencionais ocorridos em Goiás no período de 2007 a 2017, o que corresponde à uma média de 198 casos por ano neste Estado.

Mais de 60% dos casos de envenenamento de seres humanos acometeram o gênero masculino. As faixas etárias de maiores ocorrências, considerando ambos os gêneros, abrangeram de 20 a 39 anos, em primeiro lugar (1.129 casos, correspondendo a 51,74%), seguida a de 40 a 59 anos (513 casos, correspondendo a 23,51%) (Figura 2-1).

Os casos de intoxicações em crianças até 14 anos, totalizaram 202 (o que corresponde a 9,26% em relação ao total). Parte desses casos é explicada em função de contaminação ambiental, quando, no ano de 2013, em Rio Verde, houve dispersão aérea do produto chamado Engeo Pleno® (Tiametoxam e Cialotrina), que acabou atingindo uma escola, acometendo alunos de 9 a 16 anos e resultando cerca de 45 casos de intoxicações agudas^{30, 31}.

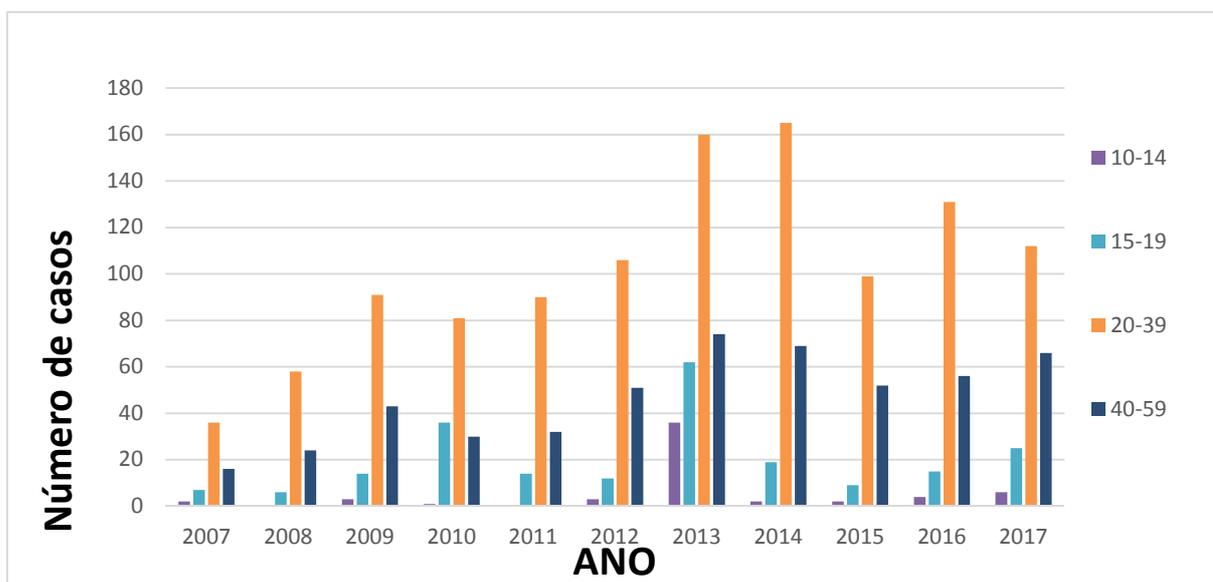


Figura 2-1: Número de casos de intoxicação por agrotóxicos agrícolas de acordo com a idade em Goiás – 2007 a 2017.

A análise da séria histórica revela um aumento considerável do número de casos. É importante ressaltar que em 2017, o número de casos foi contabilizado até a penúltima semana do mesmo ano (21/12). O Quadro 2-2 indica os casos e a população no período considerado.

Quadro 2-1: Casos de Incidência de intoxicação por agrotóxicos agrícolas e população, por ano, em Goiás.

Ano	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Casos	69	95	168	149	147	196	370	285	191	241	237
População (em milhões)	5.84	5.84	5.92	6	6.08	6.16	6.43	6.52	6.61	6.69	6.78

Ao analisar o CI por mesorregiões, verifica-se que a região sul de Goiás foi a mais acometida e teve o maior acréscimo, em termos percentuais, do número de casos quando considerada a série histórica avaliada (Figura 2-2).

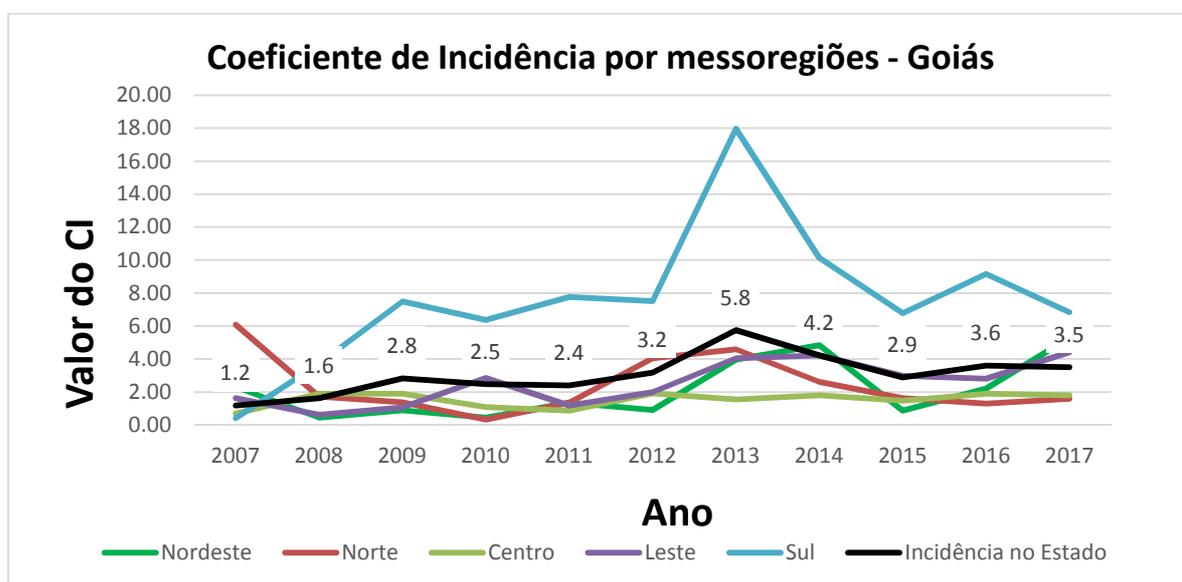


Figura 2-2: Coeficiente de Incidência de intoxicações por agrotóxicos agrícolas por mesorregião de Goiás e média geral do Estado.

A distribuição espacial da incidência por municípios do estado por triênios e biênio está apresentada na Figura 2-3.

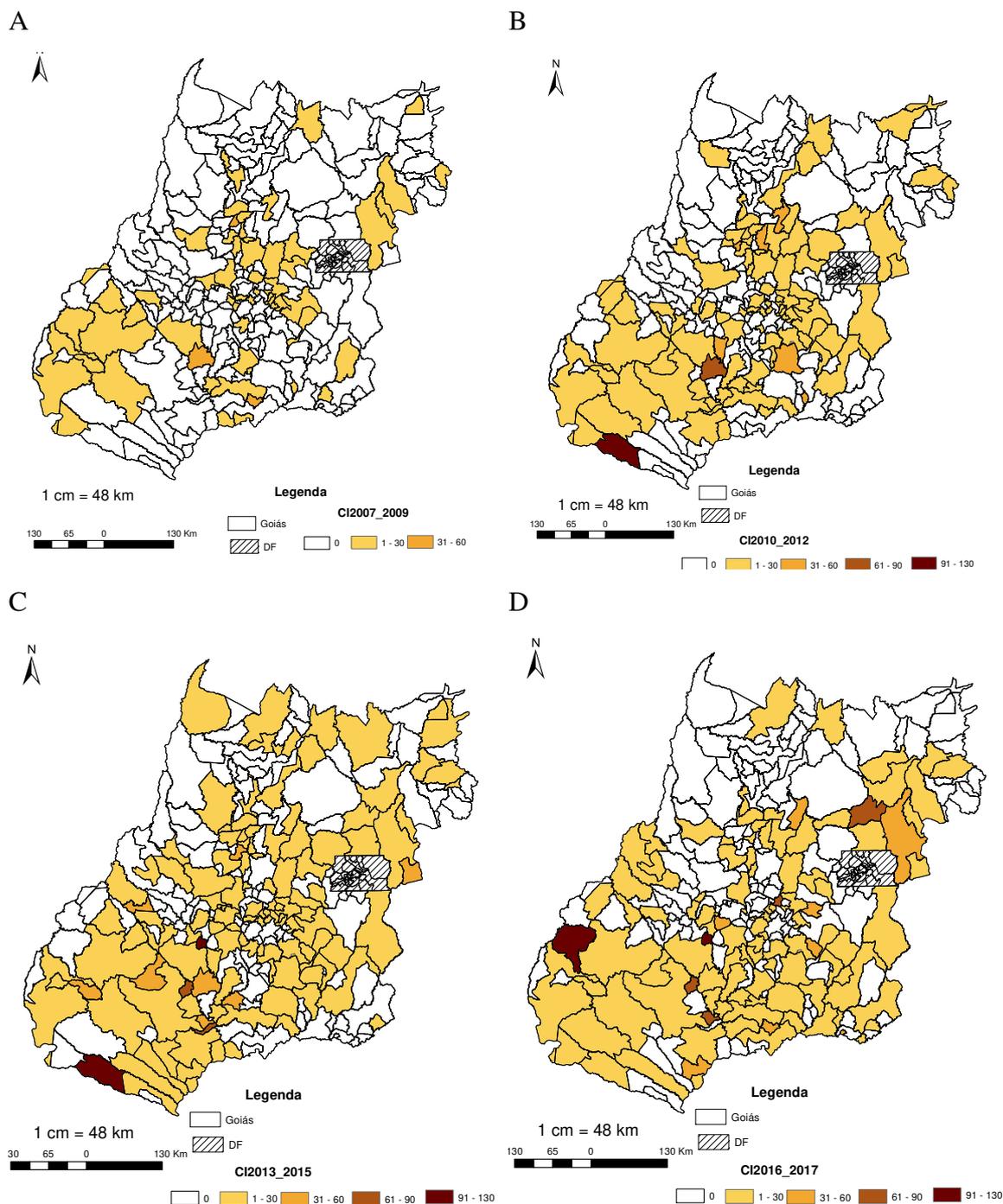


Figura 2-3: Coeficiente de Incidência de intoxicações por agrotóxicos agrícolas por mesorregião de Goiás e média geral do Estado (A) 2007 a 2009; (B) 2010 a 2012; (C) 2013 a 2015; (D) 2016 e 2017.

Para o triênio compreendido entre 2007 a 2009 o maior valor do coeficiente de incidência foi 59,53. Verificou-se que em 179 municípios não havia ocorrências de intoxicação por agrotóxicos agrícolas. Por sua vez, entre os anos de 2010 a 2012 se

observou que o maior valor do Coeficiente de Incidência foi 121,79. Em 143 municípios não havia ocorrências de intoxicação.

Já no terceiro triênio, que abrange os anos de 2013 a 2015, o maior valor do coeficiente de incidência foi 102,69. Havia 111 municípios sem ocorrências de intoxicação.

Para o último período, que abrange o horizonte temporal de apenas dois anos (2016 e 2017), O maior valor do coeficiente é 103,4. Verificou-se que havia 135 municípios sem ocorrências de notificação.

Para possibilitar a avaliação da dispersão dos dados foi apresentado, na Figura 4, o histograma da incidência e diagrama para cada período (A) 2007 a 2009, (B) 2010 a 2012, (C) 2013 a 2015 e (D) 2016 e 2017. Trata-se, portanto, de uma distribuição não-paramétrica de dados com excessos de zeros. A amplitude interquartílica nos anos de 2010 a 2012 foi igual à média, e em 2013 a 2015 foi maior do que a média. Isso indica grande dispersão dos dados.

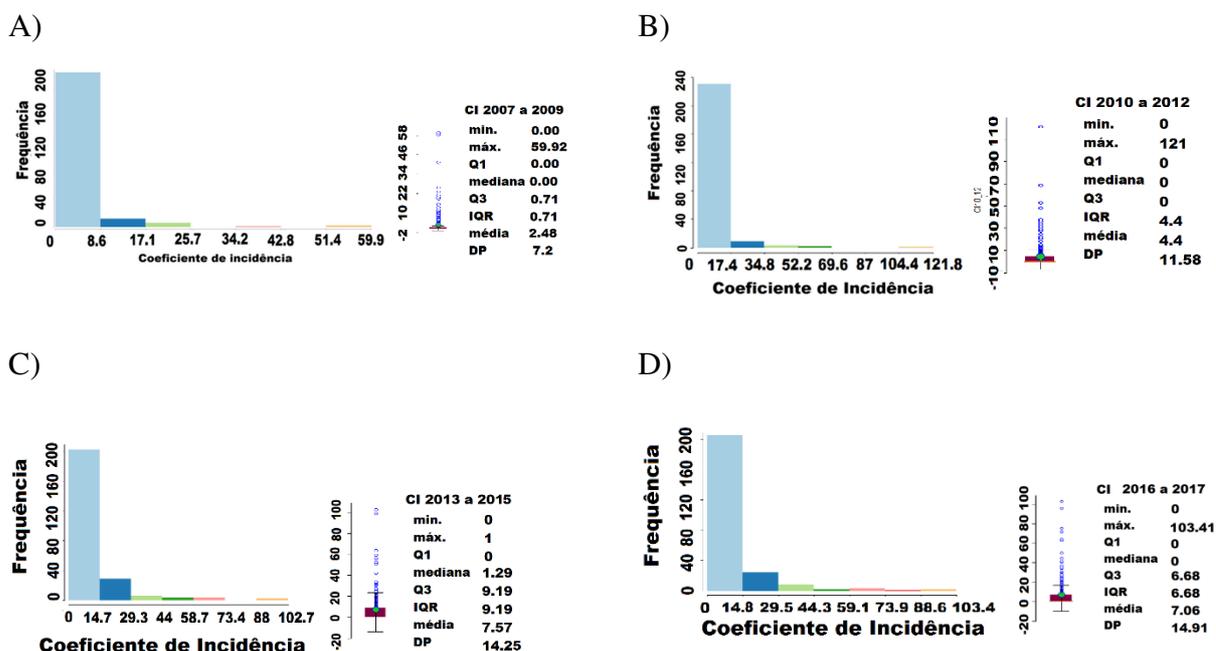


Figura 2-4: Distribuição de frequência do Coeficiente de Incidência em Goiás (A) 2007 a 2009; (B) 2010 a 2012; (C) 2013 a 2015; (D) 2016 e 2017.

A Tabela 2-1 indica a comercialização de ingredientes ativos em toneladas, por ano, em Goiás e, a partir de sua análise é possível identificar o crescente uso dessas substâncias no estado, ao longo dos 10 anos em estudo.

Tabela 2-1: Ingredientes ativos vendidos (T)

Ano	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Ingredientes ativos (T)	46844	37122	49506	64172	65048	82809	95733	96910	96589	99759
CI	1.18	1.63	2.83	2.41	3.18	5.75	4.73	2.89	3.6	3.5

Se analisados, conjuntamente, a comercialização de toneladas de ingredientes ativos e a incidência ao longo dos onze anos, é possível verificar que ambos apresentaram tendência de aumento, como indica a Figura 2-5.

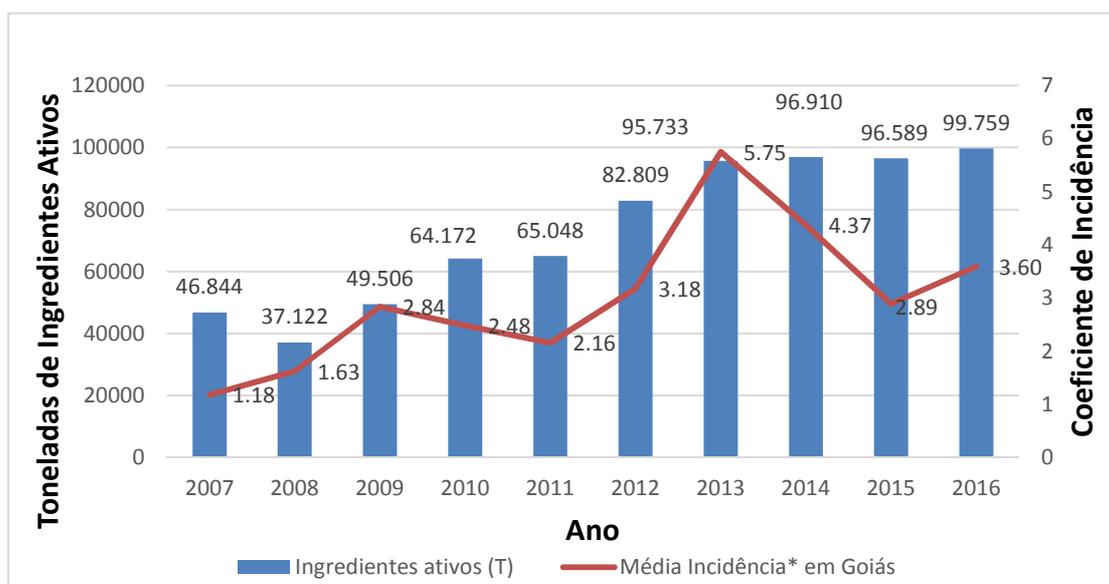


Figura 2-5: Coeficiente de incidência médio e anual de intoxicação por agrotóxico agrícola no Estado e a venda de ingredientes em Goiás, de 2007 a 2016, em toneladas.

A Figura 2-6 ilustra o gráfico de correlação de *Spearman* entre as variáveis “ingredientes ativos” *versus* “coeficiente de incidência” e o resultado da correlação forte positiva 0,83 ($p=0,05$) (confiança 95%), indicando que quanto mais toneladas de ingredientes ativos forem comercializados, mais casos de intoxicação humana são notificados.

