

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA - PPGEAS

**Risco de contaminação pela presença de disposição
final de resíduos sólidos urbanos em bacias de
captação superficial de água para abastecimento
público no estado de Goiás**

Roberta Vieira Nunes Pinheiro

**GOIÂNIA
2017**



TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: **Dissertação** **Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação

Nome completo do autor: Roberta Vieira Nunes Pinheiro

Título do trabalho: Risco de contaminação pela presença de disposição final de resíduos sólidos urbanos em bacias de captação superficial de água para abastecimento público no estado de Goiás.

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.

Roberta Vieira Nunes Pinheiro
Assinatura do (a) autor (a)

Data: 21 / 02 / 2017

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

Roberta Vieira Nunes Pinheiro

Risco de contaminação pela presença de disposição final de resíduos sólidos urbanos em bacias de captação superficial de água para abastecimento público no estado de Goiás

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Goiás para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Área de concentração: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Scalize

**GOIÂNIA
2017**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Pinheiro, Roberta Vieira Nunes

Risco de contaminação pela presença de disposição final de resíduos sólidos urbanos em bacias de captação superficial de água para abastecimento público no estado de Goiás [manuscrito] / Roberta Vieira Nunes Pinheiro. - 2017.

50 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Scalize.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, Goiânia, 2017.

Bibliografia.

Inclui lista de figuras, lista de tabelas.

1. Contaminação por lixiviado. 2. Disposição final dos resíduos sólidos urbanos. 3. Qualidade das águas de abastecimento. 4.

Vulnerabilidade ambiental. I. Scalize, Paulo Sérgio, orient. II. Título.

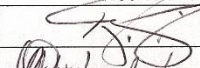
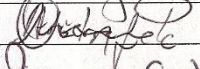
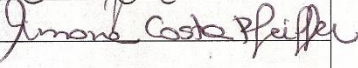
CDU 628

ATA DE DEFESA 01/2017

Mestrando: **ROBERTA VIEIRA NUNES PINHEIRO**

Título da Dissertação: **"RISCO DE CONTAMINAÇÃO PELA PRESENÇA DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM BACIAS DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO NO ESTADO DE GOIÁS".**

2. Comissão Examinadora: (PROFESSORES DOUTORES)

NOME	FUNÇÃO	ASSINATURA
Paulo Sérgio Scalize	Presidente/Orientador	
Nilson Clementino Ferreira (PPGEAS)	Examinador Interno	
Simone Costa Pfeiffer (UFG)	Examinador Externo	
Klebber T. Martins Formiga (PPGEAS)	Supl. Exam. Interno	
Karla Alcione da Silva Cruvinel (UFG)	Supl. Exam. Externo	

3. Resultado:

A Banca Examinadora, em 21/02/2017, 15:00h, na E.E.C.A. - UFG, após o exame da Defesa da Dissertação e arguição do candidato, decidiu:


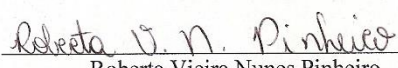
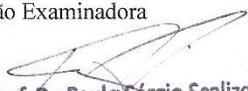

Pela aprovação do candidato, condicionada a entrega do exemplar definitivo com as correções exigidas pela banca, no prazo máximo de 60 (sessenta) dias, ficando o professor orientador responsável por atestar o cumprimento dessa exigência.

Pela reprovação do candidato.

Preencher após reformulação:

O aluno apresentou as modificações sugeridas e a dissertação foi aprovada;

O aluno apresentou as modificações, porém, a dissertação não foi aprovada

Autenticação Presidente da Comissão Examinadora 21 / 02 / 2017  Prof. Dr. Paulo Sérgio Scalize PPGEAS/EEC/UFG	Assinatura do candidato:  Roberta Vieira Nunes Pinheiro
Autenticação após reformulação Presidente da Comissão Examinadora 21 / 03 / 2017  Prof. Dr. Paulo Sérgio Scalize PPGEAS/EEC/UFG	Coodenação do PPGEAS 30 / 03 / 2017  Prof. Dr. João Roberto Guimarães Vasco Coordenador do PPGEAS/ECA/UFG

*Dedico esse trabalho
À alma da minha irmã Liliana Nunes,
que em sua breve partida me ensinou a buscar pelos meus sonhos e verdadeiras vocações.
À vida da minha filha Elisa Pinheiro,
que me trouxe alegria e entusiasmo para seguir em frente e voltar a estudar.*

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida, benção e proteção.

Ao Professor e orientador Dr. Paulo Scalize, pela orientação, atenção, ensinamentos e conselhos.

Ao Dr. Germán Lobón, por todas as contribuições e sugestões.

Aos meus familiares, por me apoiarem em todos os momentos e me entenderem nos momentos de ausência.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária (PPGEAS) pela formação e ensinamentos e à Capes pela bolsa de estudos concedida.

Aos meus colegas do PPGEAS e do Laboratório de Água pelas longas horas de convívio, solidariedade e troca de conhecimentos.

A todas as pessoas que, por diferentes motivos, foram fonte de inspiração nessa caminhada.

A todos, o meu muito obrigado!

RESUMO

Modelos de vulnerabilidade são importantes ferramentas no estudo de contaminação da qualidade das águas por diferentes atividades de uso do solo. O objetivo desta pesquisa foi avaliar o risco de contaminação pela presença de disposição final de resíduos sólidos urbanos (DRS) em bacias de captação superficial de água (BCS) para abastecimento público no estado de Goiás. Foi realizada a identificação e caracterização das BCS e das DRS em um sistema de informações geográficas utilizando o *software* QGIS 2.12.0 - Lyon. Posteriormente essas informações foram sobrepostas permitindo identificar as BCS com DRS em suas delimitações. Para esse grupo foi aplicado o Índice de Susceptibilidade (IS), composto por características intrínsecas das BCS (profundidade da zona não saturada, recarga, material do aquífero e topografia) e por uma extrínseca, o uso e ocupação do solo. A realização do comparativo e a identificação das classes predominantes do IS foi realizado pelo cálculo da vulnerabilidade média de cada BCS. Desta forma, foram selecionadas as BCS com maior risco de contaminação de suas águas e as DRS presentes em suas áreas, que foram analisadas por seis parâmetros técnicos: tipo de DRS, estimativa de geração de resíduos, área superficial, declividade, IS da DRS e distância da DRS até o corpo d'água. Cada parâmetro foi classificado, de acordo com o risco de contaminação das águas, e valorado em uma escala de um a sete. Posteriormente, os valores atribuídos foram correlacionados avaliando a interdependência dos parâmetros. A aplicação desse método permitiu a identificação de 204 pontos de captação com suas respectivas BCS e de 228 DRS, sendo 93% classificadas como lixões. Foi calculado o IS para as 43 BCS identificadas no Estado com presença de DRS (69) em suas áreas. A vulnerabilidade média calculada para cada BCS permitiu a seleção das nove BCS mais vulneráveis, estando distribuídas nas classes moderada a alta e moderada a baixa ($IS > 50$), e possuindo 18 DRS em suas delimitações. Foi realizada uma análise de componentes principais de *Spearman* com os coeficientes atribuídos para cada parâmetro das DRS o que permitiu a identificação de apenas dois parâmetros com correlação significativa (área superficial e estimativa de geração de resíduos), confirmando a interdependência das características selecionadas. Desta forma foi possível o cálculo do risco, pelo somatório dos parâmetros, que variou de 15 a 27 e foi discretizado em três classes (baixo, médio e alto). As DRS de risco alto foram as dos municípios de Bom Jesus de Goiás, Itumbiara, Jataí e Rio Verde sendo que a área superficial, geração de resíduos e declividade foram os parâmetros que mais influenciaram nessa classificação. Conclui-se que a avaliação da vulnerabilidade mostrou-se eficaz e de grande relevância para a identificação das BCS mais susceptíveis à contaminação de suas águas podendo ser aplicado em outras áreas de estudo. Em Goiás, a análise permitiu o cálculo do risco existente em cada uma das 18 DRS, onde quatro DRS foram classificadas como de risco alto, sendo consideradas prioritárias para adequação ou remediação.

Palavras-chave: Contaminação por lixiviado. Disposição final de resíduos sólidos urbanos. Qualidade das águas de abastecimento. Vulnerabilidade ambiental.

ABSTRACT

Vulnerability models are important tools in the study of water contamination by different soil usage activities. The goal of this research is to evaluate the risk of contamination by the presence of an urban solid waste disposal site (UWDS) within the surface water catchment basins (SWCB) used in the State of Goiás public water supply. An identification and characterization of the SWCBs and UWDSs has been carried out in a geographical identification system using the QGIS 2.12.0 – Lyon software. Afterwards the overlapping of this information allowed the identification of all SWCBs which had an UWDS within its limits. A Susceptibility Index (SI) was applied to these SWCBs. The SI was formed by intrinsic characteristics such as the depth of a non-saturated zone, net recharge, aquifer material and topography. Also contributing to the SI was an extrinsic characteristic, soil usage. The comparison and identification of the dominant classes of the SI was done through the calculation of the average vulnerability of each SWCB. The SWCBs, which had the highest risk of water contamination were selected and had the UWDSs in its areas analyzed by six technical parameters: type of UWDS, estimate of waste generation, surface area, slope, SI of the UWDS and its distance to the nearest body of water. Each parameter was classified according to its risk to water contamination and given a scale from 1 to 7. The given values were correlated evaluating the interdependence of the parameters. The use of this method led to the identification of 204 catchment points and its SWCBs and 228 UWDSs, out of which 93% were irregular dumping sites. The SI for each of the 43 SWCBs identified in the State in which there was the presence of 69 UWDSs, was then calculated. The average vulnerability for each SWCB allowed the selection of the 9 most vulnerable ones. These were distributed in the high-to-moderate and moderate-to-low classes ($SI > 50$), which had 18 UWDSs within its limits. A Spearman analysis was done using the coefficients attributed to each parameter of the UWDSs. The analysis permitted the identification of only 2 parameter with significant correlation (surface area and estimate of waste generation). This confirmed the interdependence of the selected characteristics. It also allowed for a risk calculation through the addition of the parameters, which ranged from 15 to 27. These were distributed into three classes (low, medium and high). The high risk UWDSs identified were in the cities of: Bom Jesus de Goiás, Itumbiara, Jataí e Rio Verde. The surface area, waste generation and slope were the parameter which most influenced this classification. In conclusion, the vulnerability evaluation proved effective, and of great relevance in the identification of the SWCBs most susceptible to water contamination. It can also be applied to other study areas. In Goiás, the analysis allowed the existing risk calculation for each of the 18 UWDSs out of which 4 were classified as high risk. These were considered priority adequate and remediation sites.