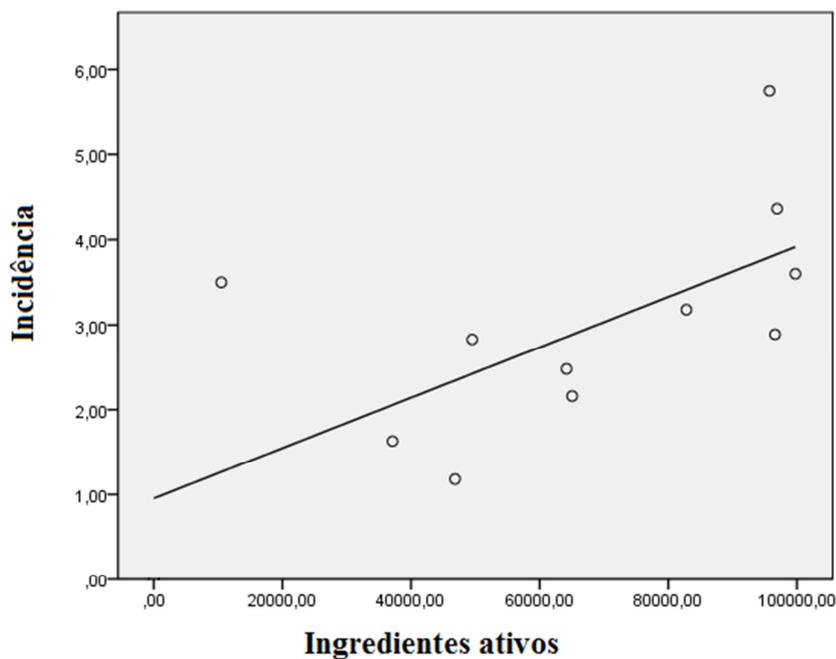


Figura 2-6: Gráfico da correlação de *Spearman*

4. Discussão

A presente discussão considera os dados oficiais, isto é, de acordo com o obtido pela Lei de Acesso à Informação disponibilizada pelo MAPA, sobre o quantitativo de ingredientes ativos dispensados nas lavouras goianas.

Apesar de existirem estudos que se utilizam do Sistema Nacional de Informações Tóxico-Farmacológicas – SINITOX - ^{20,32}, neste trabalho se utilizou o SINAN, apesar das subnotificações³³, pois, de acordo com as diretrizes do MS, é recomendado o uso desses sistema nas intoxicações causadas por agrotóxicos de uso agrícola, de uso veterinário, raticidas e de uso doméstico. Isso porque é objetivo do referido órgão a remoção de duplicidades entre os sistemas de informação⁹.

As características de descrição dos casos de intoxicação de seres humanos identificadas neste estudo estão de acordo com as descritas no Estado do Paraná. No estudo daquele Estado, outros autores³⁴ diagnosticaram precipuamente a faixa etária de 20 a 39 anos, de ambos os sexos, como a mais acometida e a idade média dos trabalhadores em exercício no campo³⁴. Portanto, este trabalho corrobora a ideia de que trabalhadores do campo constituem um grande grupo de risco ocupacional quando se trata de intoxicação por agrotóxicos.

Observou-se neste estudo que à medida que aumentou a incidência de casos de intoxicação, houve igualmente aumento da venda de ingredientes ativos entre 2007 e 2017 em Goiás. Se analisados conjuntamente a comercialização e a incidência nos anos em estudo, com exceção de 2015, é possível verificar que o uso de ingredientes ativos aumentou ao longo dos anos, bem como uma tendência de aumento de casos. Enquanto a venda de agrotóxicos dobrou de 2007 para 2016, a incidência de intoxicações mais do que triplicou, conforme demonstrado Figura 5.

A média identificada neste trabalho, de 195 casos por ano, excede à descrita por Recena *et al* (2006) para o Mato Grosso do Sul, cuja média descrita para os anos de 1992 a 2002 foi de 123 casos de intoxicação por ano ³².

Essas informações diferem das publicadas pelo MS, pois aqui se vê que o aumento da incidência de intoxicações por agrotóxicos foi de 1,18, em 2007, para 4,22, em 2013.

Ao se comparar os anos de 2007 com 2017, em Goiás, é possível verificar que houve acréscimo em quase todas as mesorregiões, à exceção da mesorregião norte. Os acréscimos foram de 128% na mesorregião nordeste, 160% na mesorregião centro, 170% na mesorregião leste e 1588% na mesorregião sul do Estado. Na mesorregião norte, por sua vez, houve um decréscimo de 26% se considerados aqueles anos.

Embora citado anteriormente que em alguns estudos ³⁵ foi encontrada uma correlação que variou tão somente de fraca a média positiva em análise de correlação de Pearson, entre as variáveis “hectares de terras plantadas” e “total de pessoas intoxicados no ano”, há, neste estudo, forte correlação positiva na correlação de *Spearman*.

5. Conclusão

Neste artigo a correlação entre a quantidade de agrotóxicos utilizada e a incidência de pessoas intoxicadas é forte positiva, contemplando, contudo, a esfera estadual, e não municipal. A importância de selecionar os dados do SINAN por município de residência consiste no fato de que, por vezes, algumas pessoas do interior buscam tratamento em postos de saúde de municípios diferentes daqueles em que residem (muitas vezes próximos ao local ou no próprio local de trabalho) em busca de um atendimento melhor.

Faz-se necessário saber se a inobservância de casos assim se refere por realmente não terem registro de intoxicação por agrotóxico, se tratando de zero amostral, ou se há deficiência na coleta de informações, se tratando, portanto, de zero estrutural por subnotificações.

Acerca do aumento fora de proporção do coeficiente de incidência de intoxicação humana, quando comparada à venda de ingredientes ativos (triplica à medida que dobram as vendas), aqui se aventa a possibilidade da ação aditiva, sinérgica ou antagonista, proporcionada por ingredientes químicos contidos nos agrotóxicos. Isto pode significar um efeito combinado ou mesmo um coquetel de efeitos³⁶. Essa pode ser uma das razões que esta proporção não ocorra de maneira linear.

É necessário também que seja feita a correspondência com dados factuais de venda de ingredientes ativos por município em Goiás. Atualmente, os órgãos ligados à agricultura, quer sejam de Goiás ou da União, não possuem esse controle. A falta de informações oficiais sobre a venda ou utilização de agrotóxicos por municípios não propicia a análise de correlação. Entretanto, essa correlação pode ser feita fundamentada em protocolos de utilização de determinados agrotóxicos para cada tipo de lavoura.

Como forma de complementar as informações dispostas no presente estudo, propõe-se, em futuras investigações sobre o tema, a análise de conglomerados (*clusters*) em estudo posterior e a verificação entre quantidade de agrotóxicos utilizados por município para análise de correlação.

6. Referências Bibliográficas

1. Organização Mundial de Saúde - OMS. Public health impact of pesticides used in agriculture. Genebra: 1995.
2. EPA. Pesticides Industry Sales and Usage. United States Environ Prot Agency 2017;(November):24.
3. Ministério da Saúde. Documento orientador para a implementação da vigilância em saúde de populações expostas a agrotóxicos. Brasília: 2012.
4. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística I. IBGE [Home page na internet]. Sist. IBGE Recuper. Automática. Produção Agrícola Munic. [Acesso em 10.08.2018]. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/772>>.
5. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e do Trabalhador. Relatório Nacional de Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Agrotóxicos. Brasília: 2016.
6. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Instrutivo Operacional de Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Agrotóxicos. 2013;1–17.
7. Pignati WA, Lima FAN de S e, Lara SS de, et al. Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: uma ferramenta para a Vigilância em Saúde. Cien Saude Colet 2017;22(10):3281–93.
8. Wan N. Pesticides exposure modeling based on GIS and remote sensing land use data. Appl Geogr 2015; 56:99–106.
9. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Instrutivo comentado da ficha de notificação/ investigação – intoxicação exógena. Palmas: 2016;1–28.
10. Fletcher RH, Fletcher SW, Wagner EH. Epidemiologia clínica: elementos essenciais. Artes Médicas Porto Alegre - RS; 1996.
11. Pereira MG. Epidemiologia: teoria e prática. Guanabara. Rio de Janeiro: 1995.
12. Medronho RA. Epidemiologia. Atheneu. São Paulo: 2004.
13. Kleinbaum DG, Sullivan KM, Barker ND. A pocket guide to epidemiology. Springer Science & Business Media; 2007.
14. FAO W. Joint FAO / WHO Meeting on pesticide residues (JMPR). Summ Rep 2016;(May):9–13.

15. Guyton KZ, Loomis D, Grosse Y, et al. Carcinogenicity of tetrachlorvinphos, parathion, malathion, diazinon, and glyphosate. *Lancet Oncol* 2015;16(5):490–1.
16. Grisolia, CK. Agrotóxicos: Mutações, Câncer e Reprodução. Universidade de Brasília. Brasília,2005.
17. Chrisman J de R, Koifman S, de Novaes Sarcinelli P, Moreira JC, Koifman RJ, Meyer A. Pesticide sales and adult male cancer mortality in Brazil. *Int J Hyg Environ Health* [Internet] 2009;212(3):310–21. Available from:
18. International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs Volume 112: evaluation of five organophosphate insecticides and herbicides. *Environ Heal* 2014;112(1):425–33
Daniell H. NIH Public Access. 2012; 76(October 2009):211–20.
19. Santana VS, Moura MCP, Nogueira FFE. Occupational pesticide poisoning, 2000-2009, Brazil. *Rev Saude Publica* 2013;47(3):598–606.
20. Bochner R. SINITOX e as intoxicações humanas por agrotóxicos no Brasil National Poisoning Information System - SINITOX and human intoxication by pesticides in Brazil. :73–89.
21. Hungaro AA, Correia LM, Silvino MC dos S, Rocha SM, Martins BF, Oliveira MLF de. Intoxicações por agrotóxicos: registros de um serviço sentinela de assistência toxicológica/ Pesticide poisoning: records of a toxicological assistance sentinel service; *Ciência, Cuid e Saúde* 2015;14(3):1362.
22. Medeiros MNC, Medeiros MC, Silva MBA. Intoxicação aguda por agrotóxicos anticolinesterásicos na cidade do Recife, Pernambuco, 2007-2010. *Epidemiol e Serviços Saúde* 2014; 23(3):509–18.
23. Malaspina FG, ZiniLise ML, Bueno PC. Perfil epidemiológico das intoxicações por agrotóxicos no Brasil, no período de 1995 a 2010. *Cad Saúde Colet* 2011;19(4):425–34.
24. Teixeira JRB, Ferraz CE de O, Couto Filho JCF, Nery AA, Casotti CA. Intoxicações por agrotóxicos de uso agrícola em estados do Nordeste brasileiro, 1999-2009. *Epidemiol e Serviços Saúde* 2014;23(3):497–508.
25. PesqCID. CID10 [Home page na internet]. Disponível em: <<http://www.datasus.gov.br/cid10/V2008/cid10.htm>> [Acesso em 10.08.2018].
26. Ministério da Saúde. Datasus. População residente. [Home page na internet]. [Acessoem 27.10.2017]; Disponível em:: <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?ibge/cnv/poptgo.def>>

27. Brasil. Lei no 12.527, de 18 de novembro de 2011. Regula o acesso a informações. Diário Oficial da União 2011 [Home page na Internet]. Disponível em: <<https://esic.cgu.gov.br/sistema/Pedido/DetallePedido.aspx?id=gaMjIM5oC+I=>>
28. Costa MP. Terminologia das Medidas e Indicadores em das Medidas Indicadores Epidemiologia: Subsídios para uma Possível Padronização da Nomenclatura. 2000; 9(061):273–84.
29. Secretaria do Estado de Saúde. Vigilância em Saúde Pública [Home page na internet]. [Acesso em 27.10.2017]; Disponível em: <http://portalses.saude.sc.gov.br/arquivos/sala_de_leitura/saude_e_cidadania/ed_07/03_02_02.html>
30. Carneiro FF . Dossiê ABRASCO: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde. Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio. Rio de Janeiro/ São Paulo: 2015.
31. Kim S, Thiessen PA, Bolton EE, Chen J, Fu G, Gindulyte A, Han L, He J, He S, Shoemaker BA, Wang J, Yu B, Zhang J BS. PubChem Substance and Compound databases.
32. Recena MCP, Pires DX, Caldas ED. Acute poisoning with pesticides in the state of Mato Grosso do Sul, Brazil. *Sci Total Environ* 2006;357(1–3):88–95.
33. Faria NMX, Fassa AG, Facchini LA. Intoxicação por agrotóxicos no Brasil: os sistemas oficiais de informação e desafios para realização de estudos epidemiológicos. *Cien Saude Colet* 2007;12(1):25–38.
34. Neves PDM, Bellini M. Intoxicações por agrotóxicos na mesorregião norte central paranaense, Brasil - 2002 a 2011. *Mundo da Saude* 2012; 36(4):564–73.
35. Virginia L, Bernardo M. Considerações sobre intoxicação humana por agrotóxicos no Centro-Oeste Brasileiro, no período de 2008 a 2013. 2017;13(1):114–25
36. Panizzi S, Suci NA, Trevisan M. Combined ecotoxicological risk assessment in the frame of European authorization of pesticides. *Sci Total Environ* 2017;580:136–46.

Capítulo 3 - Análise de conglomerados espaciais do agravo intoxicação por agrotóxicos agrícolas em seres humanos de 2007 a 2017 em Goiás, Brasil

Prestes submetido - Revista Brasileira de Epidemiologia

1. Introdução

O setor de agrotóxicos se renova constantemente, lançando a cada dia novos produtos no mercado. Contudo, muitas vezes o conhecimento científico necessário para atribuir nocividade ou não desses novos produtos não acompanha essa renovação, já que por vezes informações consolidadas sobre os efeitos desses produtos só são estabelecidas 20 ou 30 anos após a introdução de um novo agrotóxico¹. Em outras palavras, o conhecimento mais preciso sobre a nocividade desses produtos está em descompasso com o lançamento de novas substâncias no mercado, o que pode acarretar riscos à saúde humana, além de impactos negativos sobre o meio ambiente.

Com objetivo melhorar a estimativa de riscos de casos de intoxicação humana por agrotóxico, o Ministério da Saúde implantou, em 2016, as diretrizes da Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Agrotóxicos (VSPEA). Essas diretrizes visam à promoção da vida e redução, controle e/ou eliminação da vulnerabilidade e dos riscos à saúde de populações expostas ou potencialmente expostas a agrotóxicos². Entre essas diretrizes, podem ser citadas a eleição de áreas prioritárias e a identificação dos prováveis municípios em que ocorrem subnotificações, o que é característica principal deste trabalho.

A eleição de áreas prioritárias envolve mapear locais em que ocorre o uso intensivo de agrotóxicos; calcular o percentual da produção agrícola (áreas com grande extensões de culturas agrícolas são indicativos de uso acentuado dessas substâncias); identificar a ocorrência de subnotificação de intoxicação exógena por agrotóxicos; analisar os resultados do monitoramento de resíduos de agrotóxicos em alimentos e água para consumo humano; e, por fim, registrar e analisar acidentes rurais ampliados (derivas, derrames, *clusters* de casos de intoxicações de fonte única) envolvendo a contaminação ambiental e intoxicação populacional por agrotóxicos².

Nessa mesma linha, é importante registrar que, em 2012, o Governo de Goiás investiu um milhão de reais para prover o estado de informações sobre o perfil do

consumo de agrotóxicos³, cujo relatório pós-atividades da Secretaria de Vigilância observou como seus principais desafios: saber quais municípios deixaram de notificar casos prováveis; identificar municípios prioritários, além de diagnosticar os princípios ativos mais utilizados nos municípios⁴.

Com a finalidade de mitigar o risco proporcionado à saúde humana por agrotóxicos de uso agrícola, podem ser utilizados indicadores epidemiológicos, além de subsequente identificação de áreas com prejuízos ambientais. Da mesma maneira, prejuízos ambientais podem servir de indicadores para a identificação de fontes de risco ao agravo à saúde⁵.

Outro ponto importante no entendimento desse estudo consiste em exemplos baseados em técnica de varredura (*scan*) espacial, nos quais se diagnosticam regiões de maiores probabilidades de ocorrência de intoxicação humana por agrotóxicos⁶⁻⁸. Há um estudo mais específico que diagnostica regiões prováveis de ocorrência de casos de envenenamento por agrotóxicos em pacientes sintomáticos e, inclusive, ressalta que tal análise pode ser utilizada de maneira prospectiva em ações de vigilância epidemiológica⁹, embora seja considerado um fator limitante a presença de subnotificações no modelo de Kulldorff¹⁰. Há autores que utilizam outros tipos de conglomerados que não o *Scan*¹¹, embora não tenham sido encontrados estudos acerca deste tema que se utilizam do modelo *zero-inflated Poisson (ZIP)* aqui tratado.

Entretanto, o modelo *zero-inflated Poisson (ZIP)* pode ser utilizado quando existem zeros estruturais além de zeros amostrais, resultando em um número de zeros maior que o previsto pelo modelo Poisson. Os zeros estruturais decorrem de situações em que a verificação de ocorrências é praticamente impossível, denotando condições desfavoráveis para o diagnóstico de casos, embora eles possam existir. Isso ocorre, por exemplo, quando há ausência de pessoal ou kits para confirmação de suspeitas (falsos-negativos). Por sua vez, zeros amostrais decorrem de situações em que o número observado de ocorrências é igual a zero mesmo em ocasiões propícias à ocorrência de casos¹². O método de varredura espacial baseado no modelo *ZIP*¹³ é, portanto, útil quando não for possível determinar se os dados obtidos referem-se a zeros amostrais ou zeros estruturais.

Com o objetivo de verificar a existência de conglomerados e identificar, no caso de haver, quais as regiões mais prováveis para a ocorrência do agravo, será utilizada a estatística de varredura (*scan*) espacial de Kulldorff¹⁴, baseada no modelo Poisson.

2. Materiais e métodos

Foi realizada pesquisa relativa aos casos de intoxicação por agrotóxicos agrícolas na base de dados do Sistema de Informações de Agravos de Notificações (SINAN)¹⁵, nos 246 municípios goianos, por município de residência, entre os anos de 2007 e 2017, bem como de população¹⁶. Realizou-se o relacionamento das entidades (municípios de Goiás, casos e população por município) de maneira que a cardinalidade do relacionamento foi de um-para-um dado em cada conjunto.

Para cada município dispõe-se do número observado de casos, da população em risco e das coordenadas geográficas do centroide, que é um ponto no interior do município. Sejam:

- n_i a população no i -ésimo município;
- $N = \sum_i n_i$ a população total no mapa;
- x_i o número observado de casos no i -ésimo município;
- $C = \sum_i x_i$ o número total de casos;
- z um subconjunto de municípios (denotado por zona);
- $n_z = \sum_{i \in z} n_i$ a população na zona z ;
- $n_{\bar{z}} = N - n_z$ a população fora da zona z ;
- $x_z = \sum_{i \in z} x_i$ número observado de casos na zona z ;
- $x_{\bar{z}} = C - x_z$ o número de casos fora da zona z .

Para uma determinada zona z , considera-se que, para indivíduos em qualquer município pertencente a z , a probabilidade de que ele venha a ser um caso seja p_z , ao passo que essa probabilidade para um indivíduo em qualquer município fora de z seja $p_{\bar{z}}$. Assim, estamos interessados no teste de hipóteses:

H_0 : $p_z = p_{\bar{z}}$ para todas as zonas z .

H_a : existe pelo menos uma zona z para a qual $p_z > p_{\bar{z}}$.

A hipótese nula é, portanto, a de que a probabilidade de que um indivíduo venha a ser um caso é a mesma não importando em que município ele se encontra. Já a hipótese alternativa é a de que existe pelo menos um conjunto de municípios z dentro dos quais essa probabilidade é maior do que para os municípios fora de z . A estatística de varredura é baseada na razão de verossimilhança, que para o modelo Poisson é dada por¹⁴ :

$$\lambda_z = \begin{cases} \left(\frac{x_z/n_z}{c/N}\right)^{x_z} \left(\frac{x_{\bar{z}}/n_{\bar{z}}}{c/N}\right)^{x_{\bar{z}}} & , \text{ se } (x_z/n_z) > (x_{\bar{z}}/n_{\bar{z}}) \\ 1, & \text{ caso contrário} \end{cases}$$

Equação 1

O procedimento de varredura é feito sobrepondo-se ao mapa janelas circulares com diferentes raios e centros das circunferências. Cada círculo determina uma zona, formada pelas regiões cujos centroides encontram-se dentro da janela, e para cada zona calcula-se o valor de λ_z . A zona z a que corresponde o maior valor de λ_z é chamada de conglomerado (*cluster*) mais verossímil. De forma a controlar o tamanho dos conglomerados detectados, é comum limitar a população dentro das zonas candidatas. Aqui, considerou-se um limite de 50% da população total, que é o valor adotado na maioria dos trabalhos na literatura.

Uma vez identificado o conglomerado mais verossímil, executa-se a simulação de Monte Carlo com vistas ao cálculo da sua significância estatística. O método de Monte Carlo se baseia em permutações de conjuntos de dados simulados. As interações são utilizadas para estimar a distribuição da hipótese nula⁸.

Os dados de intoxicação por agrotóxicos agrícolas têm excessos de zeros. Por esse motivo, na análise dos dados optou-se pela utilização dos modelos Poisson e ZIP¹³. O modelo ZIP é usado justamente para os casos em que os dados apresentam excessos de zeros, como recurso metodológico para contornar o viés do dimensionamento envolvendo doenças raras.

Para o modelo ZIP, a razão de verossimilhança assume uma forma parecida com a apresentada na Equação 1. A fórmula e maiores detalhes da razão de verossimilhança para esse modelo podem ser obtidas no trabalho de Cançado, Silva e Silva¹³.

A Tabela 1 apresenta um resumo dos conglomerados detectados para cada período pela varredura utilizando o modelo ZIP. Os valores-p foram obtidos baseados

em 999 simulações de Monte Carlo. Além dos valores-p são apresentados o logaritmo da razão de verossimilhança (LLR), o número de casos e a população. Para cada período, além do conglomerado mais verossímil, foram reportados também conglomerados secundários significativos ao nível de 5% de significância. Consta, também, a razão casos por população e o número esperado de casos sob H_0 , dado por $C \cdot n_z / N$.

Os *softwares* utilizados para o referido algoritmo foi o Matlab, versão 2015 B. Para a caracterização das áreas, por sua vez, foi utilizado o Arcgis, versão 2012.

3. Resultados

Acerca da detecção de *clusters*, de acordo com a estatística de varredura espacial com zeros inflacionados¹³, foram observados conglomerados no período em questão, de acordo com a Figura 3-1A, 3-1B e 3-1C. O resultado da aleatorização de Monte Carlo é visualizado na figura 3-1D. Os resultados do logaritmo da razão de verossimilhança (LLR), população, casos e períodos correspondentes foram indicados no Quadro 3-1, que são ilustrados pelos cartogramas da Figura 3-1, anteriormente mencionada.

Quadro 3-1: Valores da razão de log-verossimilhança (LLR) para o método Scan ZIP, número de casos, p-valor e população para cada cluster em cada triênio e o último biênio.

Período/ <i>Cluster</i>	2007 a 2009	2010 a 2012	2013 a 2015	2016 e 2017
Pop. Total no mapa - N (em milhões)	17.61	18.67	19.57	13.47
Casos totais (C)	332	492	846	478
1° LLR	134,72	168,3	353,56	86,77
xz	146	272	404	206
p-valor:	0,001	0,001	0,001	0,001
nz	2120069	3173944	2316617	2431184
Número de casos esperados, sob a hipótese nula	39.96	83.64	102.28	86.27
2° LLR	13,29	26,36	37,93	71,98
xz	51	50	69	49
p-valor:	0,001	0,001	0,001	0,001
nz	2203599	651720	471798	118659
Número de casos	41.54	17.17	20.4	4.21

esperados				
3° LLR	8,22	10,57	20,63	26,28
xz	60	11	13	19
p-valor:	0,038	0,003	0,001	0,001
nz	1367399	72003	23319	203867
Número de casos esperados	25.78	1.89	1.01	7.23
4° LLR			16.89	11,88
xz			36	6
p-valor:			0,001	0,001
nz			312333	7964
Número de casos esperados			13.5	0.28
5° LLR			11.11	
xz			23	
p-valor:			0.006	
nz			156684	
Número de casos esperados			6.77	
6° LLR			9,82	
xz			14	
p-valor:			0,008	
nz			74269	
Número de casos esperados			3.21	
7° LLR			9,65	
xz			9	
p-valor:			0,009	
nz			28712	
Número de casos esperados			1.24	

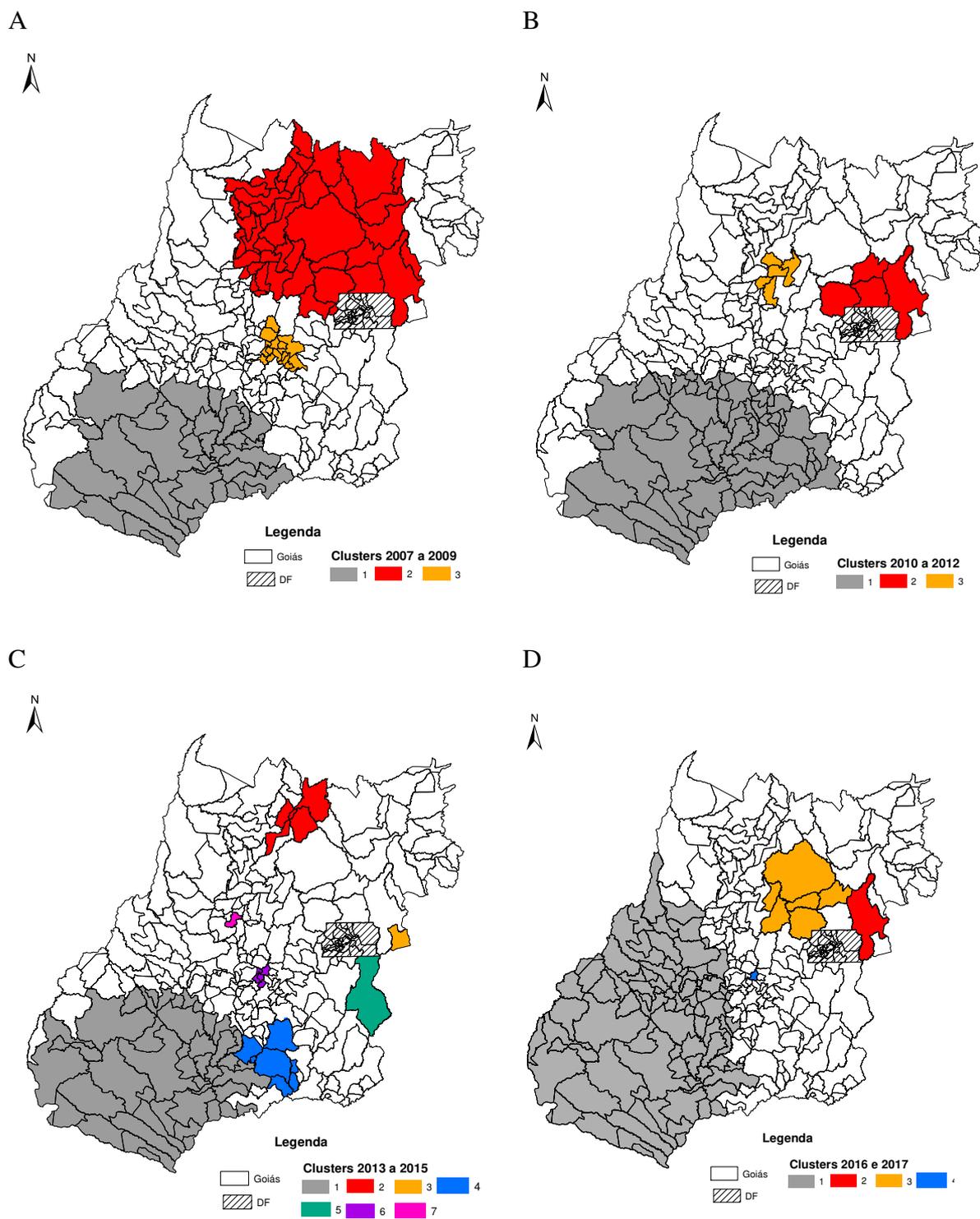


Figura 3-1: Análise de conglomerados por meio do método de Scan ZIP: (A) 2007 a 2009; (B) 2010 a 2012 ; (C) 2013 a 2015 e (D) 2016 e 2017, em que as cores definem as probabilidades de ocorrência.

A análise de varredura *ZIP* revelou a presença de conglomerados. Logo, a distribuição das intoxicações por agrotóxicos agrícolas não ocorrem aleatoriamente. As ocorrências na mesorregião sul de Goiás mantêm-se como mais prováveis em todos os horizontes temporais considerados neste estudo, enquanto que nas demais mesorregiões não há padrão.

4. Discussão

Os resultados obtidos aqui oferecem subsídios para a aplicação do Sistema de Informações Geográficas, estatística espacial de *Scan* e dados de intoxicação em decorrência de agrotóxicos. Essas informações podem ser úteis em atividades de pesquisa toxicológica, além de seu potencial como subsídio para desenvolvimento de intervenções para mitigar riscos de exposições à agrotóxicos^{8,9}, principalmente no que diz respeito à identificação de municípios prioritários para a promoção de ações de vigilância. Ademais, configura-se um instrumento para a identificação de localidades em que haja casos subnotificado de intoxicação humana.

Uma vez que os clusters aqui apresentados ilustram áreas de maiores probabilidades de ocorrência de intoxicação, observa-se um padrão espacial envolvendo a mesorregião sul.

Este estudo partiu da premissa de que a investigação de populações acometidas por agravos de curso agudo por agrotóxicos, bem como a análise dos agentes tóxicos envolvidos, devem ser realizadas em um tempo anterior aos estudos sobre agravos decorrentes de agravos crônicos e fatores multicausais, como câncer¹⁷. Desse modo, a compreensão da relação espaço-temporal entre a poluição ambiental, doença e identificação da exposição a perigos em populações susceptíveis são essenciais em um programa de promoção da saúde pública¹⁸.

É um erro comum desse tipo de estudo o viés ecológico¹⁹⁻²¹, isto é, o erro ao atribuir as associações da esfera populacional em nível individual. Enquanto um estudo ecológico, este artigo não se utiliza de uma unidade de análise individual, mas sim de grupos de indivíduos. Portanto, não se pode inferir que um indivíduo, em particular, é exposto ou doente^{19,20}. Desta maneira, apenas informações populacionais são passíveis de inferências, e não há como se atribuir causalidade, mas sim correlação.

A identificação da utilização de agrotóxicos, estratificada por municípios, de acordo com a quantidade de lavouras existente em seus territórios, pode fornecer elementos para uma possível validação de modelos espaciais²¹ de áreas prováveis de ocorrências do agravo e de áreas de subnotificação de casos de intoxicação por agrotóxicos agrícolas, de acordo com padrões de áreas de cultivo²².

No entanto, é importante se estabelecer que, apesar dessa proposição, alguns autores afirmam não ser viável fazer inferências acerca de achados como aqueles aqui elencados, em virtude da ausência do padrão-ouro, o que poderia ser apontado como uma limitação desta pesquisa^{11,23}. É necessário reconhecer, contudo, que informações sobre contaminação de mananciais, além de organismos não-alvos, como os seres humanos poderiam enriquecer as conclusões do presente estudo^{1,24}. Sugere-se, pois, a avaliação do atingimento de resíduos de agrotóxicos em águas superficiais e seu impacto na ecologia como desdobramento natural da pesquisa.

5. Conclusão

A análise de *clusters* por meio da estatística de varredura *ZIP* é o recurso metodológico mais adequado para verificação dos dados de intoxicação humana, uma vez que se trata de um estudo com excessos de zeros.

Ocorre padrão de intoxicações humanas por agrotóxicos agrícolas na mesorregião sul do estado goiano. Isso pode ser devido ao relevo mais plano nesse local, onde ocorrem as plantações de lavouras. Já na mesorregião norte, onde o relevo é acidentado, não se observa esse padrão.

Em que pese a atuação dos órgãos que regulam o mercado de agrotóxico, sabe-se que muitos produtos são comercializados sem que haja informações mais aprofundadas sobre toda extensão dos danos que essas substâncias podem produzir sobre a saúde humana. Nesse sentido, o que se propõe neste trabalho é a otimização de um sistema de informação visando à apuração de dados de saúde, que se traduza em informação, para que se possa agir preventivamente quanto ao envenenamento por exposição a agrotóxicos.

Para que haja maior eficiência no sistema de informação são necessários maiores critérios para a emissão do receituário agrônômico para a venda de agrotóxicos, a exemplo da rastreabilidade destes, corroborando a assertiva de autores²⁵, bem como a verificação *in loco* da aplicação dos ingredientes ativos nas diferentes culturas. Isso se traduz em fiscalização mais rigorosa, bem como a verificação da consistência de informações relativas à venda desses produtos, que em estudos preliminares foi observada a discrepância delas. Tal falha é também apontada por outros autores²⁴.

A análise de conglomerados tem potencial de se tornar uma ferramenta útil para o aprimoramento da atuação dos órgãos de defesa agropecuária - e de vigilância à saúde humana - na medida em que permite o direcionamento das ações de fiscalização e a priorização de áreas, uma vez que determina as regiões mais prováveis de ocorrência de agravos.

Os desafios mencionados pela Secretaria de Estado de Saúde de Goiás, explicitados anteriormente, podem ser respondidos, ao menos parcialmente, mediante análises de conglomerados pela estatística espacial de varredura espacial, a exemplo da análise realizada no presente estudo.

6. Referências Bibliográficas

1. Storck V, Karpouzas DG, Martin-Laurent F. Towards a better pesticide policy for the European Union. *Sci Total Environ* 2017;575:1027–33.
2. Secretaria do Estado da Saúde. Instrutivo comentado da ficha de notificação. 2016; [Acesso em 13.07.2018]. Disponível em: <<https://central3.to.gov.br/arquivo/312293/>>
3. Ministério da Saúde. Superintendência de Vigilância em Saúde. Plano de Ação da Vigilância em Saúde de populações expostas a agrotóxicos do Estado de Goiás. Goiânia- GO: 2013.
4. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Relatório: Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Agrotóxicos no Estado de Goiás. 1–16. Brasília-DF.
5. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Fundação Oswaldo Cruz. Resendes AP da C, Barcellos C, Skaba DA, et al. Abordagens espaciais na saúde pública. Brasília:2006.
6. Viel J-F, Arveux P, Baverel J, Cahn J-Y. Soft-Tissue Sarcoma and Non-Hodgkin's Lymphoma Clusters around a Municipal Solid Waste Incinerator with High Dioxin Emission Levels. *Am J Epidemiol* 2000;152(1):13–9.
7. Takahashi K, Kulldorff M, Tango T, Yih K. A flexibly shaped space-time scan statistic for disease outbreak detection and monitoring. *Int J Health Geogr* 2008;7:1–15.
8. Pfeiffer DU, Robinson TP, Stevenson M, Stevens kim B, Rogers DJ&, Clements AC. *Spatial Analysis in Epidemiology*. 2008.
9. Daniell H. *NIH Public Access*. 2012;76(October 2009):211–20.
10. Ávila LN, Perez AM, Neto JSF, et al. Análise de detecção de cluster na caracterização espaço- temporal da tuberculose bovina no Estado da Bahia. *Pesquisa Veterinária Brasileira* 2013;33(11):1313–8.
11. Burdorf A. Caracterização da exposição de população a organoclorados : uma aplicação da análise de cluster Characterization of population exposure to organochlorines : a cluster analysis application. 2013;16(2):231–9.
12. Araújo TC. Extensão da estatística Scan para detecção de conglomerados espaço-temporais em dados com excesso de zeros. 2012 [Dissertação de mestrado].
13. Cançado ALF, da-Silva CQ, da Silva MF. A spatial scan statistic for zero-inflated Poisson process. *Environ Ecol Stat* 2014;21(4):627–50.

14. Kulldorff M. A spatial scan statistic. *Commun Stat - Theory Methods* 1997;26(6):1481–96.
15. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. SINAN [Internet]. [Acesso em 27.12.2017]; Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?sinannet/cnv/Intoxgo.def>>
16. Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. TABNET [Internet]. [Acesso em 27.12.2017]; Disponível em : <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?ibge/cnv/poptgo.def>>
17. Wan N. Pesticides exposure modeling based on GIS and remote sensing land use data. *Appl Geogr* 2015;56:99–106.
18. Tim US. The application of GIS in environmental health sciences: opportunities and limitations. *Environ. Res.* 1995;71(2):75–88.
19. Pereira MG. *Epidemiologia: teoria e prática*. Guanabara. Rio de Janeiro: 1995.
20. Medronho RA. *Epidemiologia*. Atheneu. São Paulo: 2004.
21. Chrisman J de R, Koifman S, de Novaes Sarcinelli P, Moreira JC, Koifman RJ, Meyer A. Pesticide sales and adult male cancer mortality in Brazil. *Int J Hyg Environ Health* 2009;212(3):310–21.
22. Oliveira LK de, Pignati W, Pignatti MG, Beserra L, Leão LH da C. Processo sócio-sanitário-ambiental da poluição por agrotóxicos na bacia dos rios Juruena, Tapajós e Amazonas em Mato Grosso, Brasil. *Saúde e Soc* 2018;27(2):573–87.
23. Calvert GM, Plate DK, Das R, et al. Acute Occupational Pesticide-Related Illness in the US, 1998-1999: Surveillance Findings from the SENSOR-Pesticides Program. *Am J Ind Med* 2004;45(1):14–23.
24. Grisolia CK. *Agrotóxicos: mutações, câncer e reprodução*. Brasília Universidade de Brasília: 2005.
25. Martini LCP, Romão AL, Moreira PAB, Fraga MM. Uso da prescrição de agrotóxicos no Brasil: Um estudo de caso na região de Tubarão - SC. *Extensio R Eletr Extensão* 2016;v.13:71–82.
26. Faria NMX, Fassa AG, Facchini LA. Intoxicação por agrotóxicos no Brasil: os sistemas oficiais de informação e desafios para realização de estudos epidemiológicos. *Cien Saude Colet* 2007;12(1):25–38.

Capítulo 4 – Correlação entre dados de incidência do agravo intoxicação e quantidade de agrotóxicos aplicada nas lavouras nos anos de 2007 a 2017 em Goiás, Brasil

Prestes a ser submetido - Revista Brasileira de Epidemiologia

1. Introdução

A necessidade de dados descritivos, tanto relacionados com envenenamento por agrotóxicos, bem como com os níveis da exposição ambiental e humana a esses produtos é descrita pela OMS.