Key words: Leachate contamination. Urban solid waste disposal site. Water supply quality. Environmental vulnerability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Lixões existentes no estado de Goiás: (a) Lixão do município de Rio Verde e (b) Lixão do município de Itumbiara, com evidência de queimada de resíduos sólidos.	10
Figura 2 - Estado de Goiás dividido em suas 10 regiões administrativas de planejamento. .	17
Figura 3 – Localização dos pontos e delimitação das bacias de captação superficial do estado de Goiás.....	25
Figura 4 – Localização das disposições de resíduos sólidos urbanos do estado de Goiás. .	27
Figura 5 – Identificação das bacias de captação superficial com disposição de resíduos sólidos urbanos em suas delimitações no estado de Goiás.....	28
Figura 6 – Bases cartográficas de cada uma das categorias do Índice de Susceptibilidade para o estado de Goiás.	29
Figura 7 – Vulnerabilidade das bacias de captação superficial com presença de disposição de resíduos sólidos urbanos, determinadas pelo Índice de Susceptibilidade.	30
Figura 8 – Bacias de captação superficial com disposição de resíduos sólidos urbanos selecionadas com maior Índice de Susceptibilidade médio no estado de Goiás.....	32
Figura 9 – Disposição final de resíduos sólidos urbanos classificados como antigos aterros no estado de Goiás: em (a) município de Buriti de Goiás e em (b) município de Rio Verde. .	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de tratamento e disposição de resíduos sólidos urbanos utilizados na União Europeia, Estados Unidos, Japão e Brasil.....	9
Tabela 2 - Relação de municípios com disposição final de resíduos sólidos urbanos que alteraram sua classificação entre os anos de 2014 e 2015, no estado de Goiás.....	10
Tabela 3 – Classes e riscos atribuídos às distância das disposições de resíduos sólidos urbanos até os corpos d’água mais próximos.	13
Tabela 4 – Categorias e respectivos coeficientes do índice de vulnerabilidade intrínseca DRASTIC.....	15
Tabela 5 - Descrição das categorias e seus respectivos coeficientes do Índice de Susceptibilidade.....	19
Tabela 6 – Base de dados espaciais utilizadas para cálculo do Índice de Susceptibilidade.	19
Tabela 7 – Coeficientes da profundidade da zona não saturada do solo de acordo com a classificação de suas categorias.	20
Tabela 8 – Coeficientes da recarga de acordo com a compatibilização e reclassificação das categorias de pluviometria.	20
Tabela 9 – Coeficientes do material do aquífero de acordo com a compatibilização e reclassificação das categorias das rochas.....	20
Tabela 10 - Coeficientes da topografia de acordo com a classificação das categorias de declividade.....	21
Tabela 11 - Coeficientes do uso do solo de acordo com a compatibilização de suas categorias.	21
Tabela 12 – Classes e seus intervalos de valores do Índice de Susceptibilidade.....	22
Tabela 13 – Classificação da estimativa de geração per capita de resíduos sólidos urbanos de acordo com as faixas populacionais do estado de Goiás.	23
Tabela 14 – Tipo de gestão e quantidade de captações de água para abastecimento público do estado de Goiás.....	26
Tabela 15 – Situação legal e quantidade das disposições de resíduos sólidos urbanos do estado de Goiás.....	26
Tabela 16 – Distribuição regional das bacias de captação superficial com disposição de resíduos sólidos urbanos do estado de Goiás.....	28
Tabela 17 – Distribuição das bacias de captação superficial com disposição de resíduos sólidos urbanos do estado de Goiás por classe de vulnerabilidade média.	31
Tabela 18 - Descrição das bacias de captação superficial com disposição de resíduos sólidos urbanos selecionadas como de maior vulnerabilidade média no estado de Goiás. ...	33
Tabela 19 – Classificação das disposições no estado de Goiás por tipo e seu respectivo coeficiente.....	34
Tabela 20 – Estimativa de geração de resíduos sólidos urbanos para cada disposição final selecionada do estado de Goiás.....	36
Tabela 21 – Classificação das disposições no estado de Goiás por estimativa de geração de resíduos e seu respectivo coeficiente.	36

Tabela 22 – Áreas superficiais para cada disposição final selecionada do estado de Goiás.	37
Tabela 23 – Classificação das disposições no estado de Goiás por tamanho da área superficial e seu respectivo coeficiente.	37
Tabela 24 – Declividade de cada disposição final até a bacia de captação superficial selecionada do estado de Goiás.....	38
Tabela 25 – Classificação da declividade das disposições finais até os pontos de captação da bacia e seu respectivo coeficiente no estado de Goiás.....	39
Tabela 26 – Índice de Susceptibilidade da área superficial de cada disposição final selecionada do estado de Goiás.....	39
Tabela 27 – Classificação do Índice de Susceptibilidade das disposições finais e seu respectivo coeficiente.	40
Tabela 28 – Distância de cada disposição final selecionada do estado de Goiás até o corpo d'água mais próximo.....	40
Tabela 29 – Classificação das disposições finais do estado de Goiás pela sua distância até os corpos d'água mais próximos e seu respectivo coeficiente.	41
Tabela 30 – Matrix de correlação de Spearman dos parâmetros técnicos das disposições finais do estado de Goiás.....	41
Tabela 31 – Risco de contaminação das águas por disposição final selecionada do estado de Goiás.....	42
Tabela 32 – Classificação dos riscos de contaminação das águas das disposições finais do estado de Goiás.....	42

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	4
2. OBJETIVOS	5
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	6
3.1 AS INFLUÊNCIAS ANTRÓPICAS NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DE ÁGUA.....	6
3.2 A DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS COMO FONTE DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS	8
3.3 ESTUDO DE VULNERABILIDADE COMO FERRAMENTA DE GESTÃO.....	13
4. MATERIAL E MÉTODOS	16
4.1 IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS BACIAS DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL E DAS DISPOSIÇÕES FINAIS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.	17
4.2 AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DAS BACIAS DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL COM PRESENÇA DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E SELEÇÃO DAS MAIS VULNERÁVEIS	18
4.3 ANÁLISE DAS DISPOSIÇÕES FINAIS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS, POR PARÂMETROS TÉCNICOS.....	22
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5.1 IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS BACIAS DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL E DAS DISPOSIÇÕES DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	25
5.2 AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DAS BACIAS SUPERFICIAIS DE CAPTAÇÃO COM PRESENÇA DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E SELEÇÃO DAS MAIS VULNERÁVEIS	29
5.3 ANÁLISE DOS PARÂMETROS TÉCNICOS DAS DISPOSIÇÕES FINAIS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E CÁLCULO DOS RISCOS.....	34
6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....	43
7. REFERÊNCIAS	45

1. INTRODUÇÃO

O aumento dos usos da água, na última década, gerou eventos de escassez hídrica no Brasil e no mundo (ANA, 2010). Os maiores usos, como a agricultura, indústria e consumo humano, têm gerado conflitos de interesse sendo esse último considerado prioritário (FUNASA, 2015).

A disponibilidade de água deve ser garantida pela preservação da quantidade e gestão qualitativa do recurso. A qualidade das águas pode ser alterada por influência de intensos usos e ocupações do solo, como o uso urbano de disposição final de resíduos sólidos, que representa risco à saúde da população e ao meio ambiente (ROWE; CARDOSO, 2009).

A geração de resíduos sólidos é cada vez maior no mundo e traz uma demanda crescente de gerenciamento destes resíduos. O mal gerenciamento é um dos maiores problemas no Brasil apresentando 41,5% dos seus municípios ainda com áreas de disposição final inadequada de resíduos sólidos, também chamadas de lixões (SNSA, 2016).

Esse panorama de falta de gestão e de precariedade de saneamento ocorre em Goiás, que possui conflitos de seus principais usos (irrigação agrícola, setor agroindustrial e abastecimento público), apesar de apresentar alta disponibilidade hídrica (SECIMA, 2015a). Quanto ao gerenciamento dos resíduos sólidos, o estado possui uma geração *per capita* de 1,0 kg/hab.dia (SNSA, 2016), sendo 61,8% passíveis de compostagem e 17,7% de reciclagem (FADE/UFPE, 2013). No entanto, 82,3% destes resíduos ainda são encaminhados para disposições finais (SNSA, 2016) sendo 93% delas classificadas como lixões (SECIMA, 2015b).

O lixiviado gerado nas disposições finais de resíduos sólidos possui elevado potencial poluidor, ocasionando a contaminação do solo, das águas superficiais e subterrâneas por escoamento superficial ou percolação (PEREIRA et al., 2013). A contaminação das águas por migração desses lixiviados, tem sido estudada há mais de 30 anos (KJELDTSEN; CHISTENSEN, 1984; AZIZ; MAULOOD, 2015). No entanto, apenas a identificação do problema não é o suficiente, sendo necessária a realização de estudos que antecipem essas contaminações auxiliando o planejamento de ações preventivas e evitando a necessidade de remediação de áreas já degradadas.

Um método que auxilia na gestão e conservação dos recursos é a simulação e previsão de eventos, por modelos matemáticos, que considera diversos fatores de impacto obtendo um

resultado mais holístico (LI et al, 2012), embora tenha sido usado em apenas 8,9% dos estudos realizados no Brasil (RAMOS; SCALIZE; PINHEIRO, 2015). Esse método pode ser desenvolvido pelo cálculo de índices de vulnerabilidade, que permitem a classificação e avaliação quantitativa de categorias características do meio (MOHAMED; SALEH; BELAL, 2014), contribuindo na otimização de tempo e recursos financeiros para uma melhor gestão ambiental (SCHUELER; MAHLER, 2008).

Existem duas abordagens para o estudo da vulnerabilidade, a intrínseca que considera apenas as características naturais da área de estudo e a extrínseca que introduz no cálculo os parâmetros relativos às atividades antrópicas (LINHARES et al., 2014). O Índice de Susceptibilidade (IS) é utilizado para o cálculo de vulnerabilidade extrínseca e foi desenvolvido por Ribeiro et al. (2003), para a região Sul de Portugal. O IS tem sido aplicado em pesquisas associadas à qualidade da água (ALBUQUERQUE et al, 2013; BRINDHA; ELANGO, 2015) e foi utilizado para a análise de risco de contaminação pela presença de disposição final de resíduos sólidos urbanos (DRS) em bacias de captação superficial de água (BCS) para abastecimento público no estado de Goiás.

Considerando a situação de irregularidade em que se encontra a maioria das DRS brasileiras, sobretudo as goianas, e a importância da conservação da qualidade das águas das bacias de captação justifica-se a necessidade do desenvolvimento de pesquisa que utilize ferramentas de vulnerabilidade. Esse método de cálculo possui grande abrangência e baixo custo, viabilizando a gestão preventiva das bacias de captação para abastecimento público de água.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa foi avaliar o risco de contaminação pela presença de disposição final de resíduos sólidos urbanos em bacias de captação superficial de águas utilizadas para abastecimento público no estado de Goiás.

Para que o objetivo geral seja plenamente alcançado, foi necessário o desenvolvimento dos seguintes objetivos específicos:

- identificar e caracterizar as bacias de captação superficial para abastecimento público de água e as áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos existentes no estado de Goiás;

- avaliar a vulnerabilidade das bacias de captação superficial de água com presença de disposição final de resíduos sólidos urbanos e selecionar as mais vulneráveis no estado de Goiás;
- analisar as áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos presentes nas bacias de captação superficial (mais vulneráveis), por meio de seus parâmetros técnicos que podem influenciar no risco de contaminação das águas.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

De acordo com o estudo realizado pelo Ministério das Cidades e a Organização Pan-Americana da Saúde (BRASIL, 2011), apenas 70% da população dos países que integram o continente Americano, têm acesso à água tratada. A situação sanitária da América Latina e do Caribe é ainda mais precária em virtude da carência de recursos para investimento e ausência de políticas públicas. Essa situação encontrada nos serviços de saneamento ambiental tem gerado impactos negativos nas condições de vida e bem-estar da população (BRASIL, 2011).

A Política Nacional de Saneamento tem como diretrizes a prestação dos serviços com qualidade e produtividade e a realização do planejamento do uso e ocupação do solo, de forma que sejam adotadas medidas para a proteção dos ecossistemas e dos recursos hídricos. Essa Política tem ainda como objetivos específicos o atendimento de toda população com água em quantidade e dentro dos padrões de potabilidade, a promoção do controle e a vigilância da qualidade da água de consumo humano e o manejo e disposição adequada dos resíduos sólidos gerados pelas populações (BRASIL, 2007).

Esta fundamentação teórica está dividida em três partes: as influências antrópicas nas bacias hidrográficas para abastecimento público de água, a disposição final de resíduos sólidos como fonte de contaminação das águas e o estudo de vulnerabilidade como ferramenta de gestão.

3.1 AS INFLUÊNCIAS ANTRÓPICAS NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DE ÁGUA

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural de água da chuva que escoam superficialmente para um corpo d'água ou seu contribuinte sendo seus limites definidos pelo relevo, considerando as áreas mais elevadas como seus divisores de águas (FUNASA, 2015).

Este conceito é fundamental uma vez que o estudo das características naturais e antrópicas das bacias hidrográficas é importante para a gestão da terra e da água visando seu planejamento ambiental para o uso racional dos seus recursos (UMETSU et al., 2012).

Os principais usos de água no mundo são a agricultura, seguido das indústrias e do abastecimento público (PNUMA, 2012). Verifica-se que esses usos têm gerado conflitos de demanda tornando os sinais de escassez cada vez mais frequentes (FUNASA, 2015). O abastecimento público para consumo humano é considerado prioritário e sua garantia nos centros urbanos brasileiros é imprescindível por se tratar de uma necessidade básica da população (ANA, 2010).

No estado de Goiás também verifica-se esta tendência de distribuição dos usos: 68% de demanda captada para usos agrícolas (principalmente a irrigação), 11% para as indústrias, estando relacionada com a agroindústria (mais especificamente como setor sucroalcooleiro); 9% para o abastecimento público e 12% os demais usos - pesca e aquicultura, pecuária e mineração (SECIMA, 2015a).

O conflito de demandas também é presente, apesar de uma disponibilidade hídrica total adequada (1.384 m³/s), verifica-se que a sua distribuição não é uniforme, ocasionando um saldo negativo em 30% das regiões do estado. A demanda captada total é de 307 m³/s com maiores quantidades em áreas de concentrações populacionais e onde há grande atividade agrícola de irrigação, principalmente nas cabeceiras das bacias (SECIMA, 2015a).

A captação de água para consumo humano é realizada em mananciais classificados, quanto a sua origem, em superficiais (águas doces de córregos, ribeirões, rios, lagos e reservatórios) ou subterrâneos compreendendo aquíferos freáticos e profundos (FUNASA, 2015). No Brasil, devido a elevada disponibilidade hídrica superficial, 47% dos municípios são abastecidos exclusivamente por mananciais superficiais; este número é ainda maior em Goiás, 59% (ANA, 2010).

Estes mananciais são classificados quanto a sua salinidade em águas doces, salobras ou salinas e quanto a qualidade das águas em classe especial, I, II, III e IV. O mananciais utilizados para abastecimento público são os de água doce enquadrados nas classes especial, I ou II (CONAMA, 2005).

A dificuldade de manutenção da qualidade das águas desses mananciais, ocorre principalmente pela poluição provocada por usos e ocupações do solo diversos, sendo

necessário a sua organização e controle (ANA, 2010). Dentre esses usos destacam-se os usos urbanos como as disposições de resíduos sólidos (DONG et al., 2015), os usos intensivos de agricultura e pecuária (ANANE et al., 2013; UMETSU et al., 2012), além dos usos industriais (como a mineração), lançamentos clandestinos de efluentes e crescimento desordenado de núcleos habitacionais (MARQUES et al., 2012).

3.2 A DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS COMO FONTE DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS

Os resíduos sólidos são compostos de materiais ou bens descartados resultantes de atividades humanas em sociedade cuja destinação final se procede nos estados sólido ou semissólido. Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) compreendem os resíduos sólidos originários de atividades domésticas em residências urbanas, de varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e de outros serviços de limpeza urbana (BRASIL, 2010).

O Brasil possui uma geração *per capita* de RSU de 1,05 kg/hab.dia, o que totalizou 64,4 milhões de toneladas de RSU gerados, no ano de 2014. O estado de Goiás também possui uma geração *per capita* de 1,00 kg/hab.dia (SNSA, 2016), sendo os RSU compostos por 61,8% de matéria orgânica, 5,4% de papel e papelão, 6,0% de plástico, 3,6% de vidro, 2,7% de metal e 20,5% de outros artigos (FADE/UFPE, 2013). O conhecimento das características e quantidades dos RSU produzidos, orientam a escolha das alternativas técnicas e operacionais para as atividades de coleta, transporte, tratamento e DRS (BARROS, 2012).

Existem diversas alternativas tecnológicas utilizadas para tratar e dispor RSU, que variam de país para país, em função de suas políticas públicas e legislações vigentes (Tabela 1). Na União Europeia, Estados Unidos e Japão o aterro sanitário, a incineração com aproveitamento energético, a reciclagem e a compostagem são as alternativas mais utilizadas. Nota-se nestas regiões que o uso dos aterros sanitários vem diminuindo ao longo dos anos, situação essa que ainda não é uma realidade no Brasil (FADE/UFPE, 2013).

Tabela 1 – Tipos de tratamento e disposição de resíduos sólidos urbanos utilizados na União Europeia, Estados Unidos, Japão e Brasil.

Tipo de tratamento e disposição de resíduos sólidos	Quantidade tratada de resíduo por região/país (%) ⁽¹⁾			
	União Europeia	Estados Unidos	Japão	Brasil ⁽³⁾
Aterro sanitário	38,0	54,0	10,9	73,0 ⁽²⁾
Incineração com aproveitamento energético	22,0	12,0	68,3	0,0
Reciclagem	25,0	26,0	20,5	13,0
Compostagem	15,0	8,0	0,3	2,0

Nota⁽¹⁾: Informações do ano de 2009 para Estados Unidos e Japão, 2010 para União Europeia e 2014 para Brasil.

Nota⁽²⁾: Incluindo aterros sanitários e lixões.

Fonte: Adaptado de SNSA (2016)⁽³⁾ e o restante de FADE/UFPE (2013).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) foi instituída no Brasil pela Lei nº 12.305, e estabelece que os resíduos devem ser reaproveitados e/ou reciclados, e apenas os rejeitos encaminhados para uma disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010). No entanto, a alternativa tecnológica mais amplamente adotada no país para tratamento e disposição dos resíduos sólidos é o aterro sanitário (FADE/UFPE, 2013).

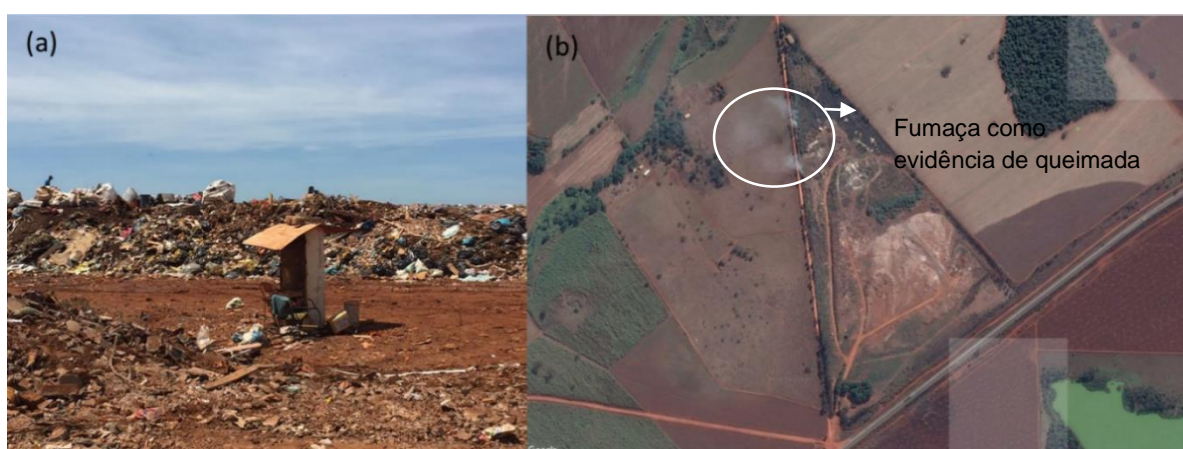
Essa técnica consiste em uma instalação de disposição no solo, localizada, concebida, implantada e monitorada segundo princípios de engenharia e prescrições normalizadas de modo a maximizar a quantidade de resíduos disposta e minimizar impactos ao meio ambiente e à saúde pública (ABNT, 1992). Ressalta-se que nessas áreas, o chorume é um dos principais elementos impactantes, sendo originado da decomposição da matéria orgânica contida nos resíduos dispostos, associada aos líquidos percolados ali existentes e ao carreamento de poluentes de qualquer natureza (BORTOLIN; MALAGUTTI FILHO, 2010).

As DRS, sempre que possível, são implantadas em locais próximos a centros urbanos garantindo uma distância mínima de transporte entre os geradores e a disposição final. Além da viabilidade econômica do sistema de transporte também são respeitadas, na implantação de um aterro sanitário, as distâncias mínimas exigidas para garantir a minimização de impactos socioambientais. Processo diferente do que ocorre com a instalação de um lixão que normalmente inicia com a disposição gradativa de resíduos em locais de fácil acesso, próximo a centros urbanos, e sem preocupação com áreas de preservação ambiental (FADE/UFPE, 2013).

No país, 41,5% dos municípios ainda possuem disposições irregulares de RSU, também chamados de lixões (SNSA, 2016). O prazo determinado pela PNRS para o encerramento dos lixões em todos os municípios brasileiros era em 2014, porém o Projeto de Lei nº 2289, em tramitação no Senado Federal, propõe a prorrogação desse prazo para o período entre os anos de 2018 e 2021, de acordo com o porte do município (BRASIL, 2015).

Os lixões são locais onde os resíduos são depositados no solo sem qualquer tratamento ou medidas de proteção ao meio ambiente e à saúde pública. Nessas áreas a disposição é realizada de forma aleatória sem qualquer controle dos tipos de resíduos que entram e saem, não havendo compactação, cobertura ou geometrização da massa depositada (FADE/UFPE, 2013). São apresentados alguns exemplos desse tipo de disposição irregular no estado de Goiás (Figura 1a), inclusive com a evidência de queimada dos resíduos no local (Figura 1b, escala 1:7.500).

Figura 1 – Lixões existentes no estado de Goiás: (a) Lixão do município de Rio Verde e (b) Lixão do município de Itumbiara, com evidência de queimada de resíduos sólidos.



Fonte: Própria (2016) e cartografia proveniente de Google Satélite, respectivamente.

Vale destacar que muitos aterros sanitários instalados no estado de Goiás, foram exemplos de experiências não exitosas, sendo transformados em lixões em poucos anos de operação. Também existem áreas de antigos lixões que foram recuperadas e transformadas em aterros sanitários (FADE/UFPE, 2013). Ressalta-se portanto que a operação das DRS no estado ainda não acontece de forma consolidada e contínua (Tabela 2).