Existe uma correlação forte positiva de *Spearman* 0,83 ($p=0,03$) (confiança 95%). Há também um aumento fora de proporção acerca da venda de agrotóxicos e o coeficiente de incidência, nos diversos municípios goianos, de 2007 para 2016, isto é, enquanto as vendas dobraram, a incidência mais do que triplicou.

A distribuição das intoxicações por agrotóxicos agrícolas, em Goiás, não ocorrem ao acaso, elas se concentram preponderantemente na mesorregião sul do estado e mantêm-se como mais prováveis em todos os horizontes temporais, quando considerados os triênios 2007 a 2009, 2010 a 2012, 2013 a 2015 e o biênio 2016 e 2017

Alguns estudos indicam haver possibilidade do evento epidemiológico “intoxicação por agrotóxicos agrícola” ter correlação com o aumento do cultivo de grãos milho e soja, em decorrência da falta de procedimentos adequados à proteção da saúde humana³. Esses mesmos autores³ encontraram uma correlação fraca positiva e média positiva em análise de correlação de *Pearson* entre as variáveis “hectares de terras plantadas” e “total de pessoas intoxicados no ano”.

Além disso, há autores que aventam a hipótese de que agrotóxicos estejam presentes em suas Concentrações Previstas de Não-Efeito (PNEC) ou, para os seres humanos, seja considerada a Ingestão Diária Aceitável (IDA) e, mesmo assim, sejam considerados fontes de risco para o meio ambiente e para a saúde humana⁴.

Este artigo buscou uma relação entre a utilização de agrotóxicos agrícolas (variável x) e os Coeficientes de Incidência (variável y) das intoxicações por essas substâncias humanas em Goiás. A hipótese orientadora do presente estudo é que a

utilização de agrotóxicos nas lavouras de soja, milho e cana-de-açúcar seja fator preditivo para os agravos de intoxicação humana por agrotóxicos agrícolas.

Revisão do método

Nos parágrafos seguintes é descrita uma revisão metodológica sobre o índice de Moran bivariado e a demonstração de seu cálculo, cuja validação se deu por meio da simulação no *software* GeoDa, a partir de um exemplo hipotético.

O gráfico de dispersão do índice de Moran permite visualizar a magnitude desse Índice, bem como a decompor a autocorrelação espacial em duas diferentes partes que dizem respeito a diferentes tipos de associação espacial. Traz um resultado simples quando considerado que o índice de Moran bivariado é uma relação de produtos cruzados no numerador dimensionado pelo número de elementos diferentes de zero na matriz de pesos e uma variância estimada no denominador, geralmente em desvios da média^{5,6}.

Segundo Anselin:

“um coeficiente multivariado de autocorrelação espacial entre duas variáveis aleatórias padronizadas Z_k e Z_l é definido como:

$mkl = Z'_k W^s Z_l$, onde $Z_k = [x_k - \bar{x}_k / \sigma_k]$ e $Z_l = [x_l - \bar{x}_l / \sigma_l]$ foram padronizados de maneira que a média é zero e o desvio padrão é igual a um, e W^s é uma matriz de pesos espaciais padronizadas duplamente” (Anselin, 2002, p.4)⁶

O exemplo a seguir ilustra o cálculo do índice de Moran com duas variáveis.

Na Figura 4-1, que ilustra a Tabela 4-1 a seguir, o número de linhas é igual ao número de observações e nela há cinco observações, correspondentes às regiões de A, B, C, D e E, com valores respectivos de X e Y.

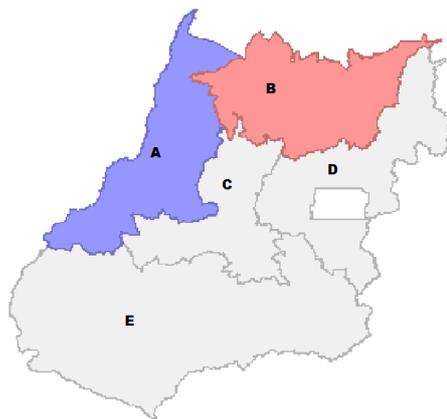


Figura 4-1: Estado de Goiás, em 5 mesorregiões, com exemplos de valores aleatórios de X e Y.

Por sua vez, na Tabela 4- 1 a seguir constam os respectivos valores aleatório de X e Y dos elementos A, B, C, D e E de Goiás.

Tabela 4-1: Valores aleatórios segundo mesorregião de Goiás.

Nome mesorregião	Indicação	Valor X	Valor Y
Sul goiano	E	3	10
Norte goiano	B	7	4
Noroeste goiano	A	1	6
Leste goiano	D	8	3
Centro goiano	C	5	9
		$\bar{x}_k = 4,8$	$\bar{x}_l = 6,8$

Quando os pesos espaciais são padronizados por linha, a soma de todos os pesos em uma linha é igual a 1⁷. Vê-se um exemplo padronização de distâncias na matriz exposta na Tabela 4-2.

Tabela 4-2: :Exemplo de cálculo de uma matriz de distância de contiguidade *Queen*

	A	B	C	D	E	Σ LINHA
A	0	0.3333	0.333	0	0.3333	1
B	0.3333	0	0.333	0.3333	0	1
C	0.25	0.25	0	0.25	0.25	1
D	0	0.3333	0.333	0	0.3333	1
E	0.3333	0	0.333	0.3333	0	1

Este estudo dá um exemplo de análise de correlação de acordo com a matriz de vizinhança do tipo *Queen*, ou seja, aqueles em que os limites coincidentes, que tenham em comum apenas uma aresta ou um canto são considerados⁸. Na figura 4-2 é

esquematisada a matriz de contiguidade do tipo *Queen*, que considera ou aresta ou apenas um canto.

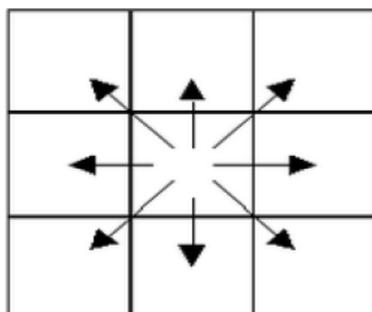


Figura 4-2: Matriz de contiguidade do tipo *Queen*.

A equação é descrita da seguinte maneira: o numerador condiz com a soma dos produtos cruzados com os pesos (W), como podem ser observados os cálculos nas Tabelas 4- 3 e 4- 4.

Tabela 4-3: Valores de Z_i são produtos da matriz de contiguidade W por $(x_k - \bar{x}_k) / \sigma_k$

	$(x_k - \bar{x}_k) / \sigma_k$	Matriz de contiguidade (W)					Produto (Z_i)				
		A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
A	$(1 - 4.8) / 2.86 = -1.33$	0.00	0.33	0.33	0.00	0.33	0.00	-0.44	-0.44	0.00	-0.44
B	$(7 - 4.8) / 2.86 = 0.77$	0.33	0.00	0.33	0.33	0.00	0.26	0.00	0.26	0.26	0.00
C	$(5 - 4.8) / 2.86 = 0.07$	0.25	0.25	0.00	0.25	0.25	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02
D	$(8 - 4.8) / 2.86 = 1.12$	0.00	0.33	0.33	0.00	0.33	0.00	0.37	0.37	0.00	0.37
E	$(3 - 4.8) / 2.86 = -0.63$	0.33	0.00	0.33	0.33	0.00	-0.21	0.00	-0.21	-0.21	0.00
Média	0.00					Soma	0.0640	-0.0524	-0.0233	0.0640	-0.0524
DP	1.00										

O produto Z_k (realçado em amarelo) é multiplicado pela matriz Z_i , como exemplificado na Tabela 4-4 abaixo.

Esses valores são multiplicados de acordo os resultados de Z_j , dado pela soma dos desvio da média e dividido pelo desvio padrão, multiplicados pela matriz Z_i . A soma é exposta na Tabela 4-4:

Tabela 4-4: Soma ZI (célula correspondente é realçada em amarelo)

	Valor X_i	Desvio em relação à média [x_i - \bar{x}_i / σ_i]	Z_k	Produto (Z_i)
A	6	-0.05976143	0.064	-0.00382
B	4	-0.657375735	- 0.0524	0.034435
C	9	0.836660027	- 0.0233	-0.01948
D	2	-1.25499004	0.0640	-0.08035
E	10	1.135467179	-0.0524	-0.05948
Média	6.2	0		
DP	3.35	1		
Soma (Z _j)				- 0.1287

Por sua vez, soma dos desvios em relação à média (quer seja de Z_k, quer seja de Z_i) é dividido pelo desvio padrão. O denominador corresponde a este resultado elevado ao quadrado.

Onde a soma dos desvios em relação à média é dada por:

$[(x_k - \bar{x}_k) / \sigma_k]^2$, que é o mesmo de:

$[(x_i - \bar{x}_i) / \sigma_i]^2$

Equação 1

Tabela 4-5: Demonstração da equação 1

Desvios em relação à média de x_k, elevado ao quadrado		Desvios em relação à média de x_i, elevado ao quadrado
1.76	ou	0.003
0.59		0.432
0.00		0.7
1.25		1.575
0.40		1.28
Soma dos desvios = 4		

Obtém-se que:

Índice de Moran bivariado = - 0.1287 / 4 ∴ = - 0.032174

Em uma regressão bivariada, se tomarmos a variável dependente Y e variável independente (explicativa) X , o numerador é XY e o denominador é X . Comparativamente, na análise de correlação espacial, se tomamos a soma de $W Z_k Z_i$, onde Z_i é o atraso espacial (*spatial lag*) dessa variável como dependente e o Z_i como a variável independente⁵.

O gráfico de dispersão de Moran é simplesmente um gráfico com valores tipicamente padronizado no eixo X , e o *spatial lag* no eixo Y . Desta maneira, este é um tipo de dispersão como quaisquer outros e a inclinação linear, obtida por meio do gráfico de dispersão do índice de Moran, possibilita observar se a inclinação é positiva ou negativa⁵.

A combinação da observação no eixo X e seu atraso espacial (*spatial lag*), no eixo Y , é chamado o gráfico de dispersão de Moran. O ajuste linear através destes pontos tem o declive de -0.032174 , que é o resultado dado anteriormente. O gráfico da Figura 4- 3 ilustra esse produto do índice de Moran bivariado.

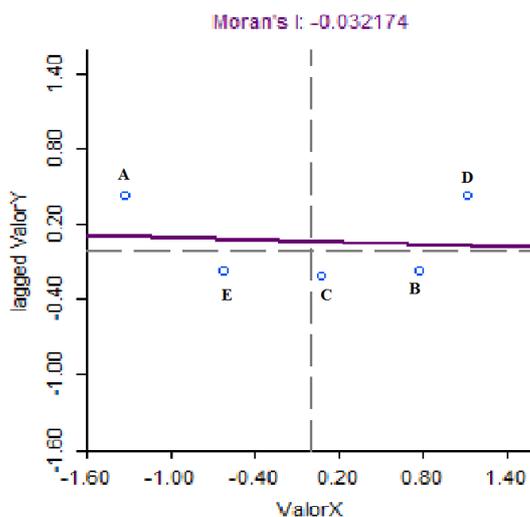


Figura 4-3: Gráfico de dispersão de Moran (*Moran' Scatterplot*).

Os quadrantes superior direito e inferior esquerdo são pontos onde os valores estão acima da média e têm vizinhos que também estão acima da média ou, ainda, valores que estão abaixo da média que tem vizinhos que são também abaixo da média.

A autocorrelação espacial pode ser decomposta em diferentes partes dos dados, e pode ser positiva ou negativa. O Índice de Moran permite decompor a autocorrelação

espacial global em quatro sub-categorias: alto-alto, baixo-baixo, alto-baixo, baixo e alto⁹.

Os conjuntos de valores semelhantes significa que as localidades são semelhantes em relação aos seus vizinhos no seu canto inferior direito e superior esquerdo. Os elementos do que seria a diagonal invertida, evidenciarão a autocorrelação negativa.

O Índice Local de Associação Espacial (LISA) que determina um valor específico para cada objeto analisado. Por meio deste índice bivariado é possível identificar conglomerados de objetos com valores e atributos semelhantes, os denominados *clusters*, e objetos anômalos, denominados *outliers*^{9,10}.

Desta forma, um dos objetivos do *LISA map* é permitir a identificação de modelos de associação espacial, de acordo com a Figura 4-4.



Figura 4-4: Valores possíveis do gráfico de dispersão de Moran.

As autocorrelações são definidas como *Clusters* ou *Outliers*, conforme a matriz de vizinhança, como demonstra o Quadro 4-1 seguinte:

Quadro 4-1: Valores possíveis da correlação espacial.

Quadrante	relação entre variáveis	Interpretação
1	Positiva	Cluster – valores positivos e acima da média entre vizinhos com valores acima da média
2	Negativa	Outlier - valores negativos e abaixo da média cercados por vizinhos com valores acima da média
3	Positiva	Cluster – valores negativos e abaixo da média cercados por vizinhos abaixo da média.
4	Negativa	Outlier – valores positivos e acima da média entre vizinhos abaixo da média

Este conceito de correlação espacial multivariada indica uma associação sistemática (mais do que provável, sob aleatoriedade espacial) de dados de uma variável (Z_k) com outra variável (Z_l) observada nos locais “vizinhos”⁶.

Os dados do agravo “intoxicação por agrotóxicos agrícolas” são referentes aos casos anuais em todos os 246 municípios goianos. Os dados do agravo em questão estão de acordo com a Classificação Internacional de Doenças – 10ª revisão¹¹. Por sua vez, os dados de população foram obtidos pelo TABNET¹², que também compõe o sítio eletrônico do Ministério da Saúde e, compilados e tabulados.

2. Materiais e métodos

Foi feita análise de correlação espacial de casos de intoxicação por agrotóxicos agrícolas e população, e de utilização de agrotóxicos por área plantada (l/ ha), por municípios do Estado de Goiás. As ocorrências de intoxicações foram obtidas do Sistema de Informação de Notificações de Agravos de Notificação (SINAN) – MS¹³ e as populações respectivas dos respectivos municípios foram extraídas do TABNET – MS¹².

O volume de agrotóxicos agrícolas foi calculado a partir de protocolo de utilização desses produtos de acordo com a área de cultivos¹⁴.

Os dados de cultivos agrícolas, por sua vez, foram obtidos a partir do Sistema de Recuperação Automática do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (SIDRA-IBGE), de acordo com a variável “área plantada”, em hectares. Escolhemos os três cultivos agrícolas predominantes em Goiás: soja, milho e cana-de-açúcar¹⁵⁻¹⁷.

Para o cálculo dos ingredientes ativos aplicados, utilizamos o protocolo descrito por Pignati *et al* (2017)¹⁴, que corresponde ao uso médio a seguir descrito para cada cultura, conforme indica o Quadro 4-2.

Quadro 4-2: Protocolo descrito por de utilização de pesticidas

Pesticida/Cultivar	Soja (L/ha)	Milho (L/ha)	Cana-de-açúcar (L/ha)
Glifosato	5,5	0,4	1,3
2,4D	1		0,25
Metolacoloro	0,7		
Tebutiurum	0,6	0,2	
Trifluralina	0,4		
Paraquate	0,3		
Flutriafol	0,25		
Carbofurano	0,2		
Atrazina		3,55	
Clorpirifós		0,25	
Metomil		0,2	
Metribuzim			0,5
Trifluralina			0,5
Tebuconazol			0,4
Diuron			0,45
MSMA			0,25
Carbofurano			0,2

Realizou-se também a configuração de um banco de dados espaciais a partir do relacionamento de entidades, cuja cardinalidade foi de um para um, no caso dos agrotóxicos agrícolas mais utilizados nas lavouras nos municípios goianos.

Além disso, buscamos observar se há presença de conglomerados espaciais de casos de intoxicação por agrotóxicos agrícolas e sua correlação entre as variáveis “incidência” e “quantidade de agrotóxicos utilizados” de acordo com a análise de correlação bivariada de Moran, realizada do *software* Geoda^{6,18}, versão 1.12.1.131.

3. Resultados

Abaixo, são indicados os prováveis *clusters* e *outliers* que relacionam a quantidade de agrotóxicos (variável “x”) e a incidência (variável “y”), denominado *Cluster Map* (A). Mapa de significância ou *significance map*, indicando p-valor que varia entre 0,001; 0,005 e 0,01, em escala de cores (B). Relação entre as variáveis “x” e “y”, de acordo com o gráfico de dispersão (C) e os resultados da randomização de Monte Carlo por 999 vezes (D). Essas variáveis são indicadas, na Figura 4-5, para o

período de 2007 a 2009; na Figura 4-6, para o período de 2010 a 2012; na Figura 4-7, de 2013 a 2015 e, por último, na Figura4-8, de 2016 e 2017.

Oito municípios apresentaram conglomerados do tipo alto-alto, são eles: Mineiros, Itumbiara, Goiatuba, Perolândia, Bom Jesus, Rubiataba, Nova Glória e Jandaia. Por sua vez, sete tem valores discrepantes (*outliers*), sendo os altos-baixos os municípios de Campo Alegre, São Simão, Paranaiguara e Turvânia, e os baixos-altos os municípios Santo Antônio da Barra, Joviânia e Ceres. Os valores de significância variaram entre $p=0.001$, $p=0.01$ e $p=0.05$. Um *cluster* é incluso no mais significativo valor de $p =0.001$, que é o município de Itumbiara, enquanto há quatro *outliers* altos-baixos também mais significativos ($p=0.001$), entre os quais incluem-se Campo Alegre, Turvânia, São Simão e Paranaiguara.