Tabela 2 - Relação de municípios com disposição final de resíduos sólidos urbanos que alteraram sua classificação entre os anos de 2014 e 2015, no estado de Goiás.

Quantidade	Município	Classificação da disposição final	
		Ano 2014	Ano 2015
1	Bela Vista de Goiás	Lixão	Aterro sanitário
2	Buriti de Goiás	Aterro sanitário	Lixão
3	Cidade Ocidental ⁽¹⁾	Lixão	Aterro sanitário
4	Goianésia	Lixão	Aterro sanitário
5	Itarumã	Aterro sanitário	Lixão
6	Palmeiras de Goiás	Lixão	Aterro sanitário
7	Piracanjuba	Aterro Sanitário	Lixão
8	Rio Quente	Lixão	Aterro sanitário
9	Senador Canedo	Lixão	Aterro sanitário

Nota⁽¹⁾: Esta disposição recebe também os resíduos sólidos urbanos do município de Valparaíso.

Fonte: Adaptado de Secima (2015b) e Secima (2015c).

A presença de lixões tem como consequência direta a contaminação das águas superficiais e subterrâneas pelo processo de lixiviação (PEREIRA et al., 2013), que representa o deslocamento ou arraste, por meio líquido, das substâncias contidas nos resíduos sólidos (ABNT, 1992).

Após realização de *Mapping Study*, em 2015, na base científica *Scopus*, Pinheiro, Ramos e Scalize (2016) verificaram que o tema contaminação por disposição de resíduos sólidos vem sendo estudado há mais de 30 anos, principalmente na China, Estados Unidos e Reino Unido. Estudo pioneiro de Kjeldsen e Chistensen (1984) já relatava a contaminação das águas como o principal risco ambiental das DRS. Com o intuito de avaliar a migração de lixiviados, os autores realizaram testes em laboratório, com colunas de solo, verificando a capacidade de atenuação de poluentes e identificaram os cloretos, sólidos dissolvidos, condutividade, matéria orgânica e sódio como os constituintes mais móveis do lixiviado.

Atualmente, pesquisa realizada por Aziz e Maulood (2015) demonstrou a contaminação do solo e das águas subterrâneas de DRS localizada na cidade de Erbil, no Iraque. Após a análise de 30 parâmetros de medição nas águas subterrâneas, os resultados apresentaram valores elevados de cloretos, sólidos totais, condutividade, cor, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio amoniacal e alcalinidade o que corrobora com o estudado por Kjeldsen e Chistensen (1984).

Os aterros sanitários mal operados e lixões promovem processos de contaminação do solo e das águas causando efeitos importantes e irreversíveis a longo prazo (ROWE; CARDOSO, 2009), como o caso da DRS de Kaifeng, na China, que teve suas águas subterrâneas rasas severamente contaminadas por lixiviado contendo produtos químicos orgânicos (como o benzeno e naftaleno) gerando riscos à saúde humana e ao meio ambiente (DONG et al., 2015).

3.2.1 Aspectos que influenciam na contaminação por disposição de resíduos

Vários aspectos das DRS podem influenciar a contaminação do solo e das águas (subterrâneas e superficiais), entre eles estão o tipo de gestão (OLIVEIRA et al., 2013), a fonte de contaminação, a proximidade de recursos naturais e as condições de migração do lixiviado (SCHUELER; MAHLER, 2008).

Oliveira et al. (2013) constatou que o tipo de gestão existente na DRS modifica a situação de vulnerabilidade do solo e das águas ao analisar o solo de DRS de três municípios do estado

de Minas Gerais. Foi identificado que a área com presença de lixão em operação tinha o maior potencial de contaminação, ficando em segundo lugar a área de um lixão encerrado e por último a de um aterro sanitário.

Já quanto ao aspecto fonte de contaminação, a quantidade e a composição do lixiviado gerado, associado ao tipo de gestão existente, interfere diretamente nas possibilidades de contaminação (BARROS, 2012).

A quantidade do lixiviado depende de variáveis como a caracterização dos RSU, grau de compactação, estado de decomposição, quantidade de precipitação pluviométrica infiltrada (BARROS, 2012), evaporação e escoamento superficial (FUNASA, 2015). A precipitação pluviométrica infiltrada nesses locais é a grande responsável pelo volume do lixiviado gerado, precipitações anuais maiores de 1.000 mm/ano são preocupantes para DRS.

A composição do lixiviado produzido pode ser diretamente relacionada com os tipos de materiais dispostos, pH, profundidade dos aterramentos e idade da DRS (BARROS, 2012). O tempo de permanência dos RSU dispostos influencia diretamente nos seus valores de cargabilidade, sendo identificados maiores valores em locais onde os resíduos são recém aterrados, diminuindo gradativamente quanto mais antigos (BORTOLIN; MALAGUTTI FILHO, 2010).

A proximidade de recursos naturais é um importante aspecto estando o quesito proximidade até os corpos d'água estabelecido pela Lei Estadual nº 17.684 (GOIÁS, 2012). As DRS se enquadram nessas legislações por serem consideradas estruturas que armazenam substâncias capazes de causar poluição hídrica não podendo estar localizadas a distância menor ou igual a 200 m de coleções hídricas ou cursos d'água. No caso da Resolução nº 05 (CEMAM, 2014), aplicável para municípios do estado de Goiás até 100 mil habitantes que queiram licenciar projetos consorciados de DRS, devem ser respeitadas as distâncias mínimas de 500 m de qualquer corpo hídrico e 2.500 m do ponto de captação de abastecimento público quando a unidade estiver localizada à montante deste ponto.

Schueler e Mahler (2008), em sua análise de risco, dividiram as distâncias em sete categorias classificando as duas primeiras, com distâncias até 200 m, como de risco inaceitável (Tabela 3).

Tabela 3 – Classes e riscos atribuídos às distâncias das disposições de resíduos sólidos urbanos até os corpos d'água mais próximos.

Distância (m)	Valoração do risco para corpos hídricos
< 100	19
De 101 a 200	16
De 201 a 400	13
De 401 a 600	10
De 601 a 800	7
De 801 a 1.000	4
> 1.000	1

Fonte: Adaptado de Schueler e Mahler (2008).

Outro fator de exposição de risco a ser estudado é a condição de migração do lixiviado, que pode ser subterrânea ou superficial (SCHUELER; MAHLER, 2008). Essas condições são influenciadas pelas características físicas e antrópicas, a partir de fatores hidrogeológicos e morfológicos das áreas de DRS, podendo ser avaliadas por análise de vulnerabilidade. Essa ferramenta é muito utilizada para subsidiar estudos de planejamento e gestão ambiental (LINHARES et al., 2013).

3.3 ESTUDO DE VULNERABILIDADE COMO FERRAMENTA DE GESTÃO

Vários estudos têm sido realizados na área de contaminação de águas por lixiviados de DRS e os métodos utilizados podem ser divididos em quatro categorias (LI et al., 2012):

- a. Simulação e previsão, utilizando modelos matemáticos;
- b. Observação de campo de plumas de contaminação, por meio de amostragem *in situ* ou por meio de técnicas geofísicas;
- c. Degradação do lixiviado e caracterização do seu transporte, por meio de análise e rastreamento isotópico;
- d. Experiências de laboratório.

Esses métodos geralmente não são aplicados isoladamente mas combinados entre si a cada avaliação. O método (a) é o único que pode trazer um resultado de avaliação mais holístico considerando fatores diversos de impacto, pois exige muitos parâmetros e grandes quantidades de dados para seus modelos. O método (b), apesar de poder determinar a situação de contaminação real das águas ou mapear o movimento e distribuição de lixiviados, é difícil de ser usado para prever cenários de poluição de longo prazo. O (c) é o mais usado para investigar os processos de decomposição de resíduos e degradação química sem considerar outras influências de risco fora da DRS. Já o (d), é um método de simulação válido, porém inclui muitas hipóteses e simplificações o que geralmente resulta em conclusões

limitadas a um escopo de laboratório (LI et al., 2012).

Conforme constatado por Ramos, Scalize e Pinheiro (2015), por meio de estudo cientométrico, realizado em 2015 na base SciELO Brasil, as pesquisas que utilizaram o método de simulação e previsão, por modelos matemáticos, representam apenas 8,9% do total. Essas pesquisas são responsáveis pela gestão de prevenção das contaminações e sua utilização proporciona grande abrangência espacial e baixo custo de aplicação como os estudos realizados por (LINHARES et al., 2013; VICTORINE NEH et al., 2015).

Essa gestão de prevenção é primordial para assegurar que as práticas em solo não resultem em contaminação do solo e das águas. Muitas ferramentas de simulação e previsão têm sido usadas para reconhecer locais onde existem atividades que representem risco elevado (ALLER et al., 1987). Dentre elas, a avaliação da vulnerabilidade, por meio de índices, permite o cálculo, a classificação e avaliação de áreas podendo ser aplicada para diversas finalidades (MOHAMED; SALEH; BELAL, 2014).

Os índices baseiam-se em informações hidrogeológicas, geológicas e outros fatores, os passos básicos de aplicação incluem análise de dados brutos, a delimitação das características, integração e classificação em mapas, com base em um índice determinado (BRINHA; ELANGO, 2015). De forma qualitativa, essas avaliações empregam um sistema de valores numéricos e pesos aos atributos que constituem a área de estudo, permitindo a obtenção de classes de vulnerabilidade (LINHARES et al., 2014).

Os índices são desenvolvidos a partir de diferentes pressupostos conceituais baseados em situações reais, alguns exemplos de índices de vulnerabilidade são: GOD (Ocorrência de águas subterrâneas, Litologia geral do aquífero e Profundidade das águas subterrâneas), AVI (índice de vulnerabilidade dos aquíferos), SEEPAGE (Sistema para avaliação precoce da poluição potencial de água subterrânea em áreas agrícolas), SINTACS (sigla italiana que significa S - profundidade do aquífero, I - água de infiltração, N - características da zona insaturada, T - tipo de solo, A - características hidrogeológicas do aquífero, C - condutividade hidráulica do aquífero, S - topografia), EPIK (relevo epicárstico, cobertura, condições de infiltração e desenvolvimento da rede cárstica), RISKE (rochas do meio aquífero, infiltração, solo, cárstico e epicárstico), IS (índice de suscetibilidade) e DRASTIC (D – profundidade do aquífero, R - taxa de recarga, A- litologia do aquífero, S - tipo de solo, T - topografia, I - impacto da zona vadosa, C - condutividade hidráulica do aquífero). Todos estes índices têm suas vantagens e desvantagens mas com pequenas adaptações ao meio, podem proporcionar

bons resultados (BRINDHA; ELANGO, 2015).

O método DRASTIC (ALLER et al., 1987) é muito utilizado mundialmente apresentando confiabilidade em seus resultados pois emprega fatores que incorporam características físicas importantes no controle do potencial de poluição (LINHARES et al., 2014). Seu cálculo de vulnerabilidade intrínseca é realizado pela soma ponderada de sete categorias (Tabela 4) que representam os indicadores hidrogeológicos, morfológicos e físicos de uma área de estudo.

Tabela 4 – Categorias e respectivos coeficientes do índice de vulnerabilidade intrínseca DRASTIC.

Categorias	Coeficiente
Profundidade da zona não saturada do solo (<i>Depth to water table</i>)	5
Recarga (<i>Net Recharge</i>)	4
Material do aquífero (<i>Aquifer material</i>)	3
Tipo de solo (<i>Soil type</i>)	2
Topografia (<i>Topography</i>)	1
Material da zona não saturada (<i>Impacto of the insaturated zone</i>)	5
Condutividade hidráulica (<i>Hydraulic Conductivity</i>)	3

Fonte: Adaptado de Linhares et al. (2014).

Segundo Brindha e Elango (2015), o DRASTIC possui vários modelos derivados do original como: DRASTIC Pesticidas, DRASTIC modificado, DRASTIC pesticidas modificado e IS. O IS (RIBEIRO et al., 2003) é utilizado para avaliar a vulnerabilidade extrínseca, sendo calculado pela soma ponderada de cinco categorias (quatro pertencentes ao DRASTIC acrescido ao fator uso do solo):

- a. profundidade da zona não saturada do solo está relacionada com o tempo de migração do contaminante nessa zona e, portanto, com a possibilidade de atenuação dos danos; quanto menor a profundidade menor será o tempo de atenuação (STIGTER; RIBEIRO; CARVALHO DILL, 2006);
- b. recarga é a quantidade de água por unidade de área de terra que penetra a superfície do solo e atinge o lençol freático. É o principal veículo de transporte vertical de contaminantes para o lençol freático e horizontal dentro do aquífero. Além disso, a quantidade de água disponível para dispersão e diluição do contaminante na zona vadosa e na zona saturada é controlada por este parâmetro (ANANE et al., 2013);
- c. material do aquífero que através de sua permeabilidade e reatividade em relação ao contaminante influenciará na rapidez da dispersão do contaminante (STIGTER; RIBEIRO; CARVALHO DILL, 2006);
- d. topografia que refere-se à variabilidade da inclinação e da vertente da superfície terrestre. Ela influencia diretamente a probabilidade de um contaminante escoar

superficialmente ou permanecer na superfície em uma área o tempo suficiente para infiltrar (ANANE et al., 2013);

- e. uso do solo é um fator crucial e influenciador da contaminação das águas subterrâneas por meio da poluição gerada pelas atividades antrópicas (ANANE et al., 2013).

Brindha e Elango (2015) fizeram um estudo em área de agricultura intensa na Índia para avaliação de contaminação de aquífero, comparando a utilização de cinco métodos, o DRASTIC e outros quatro modelos derivados dele, incluindo o IS. Concluiu-se que os resultados obtidos por meio do IS, ao longo do tempo, foram mais adequados e compatíveis com a realidade do local que os demais estudados.

Anane et al. (2013) fizeram um estudo comparativo de três modelos de índice de vulnerabilidade (DRASTIC, DRASTIC pesticidas e IS) que foram aplicados para avaliar o potencial de poluição de um aquífero raso na Tunísia. Verificou-se que, por comparativo com as informações atuais de contaminação do local, o DRASTIC subestimou o risco de poluição, sendo que o DRASTIC pesticidas e IS refletiram melhor o risco tendo os mesmos aplicações um pouco diferentes. Verificou-se que o IS ajuda no monitoramento de áreas vulneráveis e, portanto, na prevenção de contaminação.

4. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo utilizada foi o estado de Goiás (Figura 2), situado entre as latitudes 13° e 19° S e longitudes 46° e 53° O, localizado na região Centro-Oeste do Brasil, com população de 6.434.048 habitantes, área de 340.111,78 km² e constituída por 246 municípios (IMB, 2014). O estado abriga nascentes de importantes bacias hidrográficas brasileiras, como as do Paraná e Tocantins-Araguaia (ANA, 2010).

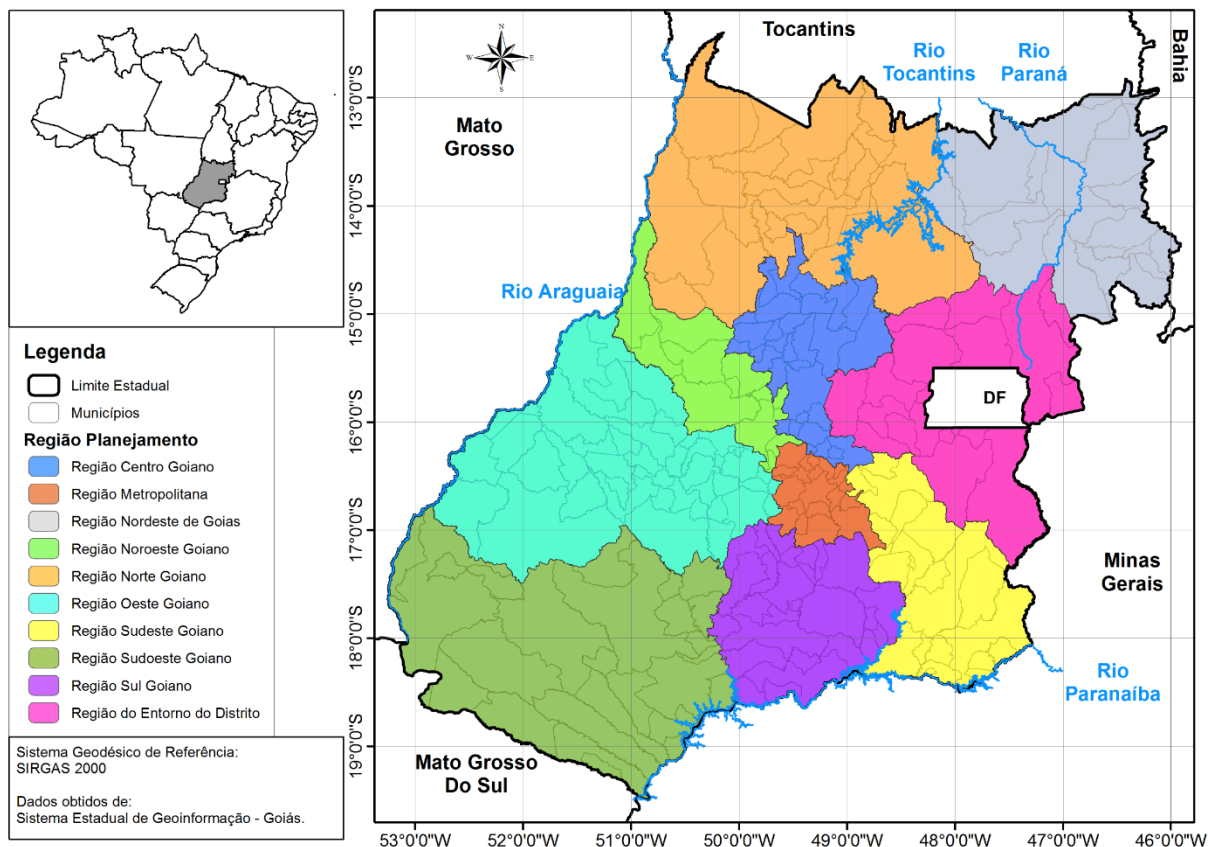
A Secretaria de Estado de Gestão e Planejamento (SEGPLAN) dividiu o estado em 10 regiões administrativas de planejamento a partir das quais foram analisadas as informações obtidas e discutidos os resultados.

O método de avaliação do risco de contaminação das águas das BCS por DRS no estado de Goiás foi dividido em três fases: identificação e caracterização das BCS e das DRS existentes; avaliação da vulnerabilidade das BCS com presença de DRS e seleção das mais vulneráveis;

e, análise das DRS presentes nas BCS, mais vulneráveis, por meio de seus parâmetros técnicos que podem influenciar no risco de contaminação das águas.

Foram consideradas todas as DRS do estado de Goiás, uma vez que existe uma inconstância na situação legal das mesmas que se encontram ora adequadas (licenciadas pelo órgão ambiental competente) e ora irregulares. Este fato ocorre devido a descontinuidade na operação de aterros instalados muitas vezes retornando à condição de lixão e na recuperação de lixões que são posteriormente licenciados como aterros.

Figura 2 - Estado de Goiás dividido em suas 10 regiões administrativas de planejamento.



4.1 IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS BACIAS DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL E DAS DISPOSIÇÕES FINAIS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Primeiramente, foram coletados os dados referentes às BCS e DRS do estado de Goiás gerando uma base de dados geográficos. Para a realização desse levantamento foi utilizado

como material de pesquisa o Atlas do estado de Goiás (IMB, 2014), o Plano Estadual de Resíduos Sólidos (SECIMA, 2015b) e Nota Técnica sobre aterros licenciados (SECIMA, 2015c). Esses dados foram posteriormente conferidos e complementados juntamente à empresa de Saneamento de Goiás e à Vigilância Sanitária Estadual.

A partir dos dados levantados foi criado um Sistema de Informações Geográficas (SIG), utilizando o software QGis 2.12.0 - Lyon. Trata-se de uma ferramenta informática de acesso livre, desenvolvida por *Gary Sherman*, em 2002. Para a identificação das BCS e DRS padronizou-se o sistema de coordenadas geográficas, no datum SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas).

Para a caracterização das BCS foram levantados: nome do município; gestão dos serviços de abastecimento de água (por meio da concessionária estadual ou gestão municipal); tipo de captação (superficial, mista ou subterrânea); nome dos mananciais que possuem infraestrutura de captação; existência de acordos locais (captação em outro município) e coordenadas geográficas dos pontos de captação. Já para as DRS foram: nome do município; situação legal (aterro sanitário ou lixão); existência de acordos locais (disposição em outro município) e coordenadas geográficas dos locais de disposição.

Utilizando o SIG, foi realizada a revisão dos elementos geográficos (ponto de captação, locais de DRS, e delimitação das áreas das BCS). Posteriormente as camadas foram sobrepostas permitindo identificar as BCS do estado de Goiás que possuem DRS dentro de suas delimitações.

4.2. AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DAS BACIAS DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL COM PRESENÇA DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E SELEÇÃO DAS MAIS VULNERÁVEIS

A avaliação da vulnerabilidade foi realizada com a seleção de um índice adequado, aplicação para as BCS com presença de DRS em suas delimitações, comparação dos valores obtidos para cada uma delas e seleção das BCS classificadas com maior vulnerabilidade no estado de Goiás.

O Índice de Susceptibilidade (IS) é utilizado como ferramenta de prevenção da contaminação das águas devido aos usos e ocupações associados ao solo por meio de avaliação de vulnerabilidade extrínseca sendo portanto selecionado para a aplicação nesse estudo. O IS vem sendo utilizado com esta finalidade no meio científico, como em estudos recentes

realizados na Europa (Albuquerque et al., 2013), África (ANANE et al., 2013) e Ásia (Brindha; Elango, 2015).

Para a utilização do índice foram elaborados os mapas para cada uma das cinco categorias do IS e aplicados os coeficientes atribuídos para cada uma delas (Tabela 5), conforme proposto por Ribeiro et al. (2003). As bases de dados cartográficas utilizadas como material de pesquisa e inseridas no SIG estão descritas na Tabela 6.