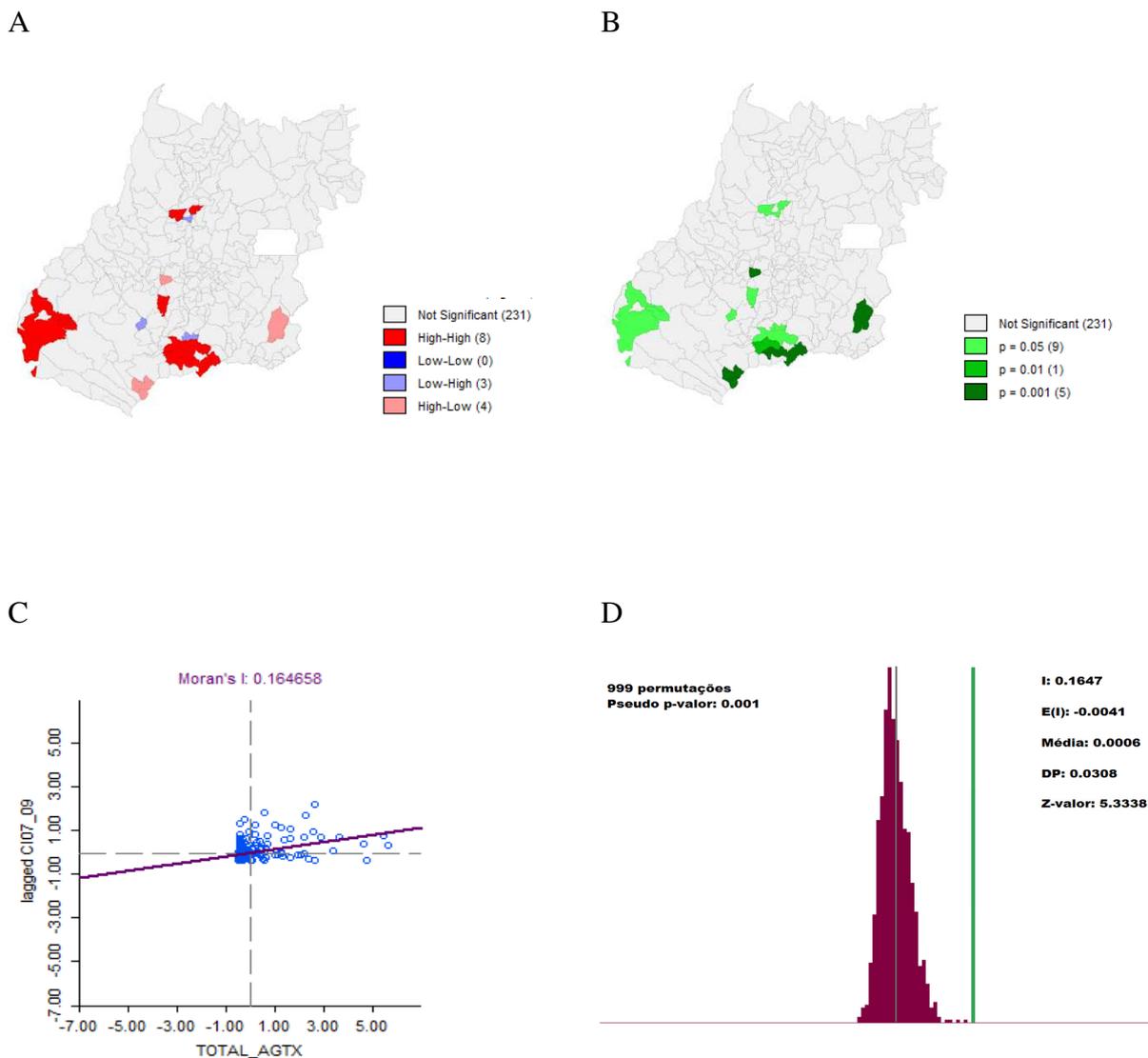


Figura 4-5: Cluster Map (A). Mapa de significância, indicando p-valor que varia entre 0,001; 0,005 e 0,01, em escala de cores (B). Relação entre as variáveis “x” e “y”, de acordo com o gráfico de dispersão (C) e os resultados da randomização de Monte Carlo por 999 vezes (D) de 2007 a 2009

Seis municípios apresentaram conglomerados do tipo alto-alto, são eles: Paraúna, Caldas Novas, Santa Helena, Turvelândia, Serranópolis e Chapadão do Céu, e sete baixos-baixos, são eles: Porangatu, Mara Rosa, Alto Paraíso, Alvorada do Norte, Jussara, Mossâmedes e Córrego do Ouro. Por sua vez, dez são *outliers*, contabilizando nove os baixos-altos, que são os municípios de São Luíz do Norte, Goianésia, Rialma, Jandaia, Indiara, Edéia, Santo Antônio da Barra, Itarumã e Itajá, além de um alto-baixo, que é Ipameri. Não há ocorrência de *clusters* ou *outliers* no mais significativo valor de $p=0.001$.

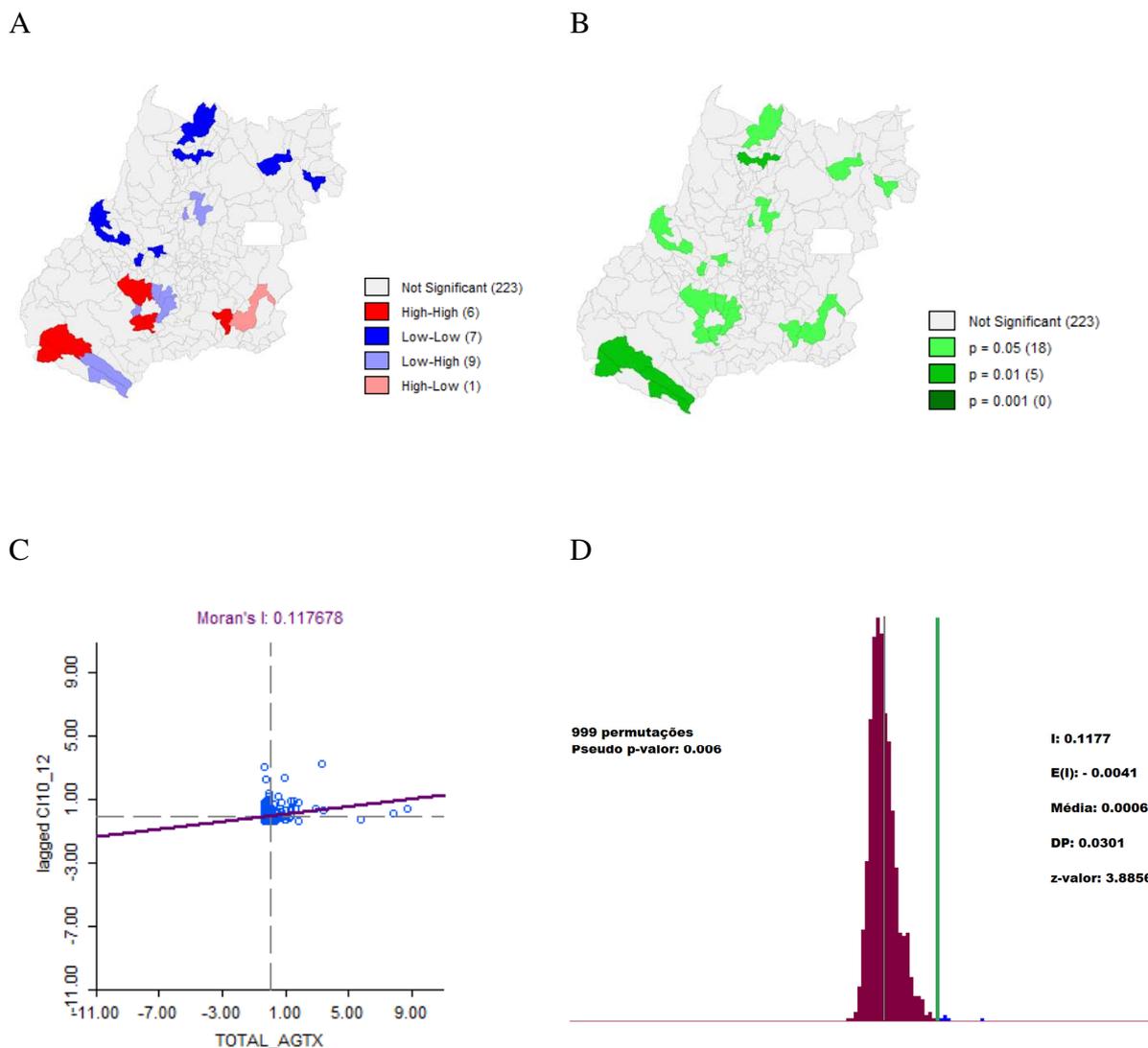
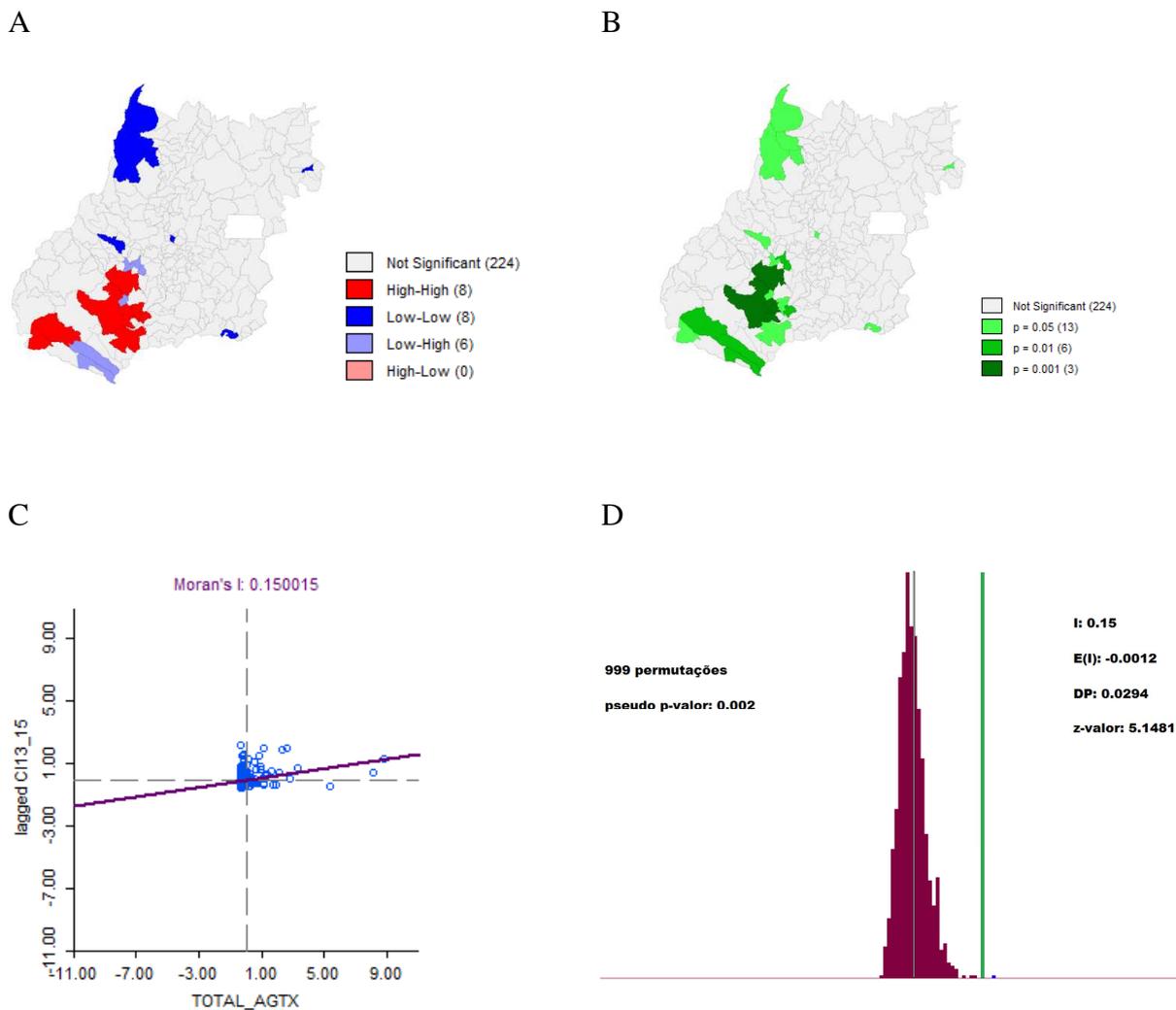


Figura 4-6: Cluster Map (A). Mapa de significância, indicando p-valor que varia entre 0,001; 0,005 e 0,01, em escala de cores (B). Relação entre as variáveis “x” e “y”, de acordo com o gráfico de dispersão (C) e os resultados da randomização de Monte Carlo por 999 vezes (D) de 2010 a 2012.

Dezesseis municípios apresentaram conglomerados do tipo alto-alto ou baixo-baixo. Entre esses, são oito municípios altos-altos: Paraúna, Rio Verde, Santa Helena, Turvelândia, Porteirão, Quirinópolis, Serranópolis e Chapadão do Céu; oito municípios tiveram valores baixos-baixos: São Miguel do Araguaia, Mundo Novo, Uirapuru, Nova Crixás, Buritinópolis, Santa Rosa, Fazenda Nova e Cumari. Por sua vez, seis são *outliers*, todos eles baixo-altos. São eles: Aurilândia, Firminópolis, Palminópolis, Santo

Antônio da Barra, Itarumã e Itajá. Todos os três valores de p mais significativo ($=0.001$) são *clusters*.

Figura 4-7: Cluster Map (A). Mapa de significância, indicando p-valor que varia entre 0,001; 0,005 e



0,01, em escala de cores (B). Relação entre as variáveis “x” e “y”, de acordo com o gráfico de dispersão (C) e os resultados da randomização de Monte Carlo por 999 vezes (D) de 2013 a 2015.

No total, 24 municípios apresentaram conglomerados do tipo alto-alto ou baixo-baixo. Entre esses, dez são do tipo alto-alto: Niquelândia, São João d’Aliança, Planaltina, Cabeceiras, Paraúna, Caiapônia, Mineiros, Rio Verde, Santa Helena e Turvelândia e doze baixos-baixos: Porangatu, Minaçu, Monte Alegre, Mundo Novo, Mara Rosa, Campinorte, Nova Iguaçu, Nova Crixás, Buritinópolis, Santa Rosa, Uirapuru e Senador Canedo. Por sua vez, dez são *outliers*, sendo seis baixos-altos e quatro alto-baixos. São baixos-altos: Damolândia, Campo Limpo, Firminópolis,

Aurilândia, Palminópolis e Baliza. São alto-baixos: 5208301, Formoso, 5221601 e 5210406. Dos quatro valores de p mais significativos ($=0.001$), três são *clusters* e um *outlier*.

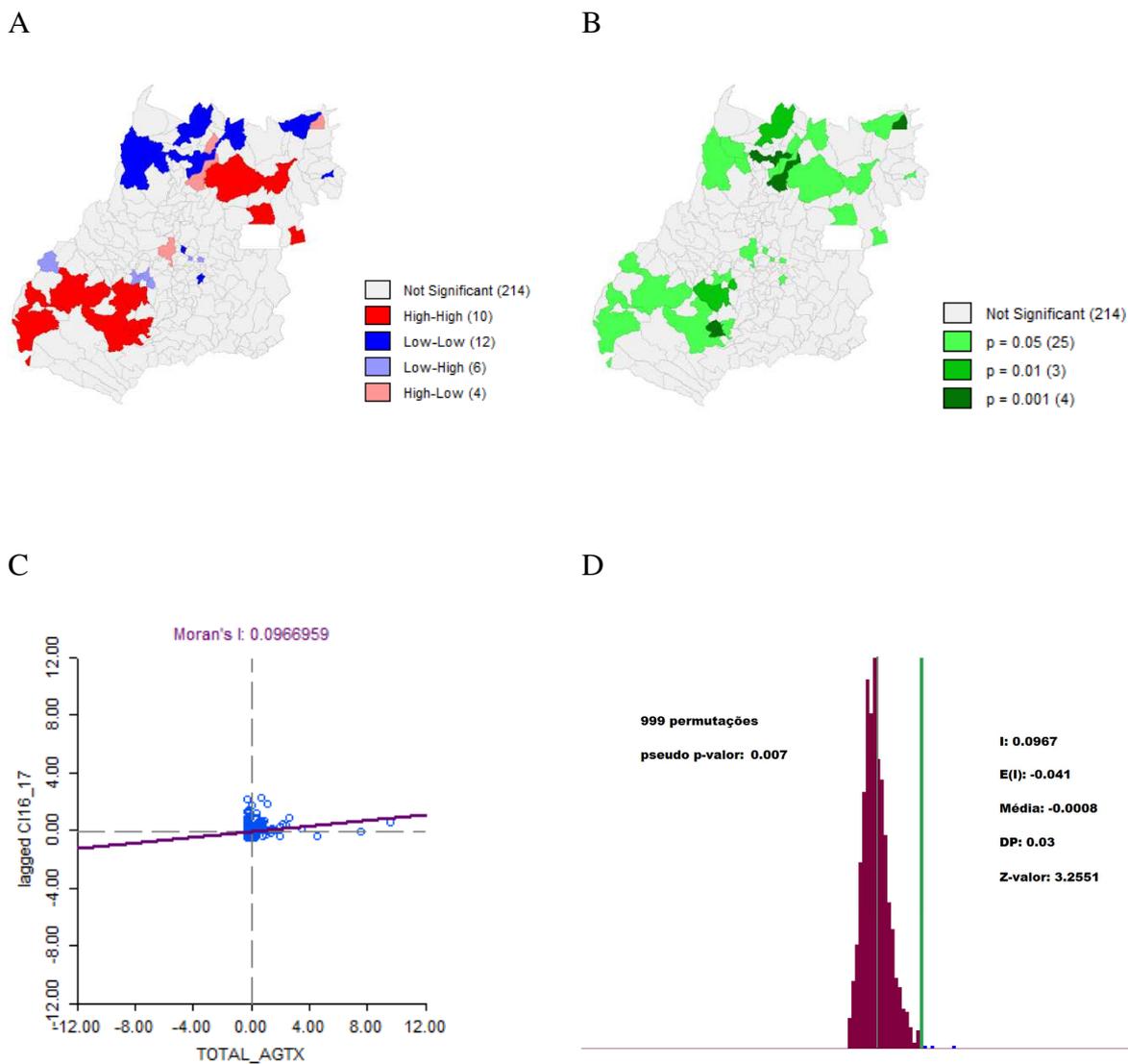


Figura 4-8: Cluster Map (A). Mapa de significância, indicando p-valor que varia entre 0,001; 0,005 e 0,01, em escala de cores (B). Relação entre as variáveis “x” e “y”, de acordo com o gráfico de dispersão (C) e os resultados da randomização de Monte Carlo por 999 vezes (D) de 2016 a 2017.

4. Discussão

O índice de Moran positivo é também significativo e consiste em pontos que são conjuntos potenciais de conglomerados (*clusters*) altos e baixos. Isso enfatiza o fato

de que uma autocorrelação espacial positiva não pode ser interpretada apenas como alta ou baixa, mas, sim, deve contemplar ambas as variáveis⁵.

No horizonte temporal compreendido entre 2007 e 2009 havia mais *outliers* do que conglomerados, enquanto p-valores mais significantivos. Entretanto, nos horizontes temporais mais recentes, tanto de 2012 a 2015 quanto de 2016 a 2017, o número de *clusters* superaram os de valores anômalos.

Ao longo dos triênios, o número de conglomerados aumentou em detrimento de *outliers*, o que é proporcional à utilização de litros de agrotóxicos nos mesmos municípios de *clusters*. Entre os conglomerados, a maior parte deles se situam na mesorregião sul do estado. Significa, portanto, que há uma associação entre a comercialização dessas substâncias e o Coeficiente de Incidência de intoxicações. Não se deve, porém, atribuir à esfera individual associações que são possíveis observar no coletivo. O significado, tanto dos conglomerados, quanto dos *outliers*, deve ser interpretado como probabilidades de ocorrências do referido evento em função da utilização do produto.

São poucos os *outliers*, o que significa que as localidades onde se observam baixas taxas de utilização de agrotóxicos são cercadas por regiões com alto Coeficiente de Incidência dos casos de intoxicação por agrotóxicos agrícolas, bem como altas taxas de utilização de agrotóxicos agrícolas cercados por regiões com baixo Coeficiente de Incidência desses casos. Quanto aos *outliers*, não há como dimensionar o nível de significância.

5. Conclusão

O trabalho indicou a ausência de estacionariedade, ou seja, trata-se de um processo espacial não estável, em que a presença de *clusters* do tipo alto-alto se concentram na mesorregião sul, e baixo-baixo na mesorregião norte. Existem subconjuntos onde há forte autocorrelação espacial dos dados, o que denota a presença de heterogeneidade espacial. A correlação do tipo alto-alto se dá onde o relevo é mais plano, o que favorece à prática de agricultura. Por outro lado, a correlação do tipo

baixo-baixo ocorre onde o relevo é mais acidentado, portanto, favorável à prática da pecuária.

A análise por meio do índice de Moran bivariado possibilita a identificação de áreas de utilização de agrotóxicos agrícolas e verificação de possíveis ocorrências de intoxicação humana associadas àquela utilização.

Observou-se correlação positiva entre as variáveis “incidência” e “quantidade de agrotóxicos” analisadas, em todos os cenários. Considerando os resultados da randomização, é altamente improvável que os conglomerados observados tenham se dado ao acaso.

6. Referências Bibliográficas

1. Quackenbush R, Hackley B, Dixon J. Screening for pesticide exposure: A case study. *J Midwifery Women's Heal* 2006;51(1):3–10.
2. Gebler L, Palhares JCP. Gestão ambiental na agropecuária. Embrapa Informação Tecnológica; Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho; 2007.
3. Virginia L, Bernardo M. Considerações sobre intoxicação humana por agrotóxicos no Centro-Oeste Brasileiro, no período de 2008 a 2013. *2017;13(1):114–25*. Available
4. Péry ARR, Schüürmann G, Ciffroy P, et al. Perspectives for integrating human and environmental risk assessment and synergies with socio-economic analysis. *Sci Total Environ* 2013;456–457:307–16.
5. Anselin L. Moran Scatter Plot [home page na internet][Acesso em 21.09.2018]. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ZfOc2Hn-GFc&t=386s>
6. Anselin L, Syabri I, Smirnov O. Visualizing multivariate spatial correlation with dynamically linked windows. *New Tools Spat Data Anal Proc Spec Meet*
7. Carvalho MS, Câmara G, Cruz OG, Correa V. Cap 5 - Análise de Dados de Área. *Análise Espacial de Dados Geográficos* 2004;0:44.
8. Anselin L, Cho WKT. Spatial Effects and Ecological Interference. *Polit Anal* 2002;276–97.
9. Anselin L, Syabri I, Kho Y. Local indicators of spatial association-LISA. *Geogr Anal [Internet]* 2006;27(2):93–115.
10. Krempi AP. Explorando recursos de estatística espacial para análise da acessibilidade da cidade de Bauru. 2004;94.
11. PesqCID. CID10 [home page na internet][Acesso em 21.08.2018]. Disponível em: <http://www.datasus.gov.br/cid10/V2008/cid10.htm>
12. Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. TABNET [home page na internet] [Acesso em 27.12.2017]. Disponível em:

<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/defthtm.exe?ibge/cnv/poptgo.def>

13. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. SINAN [home page na internet]. [Acesso em 27.12.2017]; Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/defthtm.exe?sinannet/cnv/Intoxgo.def>
14. Pignati WA, Lima FAN de S e, Lara SS de, et al. Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: uma ferramenta para a Vigilância em Saúde. *Cien Saude Colet* 2017;22(10):3281–93.
15. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [home page na internet]. Sist. IBGE Recuper. Automática. Produção Agrícola Munic. 2018 [Acesso em 18.05.2018]; Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457>
16. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística I. IBGE [home page na internet]. [Acesso em 29.12.2017]. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/panorama>
17. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [home page na internet]. Sist. IBGE Recuper. Automática. Produção Agrícola Munic. [Acesso em 26.07.2018]. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6615>
18. Anselin L. Exploring Spatial Data with GeoDa: A Workbook. *Geography* 2005;244.

Capítulo 5 - Associação de dados de contaminação por metais pesados em águas superficiais e casos de intoxicação humana por agrotóxicos agrícolas, de 2012 a 2014, em Goiás, Brasil

Prestes a ser submetido na Revista Brasileira de Epidemiologia

1. Introdução

Os agrotóxicos estão entre as várias substâncias químicas produzidas e utilizadas pelo homem com o intuito de repelir ou eliminar as pragas e doenças que acometem as lavouras¹. Eles também são danosos à saúde humana, por afetarem diretamente as pessoas que trabalham na agricultura e/ou o meio ambiente. A contaminação do meio ambiente ocorre também por meio da deriva, fenômeno em que consiste na disseminação dos agrotóxicos pelo vento, por ocasião das pulverizações aéreas. A contaminação do meio ambiente pode ocorrer, ainda, por lixiviação^{2,3}, situação em que as substâncias que compõem os agrotóxicos presentes no solo são carregadas pelas chuvas às correntes de águas próximas.

Entre as substâncias presentes em agrotóxicos que causam contaminação do solo e posterior degradação da qualidade da água estão o cobre, zinco, chumbo, além de arsênio⁴. Alguns estudos apontam correlação positiva entre a presença de agrotóxicos e a concentração total de metais, como o cobre, zinco e chumbo⁵⁻⁷.

Apesar disso, os agrotóxicos não constituem fonte única dessas substâncias. Baterias, combustíveis fósseis e atividades mineradoras, por exemplo, também causam contaminação por arsênio, tanto no solo quanto nos recursos hídricos, enquanto em óxidos para tintas, munições e também baterias são fontes de chumbo⁴.

A presença no solo do agrotóxico glifosato, que é o tipo mais utilizado em Goiás, está, por sua vez, negativamente relacionada à presença de bactérias, além de fungos, que contribuem para a degradação microbiológica do produto, propiciando a persistência de poluição por metais pesados, que, por sua vez, podem ser utilizados como indicador da saúde do solo^{5,6}.

De acordo com o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), o ingrediente ativo mais utilizado em Goiás é a glicina substituída e seus diferentes sais⁸, conforme ilustrado pela Figura 5-1. Enquanto a venda da glicina substituída responde por aproximadamente 33% de todos os agrotóxicos comercializados e todos os demais ingredientes ativos, que são mais de 200, somam 50% .

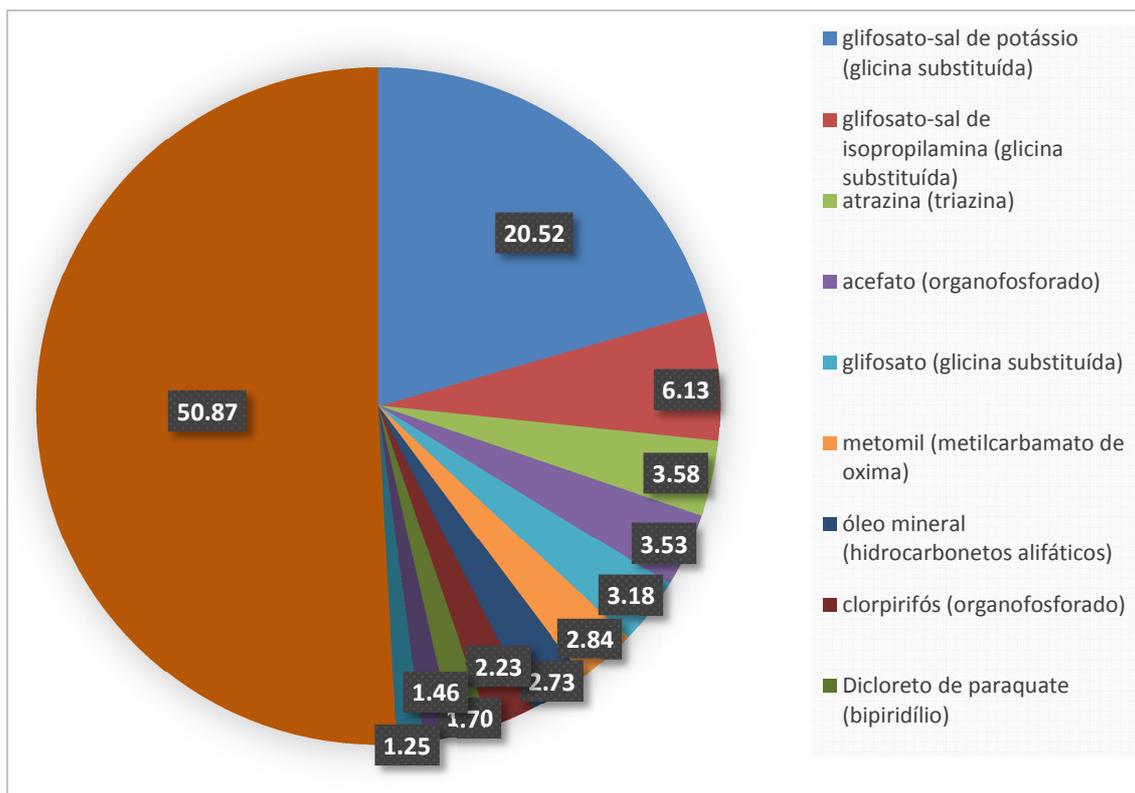


Figura 5-1: Gráfico de comercialização de diferentes agrotóxicos, em percentual.

É possível encontrar o elemento arsênio nas culturas de algodão, café, cana-de-açúcar e citrus, com a nomenclatura comum de MSMA (*monosodium methylarsonate*)⁹, no Brasil, sendo mais comumente comercializado com os nome de Ancosar 720, Dessecan, Fortex SC, MSMA 720 e Volcan⁹. Composto de arsênio e chumbo (arseniato de chumbo) é também encontrado em lavouras de algodão¹⁰.

Para verificar a presença de agrotóxicos na água em Goiás, representantes das regionais de saúde, da Superintendência de Vigilância em Saúde do Estado e do Ministério da Saúde selecionaram 23 municípios prioritários (em virtude da

inviabilidade da coleta em todos os municípios do Estado), nos quais foram realizadas 80 análises¹¹ no ano de 2016. Não foram obtidos esses dados.

Entre os critérios de seleção dos municípios para análise de presença de agrotóxicos na água estavam: i) a incidência de intoxicações exógenas nos municípios goianos, de acordo com o IBGE e o Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN); ii) o cadastro de áreas potencialmente contaminadas, de acordo com o Sistema de Informação de Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Solo Contaminado (SISSOLO); e iii) a presença de lavouras permanentes e temporárias, de acordo com dados do Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários (AGROFIT) (2010)¹².

Há de se considerar, porém, que as análises de metais na água, realizadas pela Companhia de Saneamento de Goiás (SANEAGO), são complementares àquelas sobre agrotóxicos, realizadas pela Secretaria de Saúde do Estado de Goiás acerca dos agrotóxicos, e que, portanto, não são as mesmas quantidades de análises e tampouco os mesmos municípios em que elas foram realizadas. Logo, não se tratam das mesmas amostragens.

Este trabalho procurou verificar a distribuição espacial dos dados da SANEAGO em relação às bacias de contribuição e a possível associação entre contaminação de águas superficiais pelos elementos chumbo e arsênio, em especial, aos casos de intoxicação humana por agrotóxicos. A hipótese testada foi a intoxicação humana por agrotóxicos agrícolas, enquadradas enquanto casos ambientais, como indicadora das análises que não atendem aos parâmetros da classe 2 da resolução 357/05 do CONAMA¹³.

2. Materiais e Métodos

Para a elaboração desse estudo seguiu-se o fluxograma apresentado na Figura 2 tendo como base: dados de intoxicação, limite municipal, tabela de análise de água e os respectivos pontos de coletas de água com coordenadas geográficas, o modelo digital de superfície – MDS do programa SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) e rede de drenagem. De posse dos dados foi criado o *Personal geodatabase* do ArcGis 10.2. A

projeção utilizada foi o CGS_SIRGAS2000 e a referência espacial foi SIRGAS_2000_UTM_Zone_22S.

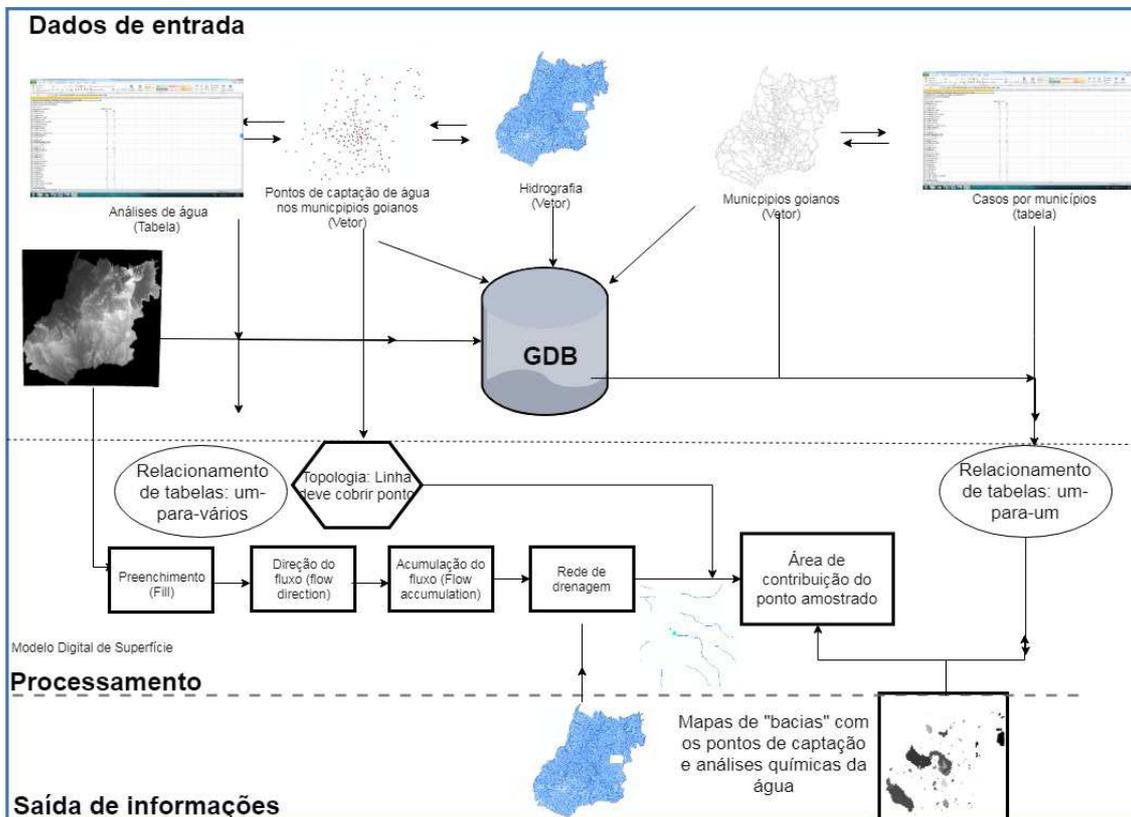


Figura 5-2: Fluxograma metodológico deste estudo.

Os dados de intoxicação por agrotóxicos agrícolas de ocorrências classificadas como ambientais foram obtidos pelo SINAN¹⁴, por município de residência (e não de notificação), para os anos de 2012 a 2014. Os atributos alfanuméricos referentes ao número de casos foram relacionados aos dados georreferenciados dos limites municipais goianos, obtido no *site* do Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG)¹⁵.

Quanto às análises de água, foram considerados 182 pontos de coleta pela SANEAGO em Goiás, os quais resultaram em 926 análises de metais pesados em águas superficiais pela mesma empresa. Significa, em média, duas análises por ano, no período de 2012 a 2014, com exceção de alguns municípios, para os quais foram feitas apenas uma vez no ano. Foram objetos dessas análises realizadas pela SANEAGO 157 municípios. A relação completa dos municípios em que são objetos de análises e mesmo os quais não são constam no anexo I.

Os pontos amostrados foram igualmente obtidos do *site* do SIEG e envolveram duas etapas para a localização mais aproximada deles: uma antes da geração da rede de drenagem e outra após a geração dessa rede, gerada a partir do Modelo Digital de Superfície. A etapa primeira consistiu em sobrepor os pontos de captação aos rios de mesmo nome ou ao rio mais próximo, por meio do arquivo vetorial de hidrografia, obtido no *site* de SIEG, de modo a promover a correspondência entre o local de captação e o recurso hídrico.

Quanto à topologia dos pontos de coletas, foram verificados os seguintes critérios:

- a. Menor proximidade ao rio de mesmo nome, e
- b. Menor proximidade ao rio de outro nome ou sem nome, de acordo com o arquivo vetorial de hidrografia obtido no sítio eletrônico do SIEG.

Imagens digitais do *Basemap* do *software* Arcgis (ESRI ®), versão 10.2, foram utilizadas para validar a localidade dos pontos de coleta (captações de água) já pré-determinados pela SANEAGO.

Após processamento do modelo digital de superfície (MDS), validaram-se os pontos de coleta na rede de drenagem. O MDS também foi obtido a partir *site* do SIEG para que se pudesse gerar a área de contribuição do rio para o ponto já pré-determinado. O valor assumido para tipo do pixel foi o *Unsigned integer 16 bit*. Utilizou-se a função de preenchimento (*fill*), que remove todos os vazios (*sink*) da imagem de superfície.

As tabelas de origem selecionadas foram as análises químicas de metais pesados, e as de destino, por sua vez, foram os pontos de captação (exutórios das áreas de contribuição). Os dados alfanuméricos de contaminação da água foram relacionados aos pontos de coleta de acordo com a chave do geocódigo do município. O relacionamento entre essas feições foi definida pela cardinalidade de um-para-muitos.

Para garantir que os pontos estivessem condizentes com a rede de drenagem, foi criada uma regra topológica de modo que eles tocassem as linhas referentes à drenagem (“*point must be covered by line*”). A Figura 5-3 mostra o resultado da validação da topologia.

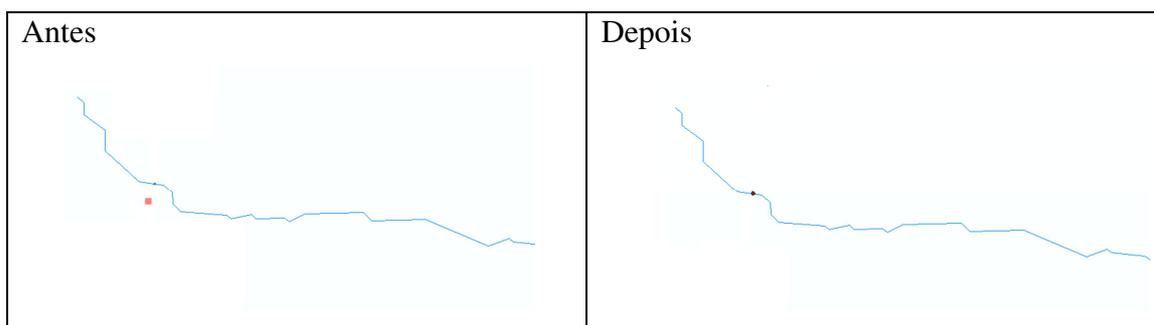


Figura 5-3: validação da topologia.