Tabela 5 - Descrição das categorias e seus respectivos coeficientes do Índice de Susceptibilidade

Categorias	Descrição	Coeficiente
Profundidade da zona não saturada do solo	Profundidade do nível freático sob a superfície do terreno (numérica). Influi no tempo de trânsito.	0,186
Recarga	Recarga do aquífero (numérico). Influi no tempo de trânsito.	0,212
Material do aquífero	Litotipo e estrutura do material do aquífero (por categoria). Influi na renovação de água no aquífero.	0,259
Topografia	Inclinação do terreno (numérico para categoria). Influi na evacuação da água com contaminante por escoamento superficial e subsuperficial.	0,121
Uso do solo	Atividade presente na superfície do solo (numérico para categoria). Influi como fonte de poluição.	0,222

Fonte: Adaptado de Brindha e Elango (2015) e Linhares et al. (2014).

Tabela 6 – Base de dados espaciais utilizadas para cálculo do Índice de Susceptibilidade.

Tipo de dados	Conteúdo	Resolução ou Escala	Ano	Fonte	Estrutura de dados
Mapa digital de elevação (MDE)	Representação gráfica da interpolação de cotas do terreno	30x30 m	2000	Sreedevi et al. (2009)	Matricial
Rede de Drenagem	Linhas da rede	1:100.000	2006	IMB (2014)	Vetorial
Municípios e áreas de planejamento	Polígonos dos limites municipais	1:250.000	2009	IMB (2014)	Vetorial
Limite Estadual	Polígonos dos limites estaduais	1:250.000	2009	IMB (2014)	Vetorial
Uso do Solo	Polígonos dos usos e da vegetação	1:250.000	2006	IMB (2014)	Vetorial
Geologia	Polígonos das unidades geológicas	1:500.000	2009	IMB (2014)	Vetorial
Recursos hídricos	Polígonos dos sistemas aquíferos e pontos de poços	1:1.000.000	2007	IMB (2014)	Vetorial
Precipitação	Pontos das estações com a precipitação	1:1.000.000	2006	IMB (2014)	Vetorial

As operações realizadas para a espacialização das informações estão descritas à seguir:

- transformação das camadas para o sistema de coordenadas SIRGAS 2000;
- conversão das camadas de dados geográficos da estrutura vetorial para matricial com um tamanho de pixel de (30x30) metros;

- c. elaboração de mapa de declividade (em porcentagem), a partir do MDE, com o uso de ferramentas de análises de superfícies matriciais;
- d. mapeamento do nível do lençol freático mediante interpolação de pontos, utilizando as cotas do terreno, nível estático dos poços e cota dos mananciais, criando um mapa matricial pelo método de interpolação *Simple Kriging* (foi considerado o médio isotrópico, sem direção de fluxo preferencial); e
- e. compatibilização e reclassificação, quando necessário, das categorias aplicadas a cada característica física analisada: profundidade da zona não saturada do solo (Tabela 7), recarga (Tabela 8), material do aquífero (Tabela 9), topografia (Tabela 10) e uso do solo (Tabela 11).

Tabela 7 – Coeficientes da profundidade da zona não saturada do solo de acordo com a classificação de suas categorias.

Categoria de profundidade (m)	Coeficiente
< 1,5	10
1,5 a 4,6	9
4,6 a 9,1	7
9,1 a 15,2	5
15,2 a 22,9	3
22,9 a 30,5	2
> 30,5	1

Fonte: Aller et al. (1987).

Tabela 8 – Coeficientes da recarga de acordo com a compatibilização e reclassificação das categorias de pluviometria.

Categoria de pluviometria (mm/ano)		Coeficiente	
Aller et al. (1987)	Secima (2015b) ⁽¹⁾	Aller et al. (1987)	Secima (2015b)
< 51	Muito baixa	1	1
51 a 102	Baixa	3	2
102 a 178	Média	6	3
178 a 254	Alta	8	4
> 254	Muito alta	9	5

Nota: ⁽¹⁾ categorias atribuídas baseadas em informações de pluviometria e geologia.

Tabela 9 – Coeficientes do material do aquífero de acordo com a compatibilização e reclassificação das categorias das rochas.

Aller et al. (1987)	Categoria das rochas		Coeficiente	
		IMB (2014)	Aller et al. (1987)	IMB (2014)
Xisto argiloso, argilito	Xisto / xisto verde		2	1 a 3
Rocha metamórfica e ígnea	Anfibolito		3	2 a 5
Rocha metamórfica e ígnea alterada / fracturada	Folhelho / quartzito / metassiltito		4	3 a 5
Arenito, calcário e argilito estratificado	Diamictito / arenito / siltito / arcóseo		6	5 a 9
Arenito maciço	Arenito		6	4 a 9
Calcário maciço	Calcário		6	4 a 9
Areia e balastro	Areia / silte / arenitos fluviais		8	4 a 9
Basalto	Basalto / basalto andesito / metabasalto		9	2 a 10
Calcário carsificado	Calcário		10	9 a 10

Tabela 10 - Coeficientes da topografia de acordo com a classificação das categorias de declividade.

Categorias de declividade (%)	Coeficiente
<2	10
2 a 6	9
6 a 12	5
12 a 18	3
>18	1

Fonte: Aller et al. (1987).

Tabela 11 - Coeficientes do uso do solo de acordo com a compatibilização de suas categorias.

Categoria de uso do solo		Coeficiente
Ribeiro et al. (2003)	IMB (2014)	Ribeiro et al. (2003)
Cursos de água	Água	0
Culturas temporárias ou áreas agrícolas heterogêneas	Agricultura	70 ⁽¹⁾
Zonas descobertas e com pouca vegetação	Banco de areia	0
Vegetação esclerófila	Cerrado	0
Florestas mistas	Floresta	0
Locais de extração mineral	Mineração	80
Pastagens permanentes	Pastagem	50
Sistemas agroflorestais	Reflorestamento	50
Tecido urbano descontínuo	Urbano	70

Nota: ⁽¹⁾ média aritmética dos valores dos índices da categoria.

O cálculo do IS foi realizado em cada BCS identificada (Equação 1) utilizando ferramentas de álgebra de mapas já implementadas no SIG, o que possibilitou classificá-las de acordo com a sua vulnerabilidade conforme os valores obtidos realizando uma correspondência qualitativa (Tabela 12).

$$IS = (Dr \times Dw) + (Rr \times Rw) + (Ar \times Aw) + (Tr \times Tw) + (LUr \times LUw) \quad (1)$$

Onde:

IS = Índice de Susceptibilidade;

D = profundidade da zona não saturada do solo;

R = recarga;

A = material do aquífero;

T = topografia;

LU = uso do solo;

r = classificação para intervalos correspondentes da categoria;

w = peso atribuído por categoria.

Tabela 12 – Classes e seus intervalos de valores do Índice de Susceptibilidade.

Classe	Intervalo de valores
Extremamente baixa	< 30
Muito baixa	30 - 40
Baixa	40 - 50
Moderada a baixa	50 - 60
Moderada a alta	60 - 70
Elevada	70 - 80
Muito elevada	80 - 90
Extremamente vulnerável	> 90

Fonte: Ribeiro et al. (2003).

Posteriormente foi calculada a vulnerabilidade média, utilizando a média aritmética dos pixels de cada BCS, o que possibilitou a realização de um comparativo e a identificação das classes de vulnerabilidade predominantes no estado de Goiás por BCS.

As BCS com DRS localizadas nas maiores classes de vulnerabilidade média foram selecionadas, com amostragem representativa, como de maior risco à contaminação. Desta forma também identificando as DRS presentes nas delimitações destas BCS selecionadas.

4.3 ANÁLISE DAS DISPOSIÇÕES FINAIS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS, POR PARÂMETROS TÉCNICOS

Foram selecionados seis parâmetros técnicos das DRS considerados importantes quanto a contaminação das águas: (a) tipo de DRS, (b) estimativa de geração de resíduos, (c) área superficial da DRS, (d) declividade, (e) IS da DRS e (f) Distância da DRS até o corpo d'água. Posteriormente esses parâmetros foram divididos em classes equivalentes às usadas no IS, e valorados em uma escala numérica de acordo com o risco de contaminação existente.

Optou-se por não analisar nenhum parâmetro quanto a composição dos resíduos considerando que, em se tratando de DRS, não existem grandes variações quanto ao tipo de resíduos recebidos (SCHUELER; MAHLER, 2008).

a. Tipo de disposição final de resíduos sólidos urbanos

O Tipo de DRS levou em consideração as condições de instalação e operação das unidades sendo classificadas em aterro sanitário licenciado pelo órgão ambiental competente ou lixão, disposição irregular de resíduos sólidos (SECIMA, 2015c) com valoração de 1 e 7, respectivamente. Somente este parâmetro não foi dividido em sete classes por se tratar de uma classificação não-numérica pré-estabelecida porém manteve-se a mesma escala de

valores.

Este parâmetro interfere diretamente na possibilidade de contaminação das águas visto que o aterro sanitário é uma técnica de disposição que prevê a minimização dos danos à saúde e impactos ambientais (ABNT, 1992) enquanto que o lixão é uma maneira de disposição sem qualquer tratamento ou medidas de proteção.

b. Estimativa de geração de resíduos sólidos urbanos

A geração de resíduos é um importante parâmetro pois a quantidade de matéria orgânica decomposta interfere diretamente na quantidade do lixiviado gerado (FUNASA, 2015), representando no estado de Goiás, 62% do total dos RSU gerados e encaminhados para as DRS (FADE/UFPE, 2013). Para o cálculo da estimativa anual de geração de RSU foram utilizados dados de estimativa populacional para o ano de 2016 (IBGE, 2016) e estimativa de geração *per capita* de resíduos sólidos urbanos, por faixa populacional (Tabela 13).

Tabela 13 – Classificação da estimativa de geração per capita de resíduos sólidos urbanos de acordo com as faixas populacionais do estado de Goiás.

Faixa populacional urbana para os municípios de Goiás (hab.)	Geração <i>per capita</i> de resíduos sólidos urbanos (kg/hab.dia)
Até 5.000	0,46
5.001 a 10.000	0,46 a 0,52
10.001 a 20.000	0,52 a 0,58
20.001 a 50.000	0,58 a 0,67
50.001 a 100.000	0,67 a 0,74
100.001 a 200.000	0,74 a 0,80
200.001 a 500.000	0,80 a 0,89
500.001 a 1.300.000	0,89 a 0,99

Fonte: SECIMA (2015b).