Do total de pontos de captação, não puderam ser validados sete, pois não tinham rios próximos em que contivessem os pontos ou tinha mais de um rio próximo que pudesse conter ponto.

A geração das áreas de contribuição é o produto do processamento acima descrito. Todo este processo foi realizado utilizando as ferramentas de análise hidrológica da extensão *spatial analyst*, do Arcgis 10.2.

Os limites máximos de contaminantes inorgânicos na água de superfície considerados neste trabalho são os descritos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) para as seguintes destinações pela classe 2: (a) abastecimento para consumo humano; (b) proteção de comunidades aquáticas; (c) recreação de contato primário; (d) irrigação de hortaliças, árvores frutíferas e gramíneas com as quais o público possa ter contato direto; e (e) aquicultura e pesca.

3. Resultados

Quanto às informações obtidas para o agravo à saúde humana, em análise preliminar, observou-se que, no ano de 2012, há municípios nos quais houve intoxicação e, no entanto, não houve coleta de água para análise. É o caso de Aporé, no qual se diagnosticaram onze casos no referido ano. Já no ano de 2013, no município de Caçú no qual também não foi realizada análise e, no entanto, sete casos foram diagnosticados. Por fim, no ano de 2014, nos municípios de Mineiros e Cabeceiras que tiveram, respectivamente, seis e oito casos, tampouco houve análise de água.

Outros municípios, em que tiveram entre um e cinco casos de intoxicação, não foram considerados para fins de comparação.

No que diz respeito às informações obtidas sobre contaminação dos recursos hídricos, as análises realizadas pela SANEAGO nos pontos de captação acerca do elemento arsênio, observa-se que nenhuma está acima do limite admitido, isto é, 0,01 mg/L (de acordo com a classe 2 da resolução 357/ 2005 do CONAMA). Todavia, entre as análises de chumbo há treze violações do limite tolerado, que também é de 0,01 mg/L, em todos os anos considerados neste estudo.

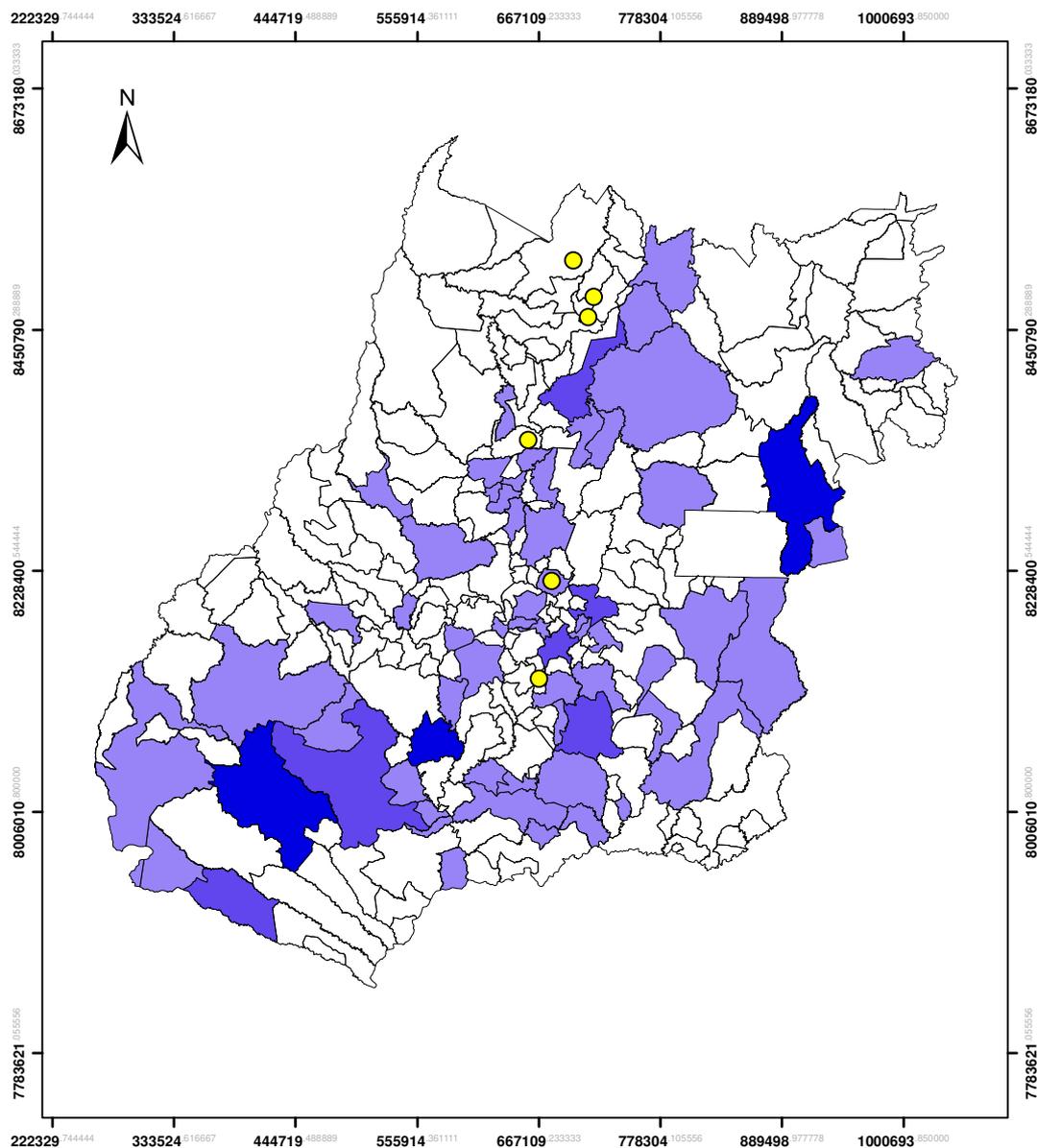
Ao contrastar os dados das bacias com altos valores de chumbo os dados de intoxicação, é possível verificar que, no ano de 2012, há seis extrapolações do limite tolerado, sendo cinco delas fora dos municípios de ocorrência de intoxicação e uma coincidente. Os pontos não coincidentes foram relacionados aos seguintes municípios: Porangatu (0,0353mg/L), Santa Tereza de Goiás (0,0128 mg/L), Estrela do Norte (0,247 mg/L), Itapaci (0,0102 mg/L) e Aragoiania (0,0426 mg/L). O ponto de captação coincidente com município onde houve intoxicação é Petrolina de Goiás (0,0161 mg/L).

Já no ano de 2013, há cinco extrapolações, nos seguintes municípios: Alvorada do Norte (0,0206 mg/L), Aragoiania (0,0258 mg/L), Leopoldo de Bulhões (0,0261 mg/L), Guapó (0,0843 mg/L) e Carmo do Rio Verde (0,0156 mg/L). Os três últimos municípios contêm também áreas de intoxicação por agrotóxicos.

No ano de 2014, por sua vez, os municípios de Amarinópolis (0,0119 mg/L) e Doverlândia (0,0107 mg/L) não contêm pontos coincidentes com as análises de intoxicação em questão.

O município de Rio Verde, por exemplo, teve relevante número de casos de intoxicação humana pelo ambiente, assim como Formosa e Acreúna, porém não há contaminação por arsênio ou chumbo em seus recursos hídricos.

As Figuras 5-4, 5-5 e 5-6 indicam os casos do agravo “intoxicação por agrotóxicos agrícolas” de 2012, 2013 e 2014 e presença de de chumbo acima do tolerado pelo CONAMA (0,01) nos pontos de captação pela SANEAGO, neste mesmo período, respectivamente. Nessas figuras, o mapa quantitativo mostra a variação da contaminação no estado. Os pontos são relativos às análises de chumbo.



Legenda

Chumbo na água

● Pb2012

Casos 2012

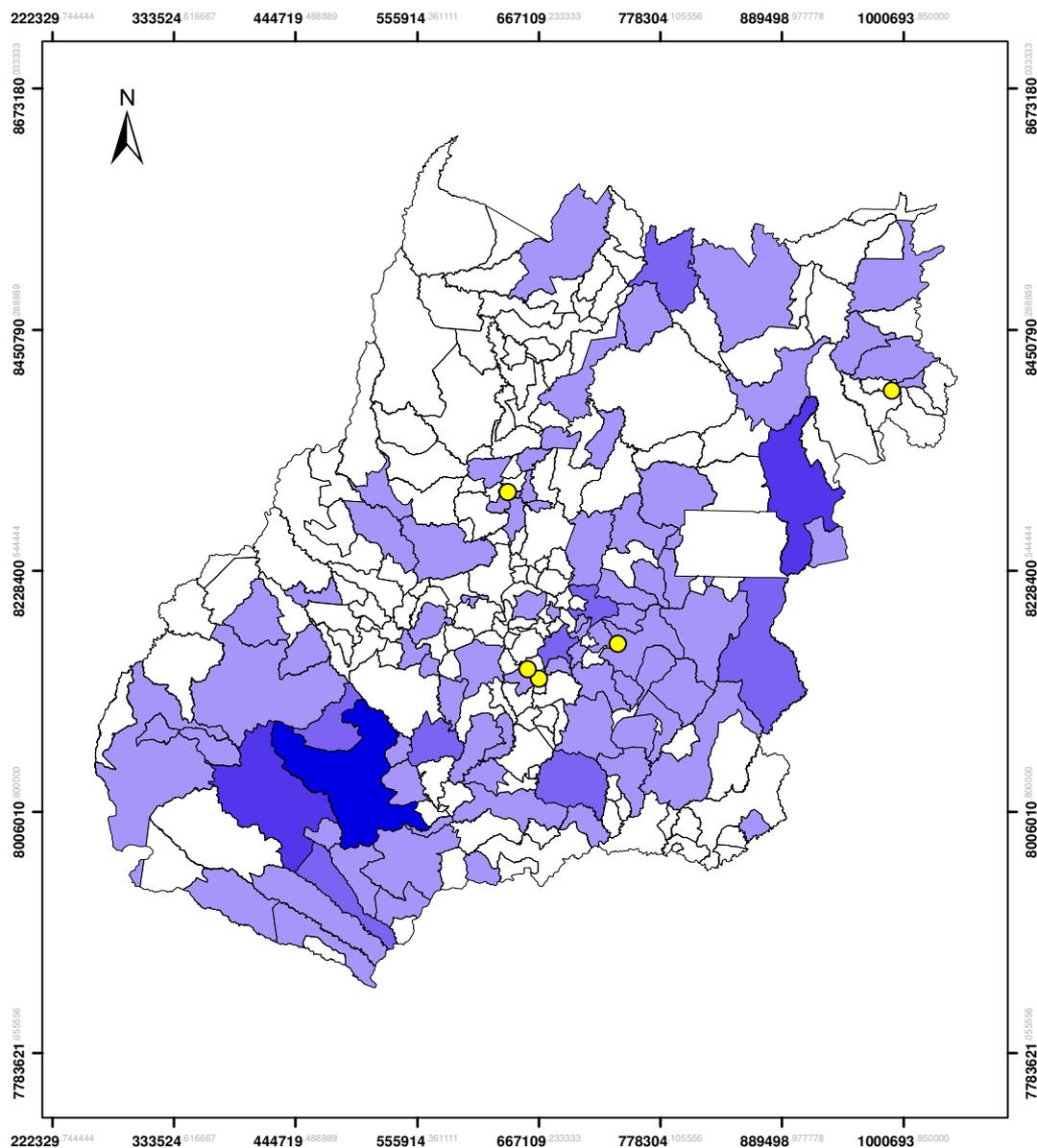
□ 0
 □ 1 - 5
 □ 6 - 15
 □ 16 - 25

1 cm = 48 km

0 70 140 280 Km

Sistema de Coordenadas: SIRGAS 2000 UTM Zona 22 S
 Projeção: Transversa de Mercator
 Datum: SIRGAS 2000

Figura 5-4: Mapa da contaminação de pontos de captação de água versus intoxicação por agrotóxicos agrícola no ano de 2012, em Goiás



Legenda

Chumbo na água

● Pb2013

Casos 2013

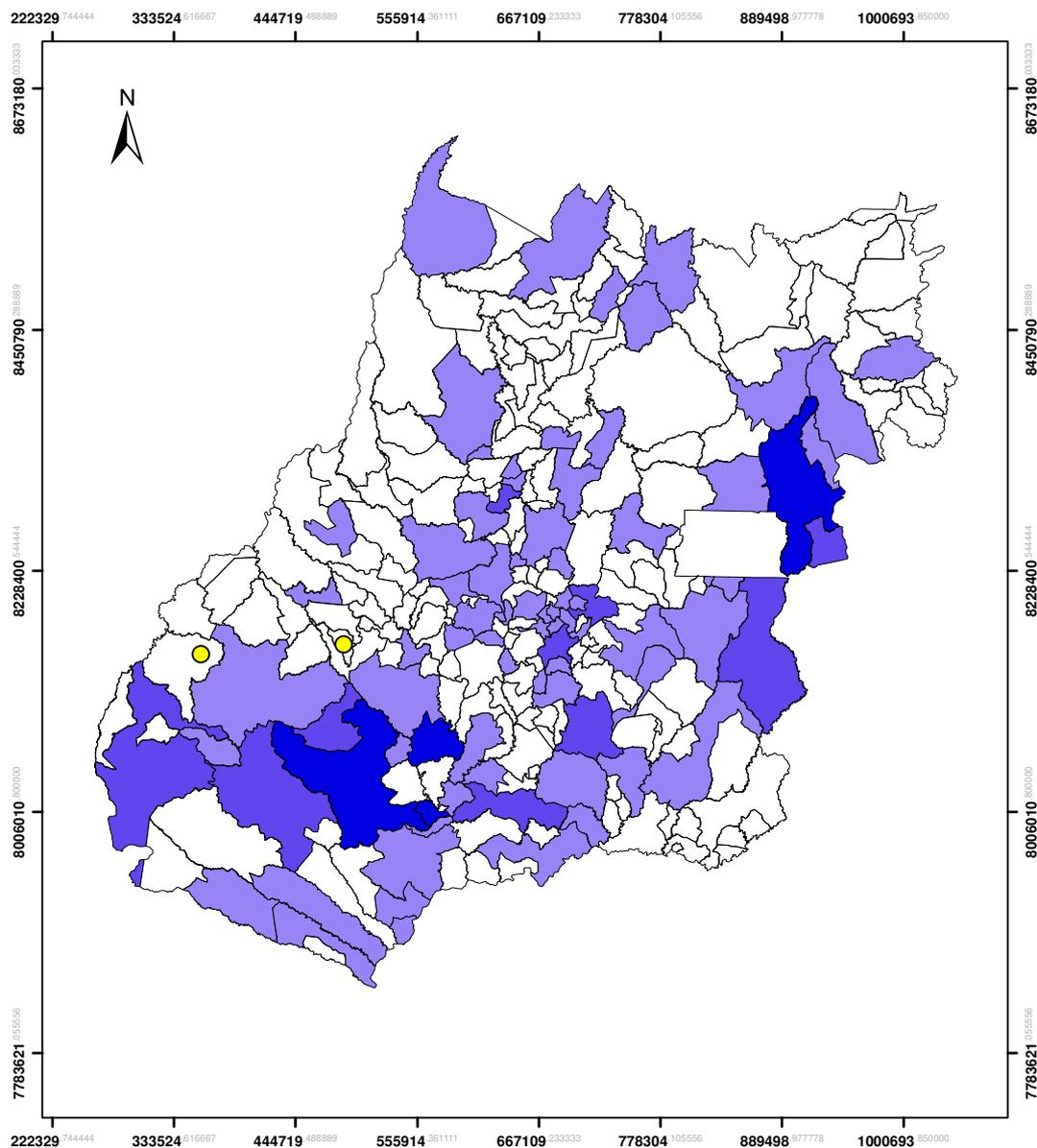
□ 0
 ■ 1 - 5
 ■ 6 - 15
 ■ 16 - 25

1 cm = 48 km

0 70 140 280 Km

Sistema de Coordenadas: SIRGAS 2000 UTM Zona 22 S
 Projeção: Transversa de Mercator
 Datum: SIRGAS 2000

Figura 5-5: Mapa da contaminação de pontos de captação de água versus intoxicação por agrotóxicos agrícola no ano de 2013, em Goiás.



Legenda

Chumbo na água

● Pb2014

Casos 2013

□ 0
 ■ 1 - 5
 ■ 6 - 15
 ■ 16 - 25

1 cm = 48 km

0 70 140 280 Km

Sistema de Coordenadas: SIRGAS 2000 UTM Zona 22 S
 Projeção: Transversa de Mercator
 Datum: SIRGAS 2000

Figura 5-6: Mapa da contaminação de pontos de captação de água versus intoxicação por agrotóxicos agrícola no ano de 2014, em Goiás.

4. Discussão

Entre os fatores que influenciam o agravamento à saúde estão o ar e solo, além da água¹⁶, que podem também explicar o acometimento da população dos municípios mencionados acima. A medida de morbidade ideal para a comparação da proporção de pessoas acometidas em cada região, é o coeficiente de incidência, que requer como denominador a população residente na zona rural (população em risco). Porém, até a data de publicação deste trabalho não havia a estimativa populacional rural de 2020¹⁷.

A contaminação da água, por sua vez, pode se dar diretamente por agrotóxicos que contenham metais pesados em sua formulação, como o arseniato de chumbo¹⁸ e o MSMA; ou indiretamente, prolongando a concentração dos metais que seriam degradados pela microbiota do solo já previamente exposto a estes produtos. Um estudo sobre o elemento fósforo na água talvez possa indicar de maneira mais fidedigna a contaminação direta por glifosato.

Nos anos abarcados por esse estudo (2012 a 2014), a SANEAGO não realizou, em muitos dos municípios em que foram identificados casos de intoxicação humana, a análise de águas, em especial naqueles localizados na mesorregião sul do Estado, como é o caso dos municípios de Aporé, Mineiros e Caçú.

Esse fato pode ocultar resultados de análises em desconformidade com os parâmetros limites de contaminantes inorgânicos. A alta ocorrência de intoxicação e o atendimento aos parâmetros para qualidade da água descritos acima podem ser explicados por essa subamostragem nas análises da SANEAGO.

As análises de água dos municípios que excederam ao padrão em que não se observam intoxicações podem ser igualmente explicadas por subnotificação, mas também pela não ocorrência de casos.

5. Conclusão

Os mapas de contaminação de água não servem de modelos preditivos da categoria ambiental de intoxicação. Essa falta de correspondência pode ser dada em razão de existirem outras fontes de contaminação, que não a água, como o solo e o ar.