Posteriormente os valores de geração foram classificadas em sete grupos homogêneos de acordo com a amplitude apresentada pela amostra e foram atribuídos valores de 1 a 7 para o risco apresentado.

c. Área superficial da disposição final de resíduos sólidos urbanos

Este parâmetro afeta diretamente na quantidade de lixiviado gerado sendo diretamente proporcional à infiltração de águas pluviais nestes locais (BARROS, 2012). Estas áreas foram mapeadas no QGis utilizando como base a cartografia disponibilizada pelo *Plugin OpenLayers* (módulo que permite visualizar as imagens de livre difusão do *Google*). Posteriormente essas áreas foram classificadas em sete grupos homogêneos de acordo com a amplitude apresentada pela amostra e foram atribuídos valores de 1 a 7 para o risco apresentado.

d. Declividade

A declividade é um parâmetro importante para verificar a velocidade de escoamento de lixiviado (ANANE et al., 2013). O cálculo desta variável foi realizado pela relação entre a distância do centroide da DRS até o ponto de captação da BCS e a diferença de cotas destes pontos (provenientes do MDE). Este parâmetro foi classificado em sete grupos homogêneos de acordo com a amplitude apresentada pela amostra e atribuídos valores de 1 a 7 para o risco apresentado.

e. Índice de Susceptibilidade da disposição final de resíduos sólidos urbanos

O IS para cada uma das DRS, torna-se um importante parâmetro na valoração do risco permitindo sua comparação de forma padronizada (ANANE et al., 2013). Das características do IS, as que podem possuir maior variação entre as áreas de DRS são a profundidade da zona não saturada e topografia. Após a delimitação das áreas superficiais das DRS foi obtido o valor de cada IS no Mapa calculado para as BCS. Finalmente os valores foram classificados nos sete grupos propostos pelo IS e foram atribuídos valores de 1 a 7 para o risco apresentado.

f. Distância da disposição final de resíduos sólidos urbanos até o corpo d'água

Este parâmetro trata-se de um quesito legal sendo importante por proteger cursos d'água da possibilidade de poluição hídrica (GOIÁS, 2012). A distância do centroide da DRS até o corpo d'água superficial mais próximo pertencente a BCS estudada foi calculada a partir da rede de drenagem (IMB, 2014) utilizando as ferramentas do QGis. Posteriormente essas informações foram classificadas em sete categorias conforme proposto por Schueler e Mahler (2008) e foram atribuídos valores de 1 a 7 para o risco apresentado.

Após a categorização dos seis parâmetros supracitados, os valores atribuídos para cada DRS, selecionada como de maior vulnerabilidade, foram correlacionados por meio de Análise de Componentes Principais (ACP). Este método permitiu a análise simultânea dos parâmetros obtidos determinando a sua interdependência o que permitiu a discussão das informações e sua relevância frente ao risco de contaminação das BCS por DRS.

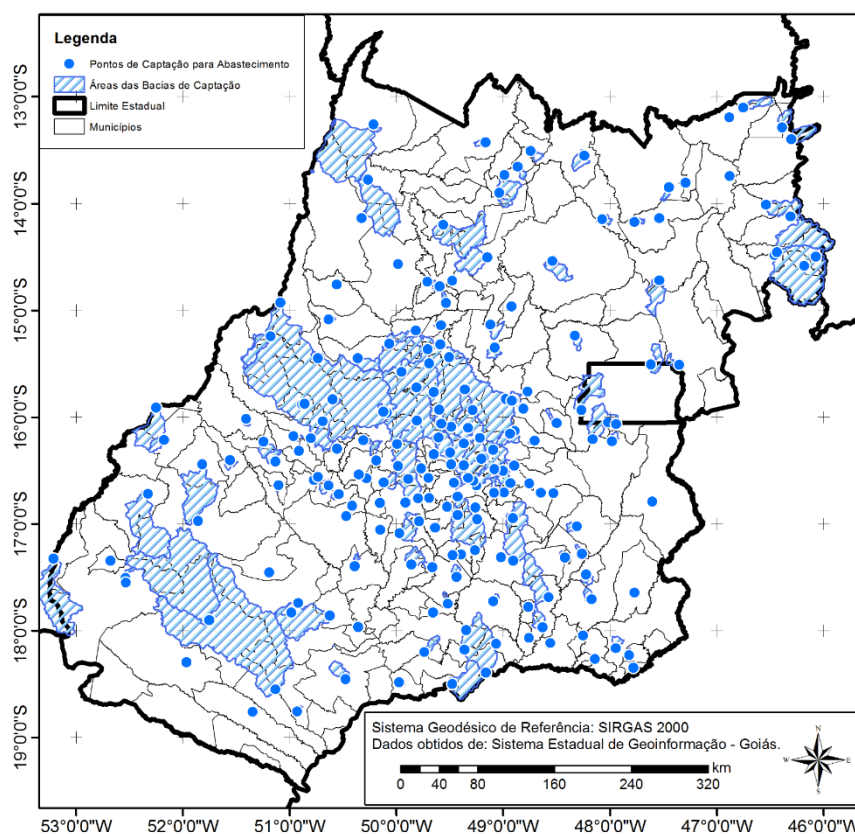
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e discussão dessa pesquisa foram divididos em três itens a seguir:

5.1 IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS BACIAS DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL E DAS DISPOSIÇÕES DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

No levantamento de dados realizado foram identificados 204 pontos de captação para abastecimento público no estado de Goiás com as suas BCS (Figura 3). Os pontos de captação identificados estão localizados em 186 municípios (76%) dos 246 existentes no estado. Dos 60 municípios restantes, 57 são abastecidos por captações subterrâneas e 3 possuem acordos para a utilização de água captada mananciais superficiais de outros municípios.

Figura 3 – Localização dos pontos e delimitação das bacias de captação superficial do estado de Goiás.



Quanto ao tipo de administração, 225 municípios (92%) têm seus sistemas operados pela Concessionária Estadual (Tabela 14). Dos outros 21 municípios, 10 são geridos por administração pública direta descentralizada, por meio de Autarquias, e 11 pela administração pública direta centralizada, sendo 4 por meio de Departamentos ou Secretarias Municipais e 7 por órgãos não específicos para os serviços prestados (ARRUDA; LIMA; SCALIZE, 2016).

Tabela 14 – Tipo de gestão e quantidade de captações de água para abastecimento público do estado de Goiás.

Tipo de Sistema	Quantidade de municípios			Quantidade de captações	
	Total	Concessão Estadual	Administração Pública Direta ⁽³⁾	Municípios com mais de uma captação	Total
Captação superficial	145	139	6	5	153
Captação subterrânea (por poços)	57	53	4	NL ⁽¹⁾	NL ⁽¹⁾
Captação mista (superficial e subterrânea)	41	30	11	3 ⁽²⁾	44 ⁽²⁾
Sem captação própria	3	3	0	-	-
Total	246	225	21	8	197

Nota: ⁽¹⁾ NL= informação não levantada; ⁽²⁾ informação referente apenas às captações superficiais.

Fonte: Adaptado de IMB (2014) com informações de Arruda, Lima e Scalize (2016) ⁽³⁾.

Apesar deste estudo ter contemplado as captações superficiais para abastecimento público dos municípios goianos recomenda-se que nos próximos estudos sejam contemplados os distritos do estado com as suas respectivas captações e todas as captações subterrâneas para avaliar a influência de contaminação recebidas por estes recursos.

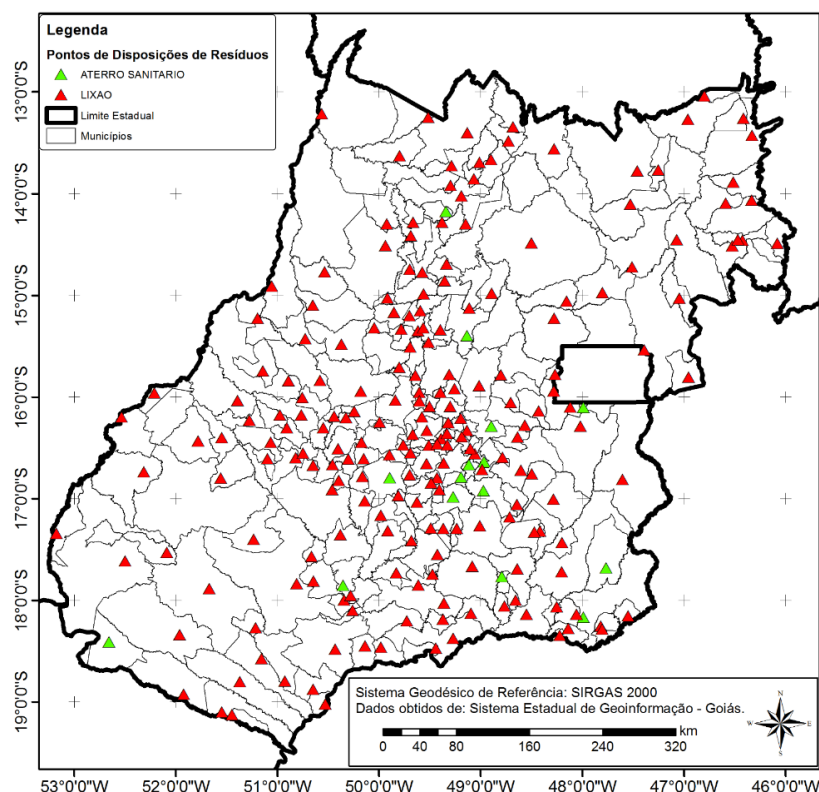
Referente a situação das DRS, foi identificada a presença de uma por município, existindo apenas um município que possui acordo para disposição em área gerenciada por outro município. Do total de 245 municípios com DRS, 230 (93%) tem suas áreas classificadas como lixões (Tabela 15). Deste total, 17 municípios não forneceram informação sobre a localização dos seus lixões sendo identificados geograficamente um total de 228 DRS (Figura 4).

Tabela 15 – Situação legal e quantidade das disposições de resíduos sólidos urbanos do estado de Goiás.

Tipo de disposição	Quantidade de disposições com informações de localização	Quantidade de municípios
Aterro sanitário	15	15
Lixão	213	230
Sem disposição própria (utiliza de outro município)	00	01
Total	228	246

Fonte: Adaptado de Secima (2015b) e Secima (2015c).

Figura 4 – Localização das disposições de resíduos sólidos urbanos do estado de Goiás.



As informações espaciais das BCS e das DRS foram sobrepostas obtendo como resultado a identificação de 69 áreas de DRS localizadas dentro de 43 BCS no estado de Goiás (Figura 5).

Verificou-se que esta condição de BCS com presença DRS em suas delimitações encontra-se difusa em todas as regiões de planejamento do estado (Tabela 16). A maior quantidade de BCS com DRS localiza-se nas regiões Oeste Goiano (8), Centro Goiano (8) e Metropolitana (7) totalizando 53% das BCS.

Analisando a distribuição das BCS dentro das regiões verificou-se que a Noroeste Goiano (80,2%), Centro Goiano (44,8%) e Metropolitana (44,0%) são as que possuem maior área ocupada por bacias. O Oeste e Centro Goiano apresentam também maior quantidade de BCS.

As duas situações demonstram fragilidades e riscos para essas regiões: a grande quantidade de BCS por região determina que uma grande quantidade de municípios possuem suas águas susceptíveis a contaminação por usos como de DRS e uma grande área da região com presença dessas BCS significa poucas opções de planejamento de áreas próximas para finalidades como DRS.

Figura 5 – Identificação das bacias de captação superficial com disposição de resíduos sólidos urbanos em suas delimitações no estado de Goiás.