A presença de intoxicação humana não necessariamente significa metais na água no mesmo município, porém, em todos os municípios com resíduos de metais devem ser realizadas análises de intoxicação humana. Isso significa dizer que em municípios como Aporé, Mineiros, Caçú Cabeceiras deveriam ter coletas e análises de metais nas águas de superfície, haja vista a quantidade de intoxicações humanas pelo meio ambiente nesses municípios.

Indica-se, a partir do presente estudo, que as autoridades sanitárias de Goiás devem, como etapa consecutiva à detecção de alterações qualidade da água, estabelecer um plano para amostragem confirmatória para metais pesados na água, uma vez que há presença desses produtos em diversos pontos de captação acima do limite aceitável.

Sobre a qualidade e disponibilidade de dados de análises de água, a exemplo do que ocorre nos EUA, onde existe uma especialização desse tipo de dado (conforme consta no *site* da Agência de Proteção Ambiental daquele país - EPA), e com a finalidade de viabilizar novos estudos, serão disponibilizadas as análises de água promovidas pela SANEAGO para o Estado de Goiás e os produtos gerados pelo modelo digital de superfície em um *site*, chamado *Geoviewer*, desenvolvido por Souza, R.B. Nele são dispostos também análises sobre vários outros contaminantes inorgânicos e as áreas de contribuição da água delimitada a partir dos pontos de coleta pela SANEAGO.

Os dados sobre a qualidade são dispostas no seguinte site:
<<<http://www.geoviewer.com.br/geoviewer/mapa/projeto/p/23>>>

Anexo I: Municípios analisados e não analisados

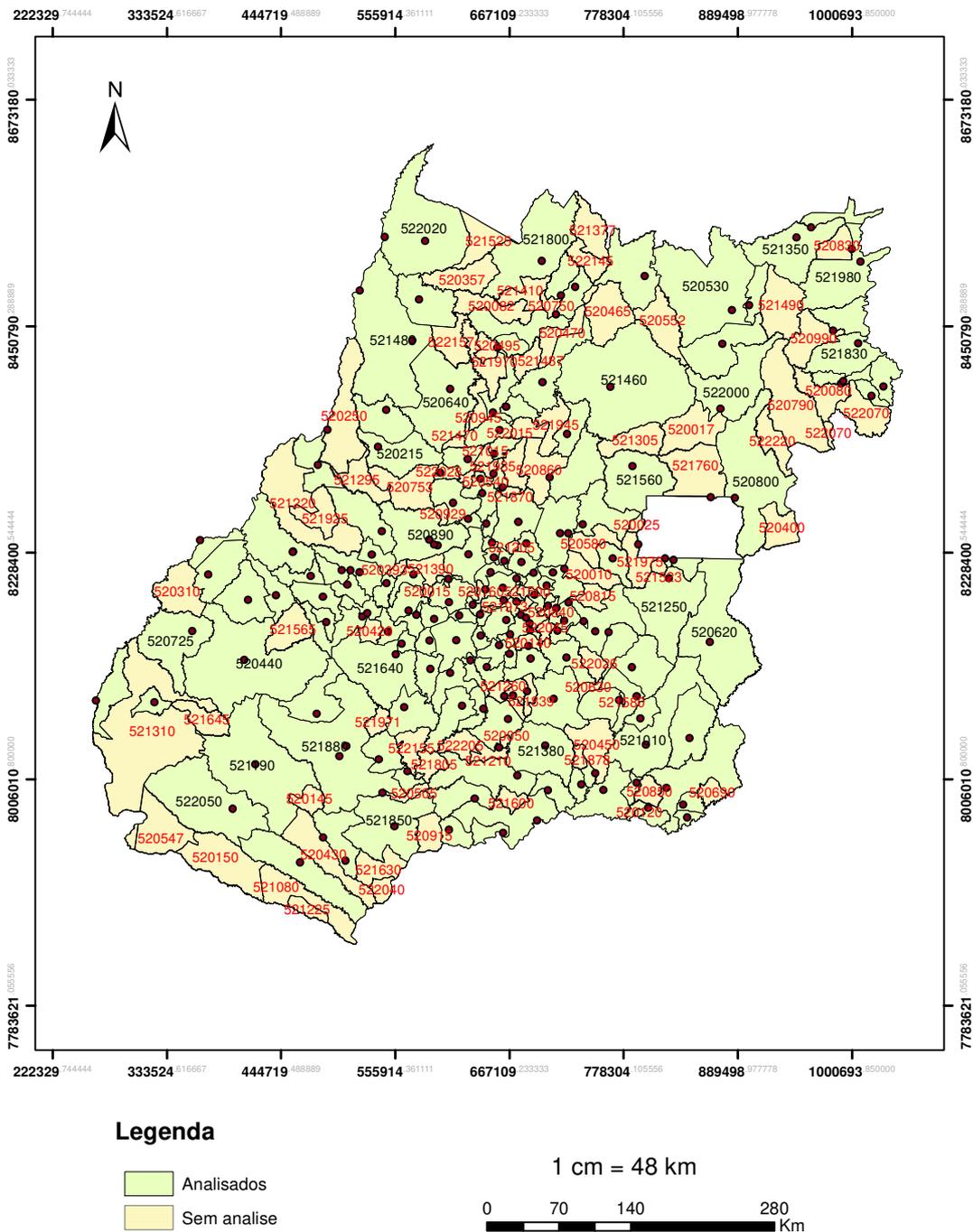


Figura 5-7: : Municípios analisados e não analisados

Anexo II – Quadro referente à Figura 5-7

Quadro 5-1: Nomes dos municípios com os respectivos geocódigos.

Cod. Mun	Município	Cod. Mun	Município	Cod. Mun	Município	Cod. Mun	Município
520005	Abadia de Goiás	520547	Chapadão do Céu	521180	Jaraguá	521805	Porteirão
520010	Abadiânia	520549	Cidade Ocidental	521190	Jataí	521810	Portelândia
520013	Acreúna	520551	Cocalzinho de Goiás	521200	Jaupaci	521830	Posse
520015	Adelândia	520552	Colinas do Sul	521205	Jesúpolis	521839	Professor Jamil
520017	Água Fria de Goiás	520570	Córrego do Ouro	521210	Joviânia	521850	Quirinópolis
520020	Água Limpa	520580	Corumbá de Goiás	521220	Jussara	521860	Rialma
520025	Águas Lindas de Goiás	520590	Corumbaíba	521225	Lagoa Santa	521870	Rianópolis
520030	Alexânia	520620	Cristalina	521230	Leopoldo de Bulhões	521878	Rio Quente
520050	Aloândia	520630	Cristianópolis	521250	Luziânia	521880	Rio Verde
520055	Alto Horizonte	520640	Crixás	521260	Mairipotaba	521890	Rubiataba
520060	Alto Paraíso de Goiás	520650	Cromínia	521270	Mambaí	521900	Sanclerlândia
520080	Alvorada do Norte	520660	Cumari	521280	Mara Rosa	521910	Santa Bárbara de Goiás
520082	Amaralina	520670	Damianópolis	521290	Marzagão	521920	Santa Cruz de Goiás
520085	Americano do Brasil	520680	Damolândia	521295	Matrinchã	521925	Santa Fé de Goiás
520090	Amorinópolis	520690	Davinópolis	521300	Maurilândia	521930	Santa Helena de Goiás
520110	Anápolis	520710	Diorama	521305	Mimoso de Goiás	521935	Santa Isabel
520120	Anhanguera	520725	Doverlândia	521308	Minaçu	521940	Santa Rita do Araguaia
520130	Anicuns	520735	Edealina	521310	Mineiros	521945	Santa Rita do Novo Destino
520140	Aparecida de Goiânia	520740	Edéia	521340	Moiporá	521950	Santa Rosa de Goiás
520145	Aparecida do Rio Doce	520750	Estrela do Norte	521350	Monte Alegre de Goiás	521960	Santa Tereza de Goiás
520150	Aporé	520753	Faina	521370	Montes Claros de Goiás	521970	Santa Terezinha de Goiás
520160	Araçu	520760	Fazenda Nova	521375	Montividiu	521971	Santo Antônio da Barra
520170	Aragarças	520780	Firminópolis	521377	Montividiu do Norte	521973	Santo Antônio de Goiás
520180	Aragoiânia	520790	Flores de Goiás	521380	Morrinhos	521975	Santo Antônio do Descoberto
520215	Araguapaz	520800	Formosa	521385	Morro Agudo de Goiás	521980	São Domingos
520235	Arenópolis	520810	Formoso	521390	Mossâmedes	521990	São Francisco de Goiás
520250	Aruanã	520815	Gameleira de Goiás	521400	Mozarlândia	522000	São João d'Aliança
520260	Aurilândia	520830	Divinópolis de Goiás	521405	Mundo Novo	522005	São João da Paraúna
520280	Avelinópolis	520840	Goianópolis	521410	Mutunópolis	522010	São Luís de Montes Belos

520310	Baliza	520850	Goiandira	521440	Nazário	522015	São Luíz do Norte
520320	Barro Alto	520860	Goianésia	521450	Nerópolis	522020	São Miguel do Araguaia
520330	Bela Vista de Goiás	520870	Goiânia	521460	Niquelândia	522026	São Miguel do Passa Quatro
520340	Bom Jardim de Goiás	520880	Goianira	521470	Nova América	522028	São Patrício
520350	Bom Jesus de Goiás	520890	Goiás	521480	Nova Aurora	522040	São Simão
520355	Bonfinópolis	520910	Goiatuba	521483	Nova Crixás	522045	Senador Canedo
520357	Bonópolis	520915	Gouvelândia	521486	Nova Glória	522050	Serranópolis
520360	Brazabrantes	520920	Guapó	521487	Nova Iguaçu de Goiás	522060	Silvânia
520380	Britânia	520929	Guaraíta	521490	Nova Roma	522068	Simolândia
520390	Buriti Alegre	520940	Guarani de Goiás	521500	Nova Veneza	522070	Sítio d'Abadia
520393	Buriti de Goiás	520945	Guarinos	521520	Novo Brasil	522100	Taquaral de Goiás
520396	Buritinópolis	520960	Heitoraí	521523	Novo Gama	522108	Teresina de Goiás
520400	Cabeceiras	520970	Hidrolândia	521525	Novo Planalto	522119	Terezópolis de Goiás
520410	Cachoeira Alta	520980	Hidrolina	521530	Orizona	522130	Três Ranchos
520420	Cachoeira de Goiás	520990	Iaciara	521540	Ouro Verde de Goiás	522140	Trindade
520425	Cachoeira Dourada	520993	Inaciolândia	521550	Ouvidor	522145	Trombas
520430	Caçu	520995	Indiara	521560	Padre Bernardo	522150	Turvânia
520440	Caiapônia	521000	Inhumas	521565	Palestina de Goiás	522155	Turvelândia
520450	Caldas Novas	521010	Ipameri	521570	Palmeiras de Goiás	522157	Uirapuru
520455	Caldazinha	521015	Ipiranga de Goiás	521580	Palmelo	522160	Uruaçu
520460	Campestre de Goiás	521020	Iporá	521590	Palminópolis	522170	Uruana
520465	Campinaçu	521030	Israelândia	521600	Panamá	522180	Urutaí
520470	Campinorte	521040	Itaberaí	521630	Paranaiguara	522185	Valparaíso de Goiás
520480	Campo Alegre de Goiás	521056	Itaguari	521640	Paraúna	522190	Varjão
520485	Campo Limpo de Goiás	521060	Itaguaru	521645	Perolândia	522200	Vianópolis
520490	Campos Belos	521080	Itajá	521680	Petrolina de Goiás	522205	Vicentinópolis
520495	Campos Verdes	521090	Itapaci	521690	Pilar de Goiás	522220	Vila Boa
520500	Carmo do Rio Verde	521100	Itapirapuã	521710	Piracanjuba	522230	Vila Propício
520505	Castelândia	521120	Itapuranga	521720	Piranhas		
520510	Catalão	521130	Itarumã	521730	Pirenópolis		
520520	Caturai	521140	Itauçu	521740	Pires do Rio		
520530	Cavalcante	521150	Itumbiara	521760	Planaltina		
520540	Ceres	521160	Ivolândia	521770	Pontalina		
520545	Cezarina	521170	Jandaia	521800	Porangatu		

6. Referências Bibliográficas

1. Pfleeger TG, Olszyk D, Burdick C a, King G, Kern J, Fletcher J. Using a geographic information system to identify areas with potential for off-target pesticide exposure. *Environ Toxicol Chem* 2006;25(8):2250–9.
2. Goudinho VITÓ CV, Bernardo Ferreira da SILVA LJ, Lima OLIVEIRA KDM, GOMES AT, De Oliveira NUNES CR. Avaliação Da Qualidade Da Água: Determinação Dos Possíveis Contaminantes Da Água De Poços Artesianos Na Região Noroeste Fluminense. *Acta Biomed Bras* 2016;7(2):59–75.
3. Grisolia CK. Agrotóxicos: mutações, câncer e reprodução. Universidade de Brasília. Brasília: 2005.
4. Sinino CLS, Oliveira-Filho EC. Princípios de toxicologia ambiental. In: Princípios de toxicologia ambiental. 2013.
5. Kools SAE, Van Rooyt M, Van Gestel CAM, Van Straalen NM. Glyphosate degradation as a soil health indicator for heavy metal polluted soils. *Soil Biol Biochem* 2005;37(7):1303–7.
6. Tchounwou PB, Yedjou CG, Patlolla AK, Sutton DJ. Molecular, Clinical and Environmental Toxicology. 2012;101:1–30.
7. Heidenreich Silva Bucci MM, da Fonseca Delgado FE, da Silva Santos C, Cappa de Oliveira LF. Análise de metais, agrotóxicos, parâmetros físico-químicos e microbiológicos nas águas da Represa Dr. João Penido, Juiz de Fora, MG. *Ambient Água-An Interdiscip J Appl Sci* 2015;10(4).
8. Brasil. Lei no 12.527, de 18 de novembro de 2011. Regula o acesso a informações. *Diário Oficial da União* 2011 [home page na internet]. Disponível em: <https://esic.cgu.gov.br/sistema/Pedido/DetalhePedido.aspx?id=gaMjiM5oC+I=>
9. Sistema de agrotóxicos fitossanitários [home page na internet]. [Acesso em 20.01.2018]; Disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons
10. Giannotti O. Resíduos de defensivos agrícolas nos alimentos. *Rev do Serviço Público* 2017;40(4):177–86.
11. Secretaria do Estado da Saúde. Superintendência de Vigilância em Saúde. Plano de Amostragem para Análises de Agrotóxicos em água do Estado de Goiás. Disponível em: <http://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2014/maio/07/Goi--s.pdf>

12. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Plano para implantação da Vigilância em saúde de populações expostas a agrotóxicos no Estado de Goiás. :1–16.
13. Conama. Resolução n 357, 18 de março de 2005. Diário Of 2005;(053):58–63.
14. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. SINAN [home page na internet]. [Acesso em 27.12.2017]; Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?sinannet/cnv/Intoxgo.def>
15. Sistema Estadual de Geoinformação - Instituto Mauro Borges [home page na internet]. [Acesso em 20.08.2018];Disponível em: <http://www.sieg.go.gov.br/siegdownloads/>
16. Documento orientador para a implementação da vigilância em saúde de populações expostas a agrotóxicos [Internet]. 2013; Disponível em: www.saude.gov.br/svs/pisast
17. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [home page na internet]. Sist. IBGE Recuper. Automática. Produção Agrícola Munic. [Acesso em 21.07.2017]; Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/202>
18. Kim S, Thiessen PA, Bolton EE, Chen J, Fu G, Gindulyte A, Han L, He J, He S, Shoemaker BA, Wang J, Yu B, Zhang J BS. PubChem Substance and Compound databases [Internet]. [Acesso 20.07.2018]; Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>

Capítulo 6 - Conclusão da dissertação

Neste trabalho foi observada a difusão do número de casos e de municípios em que residem pessoas intoxicadas e um aumento fora de proporção entre a quantidade de agrotóxicos comercializados e o coeficiente de incidência de intoxicações. O estudo revelou a existência de região mais provável de acontecer intoxicação, que é a mesorregião sul goiana. Nessas regiões mais prováveis existem agrupamentos condizentes com a associação entre as variáveis “coeficiente de incidência” e “litros de agrotóxicos”. Os *clusters* do tipo alto-alto estão, em geral, na mesorregião sul goiana; os do tipo baixo-baixo, na mesorregião norte goiana. Essa associação resulta de uma exposição direta aos agrotóxicos. O período considerado foi 2007 a 2017.

Já no que diz respeito a exposição indireta de pessoas ao agente tóxico, não parece haver associação entre os metais chumbo e arsênio e casos ambientais de intoxicação humana. Deve-se notar, contudo, que podem haver outros resíduos oriundos de agrotóxicos que não foram investigados neste trabalho, sobretudo na mesorregião sul do Estado. Por isso, deve ser investigada a contaminação na água diante do diagnóstico de casos. Neste caso, o período considerado foi 2012 a 2014.

Para promover essas futuras pesquisas com outros elementos químicos, as análises químicas da água da SANEAGO serão disponibilizadas em um banco de dados do *site Geoviewer*. Note-se que anteriormente essas análises estavam disponíveis apenas para leitura (em pdf), mas não para edição e visualização em banco de dados espaciais.

Conhecer os fatores que tornam as intoxicações mais prováveis, além das contaminações, pode ajudar os gestores na tomada de decisões prioritárias na área da saúde, na agricultura e no meio ambiente.

Foram diferentes métodos utilizados para cada capítulo aqui descrito: No capítulo dois dessa dissertação foi utilizada estatística puramente descritiva. Já no capítulo três, foi utilizado o modelo de *Poisson* da estatística espacial de Kulldorff. No capítulo seguinte (quatro), também foi utilizada estatística espacial, só que diz respeito a análise bivariada de Moran. No capítulo cinco foi feita uma análise puramente comparativa entre as contaminações por metais e intoxicações humana.

Foram limitações deste estudo a falta de dados oficiais de venda de agrotóxicos por municípios, o que poderia proporcionar uma análise de correlação regionalizada, bem como de dados de agrotóxicos propriamente ditos na água (e não apenas de metais pesados). Isso poderia validar os diagnósticos de casos ambientais em seres humanos. Além disso, caso se tivesse a população rural correspondente a cada município, seria propício o cálculo do coeficiente de incidência na zona rural.

Esse trabalho pode ser aplicado em termos de políticas públicas na medida em que fornece elementos para direcionar a ação de seus agentes. Por exemplo: sabe-se que na mesorregião sul ocorrem muitos casos, que é correlacionado ao aumento do cultivo agrícola e que a população mais exposta são os trabalhadores do campo. Saber como ocorre a aplicação de pesticidas nesses municípios e realizar análises de água poderiam contribuir para a diminuição da ocorrência de casos de intoxicação.