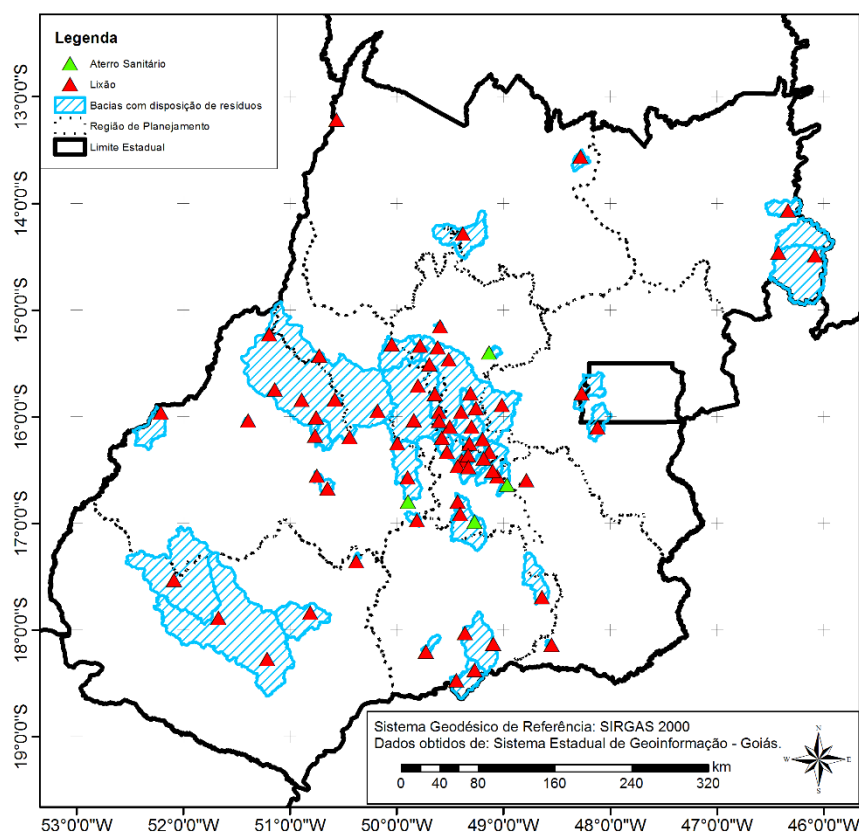


Tabela 16 – Distribuição regional das bacias de captação superficial com disposição de resíduos sólidos urbanos do estado de Goiás.

Região de Planejamento	Quantidade de BCS por região	Área ocupada com BCS por região (%)	Municípios com Bacias de Captação Superficial (BCS) selecionadas
Centro Goiano	8	44,8	Brazabrantes ⁽¹⁾ , Ceres ⁽¹⁾ , Damolândia ⁽¹⁾ , Goianésia, Itaguari ⁽¹⁾ , Jaraguá ⁽¹⁾ , Nova Glória e Ouro Verde.
Entorno do Distrito Federal	2	4,6	Novo Gama e Santo Antônio do Descoberto.
Metropolitana	7	44,0	Goiânia (captação João Leite e Meia Ponte) ⁽¹⁾ , Hidrolândia, Inhumas ⁽¹⁾ , Nerópolis ⁽¹⁾ , Professor Jamil ⁽¹⁾ e Senador Canedo ⁽¹⁾ .
Nordeste Goiano	3	10,6	Alvorada do Norte, Buritinópolis e Iaciara.
Noroeste Goiano	2	80,2	Carmo do Rio Verde ⁽¹⁾ e Uruana.
Norte	2	2,1	Campos Verdes ⁽¹⁾ e Minaçu.
Oeste Goiano	8	22,4	Aragarças, Aruanã ⁽¹⁾ , Itapirapuã, Ivolândia, Montes Claros de Goiás, Nazário, Novo Brasil e Palmeiras de Goiás (captação dos Bois) ⁽¹⁾ .
Sudeste Goiano	2	1,2	Corumbá e Leopoldo de Bulhões.
Sudoeste Goiano	4	25,5	Acreúna ⁽¹⁾ , Caçu ⁽¹⁾ , Jataí ⁽¹⁾ e Santa Helena de Goiás.
Sul Goiano	5	11,6	Bom Jesus de Goiás, Cachoeira Dourada, Caldas Novas ⁽¹⁾ , Cezarina ⁽¹⁾ e Itumbiara ⁽¹⁾ .
Total	43	-	

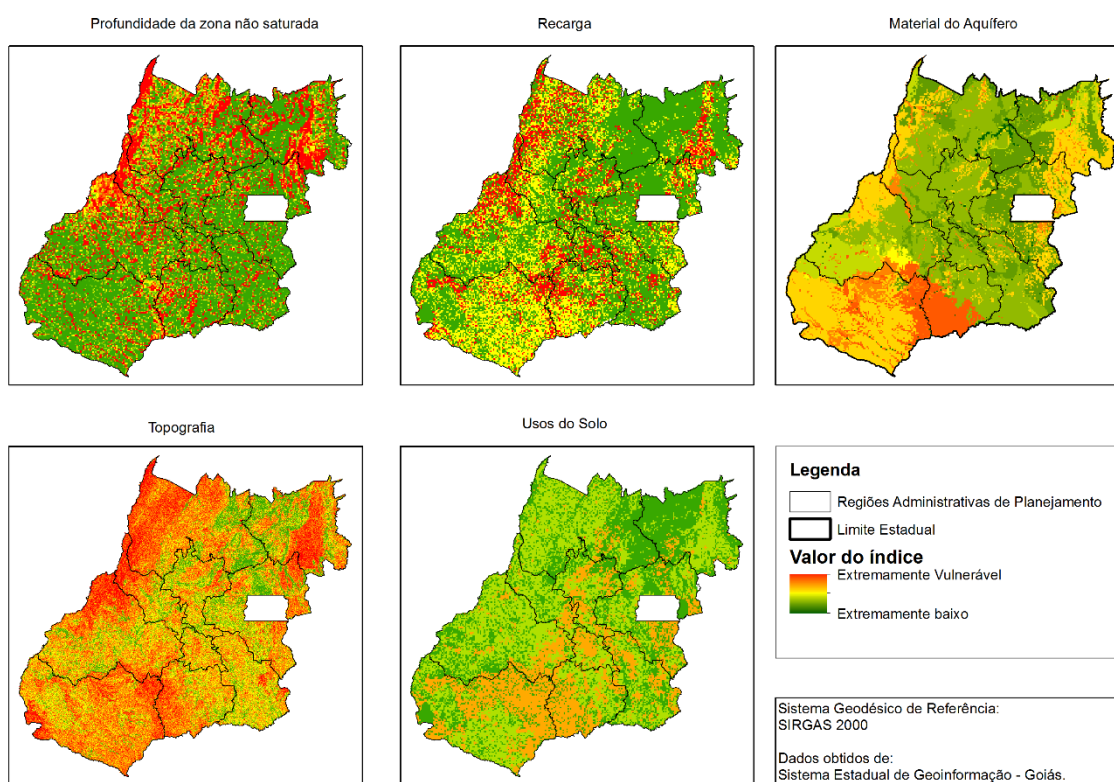
Nota: ⁽¹⁾ Bacias que se encontram em mais de uma região de planejamento foram classificadas de acordo com a sua predominância de localização.

5.2 AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DAS BACIAS SUPERFICIAIS DE CAPTAÇÃO COM PRESENÇA DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E SELEÇÃO DAS MAIS VULNERÁVEIS

Usando as informações georreferenciadas foi possível gerar bases cartográficas que permitiram a visualização das áreas mais vulneráveis do estado para cada característica física do modelo de vulnerabilidade (Figura 6). Cada uma das características foi reclassificada seguindo os coeficientes do método.

Verificou-se que as áreas que apresentaram categorias com valores mais elevados estão localizadas próximas aos cursos dos grandes rios do estado (LINHARES et al., 2014). A região Norte, Nordeste e Noroeste Goiano percorridas pelos rios Araguaia, Tocantins e Paraná; e a região Sul, Sudeste e Sudoeste pelo rio Paranaíba.

Figura 6 – Bases cartográficas de cada uma das categorias do Índice de Susceptibilidade para o estado de Goiás.

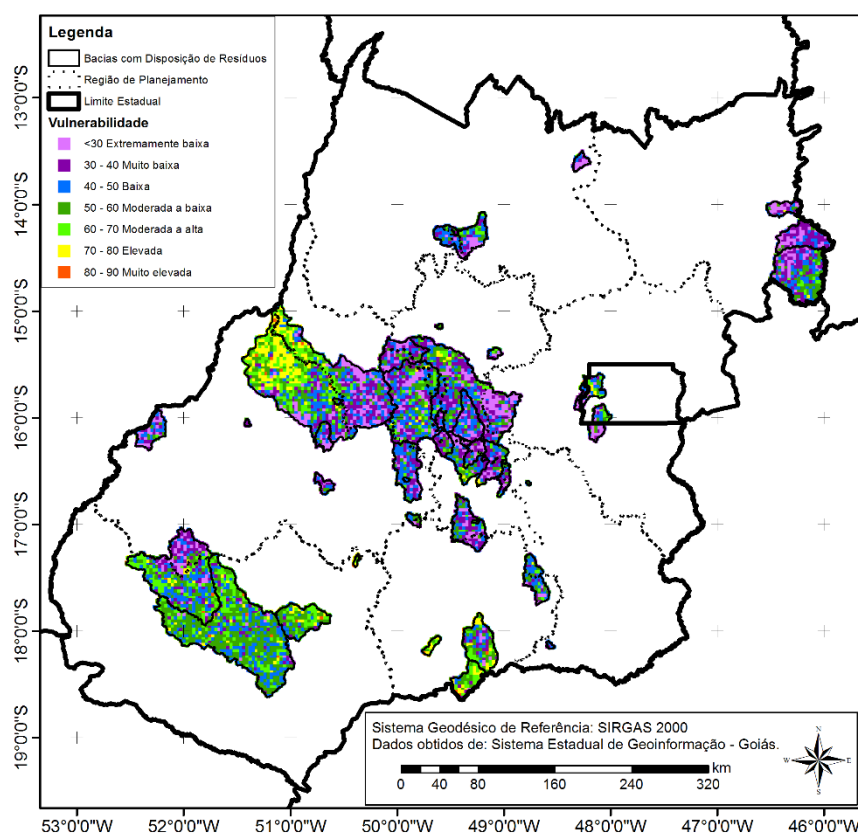


Nas regiões do norte estão apresentados os maiores valores de vulnerabilidade do estado para as categorias da profundidade não saturada, recarga e topografia (Figura 6). Isto está associado às próprias características hidrogeológicas da área, como o tipo de aquífero, alta pluviometria e baixa declividade do terreno.

As maiores categorias de vulnerabilidade de Goiás para usos do solo e materiais geológicos (Figura 6) situam-se nas regiões Sul e Sudoeste. Isto pode justificar-se pelas condições climáticas e geomorfológicas da região que possibilitam intensa antropização dessas áreas pelas atividades de agricultura e pastagem.

Utilizando-se dos valores obtidos em todo o estado para as cinco categorias físicas, calculou-se os IS em cada uma das 43 BCS com presença de DRS (Figura 7).

Figura 7 – Vulnerabilidade das bacias de captação superficial com presença de disposição de resíduos sólidos urbanos, determinadas pelo Índice de Susceptibilidade.



Verificou-se a presença de 7 das 8 classes de vulnerabilidade existentes no IS, variando de vulnerabilidade extremamente baixa ($IS < 30$) a muito elevada ($80 < IS < 90$), não apresentando nenhuma situação classificada como extremamente vulnerável ($IS > 90$). A

ausência da última classe pode estar associada a escala das cartografias disponíveis e também a falta de delimitação dos usos do solo estaduais com maior impacto, como é o caso das DRS.

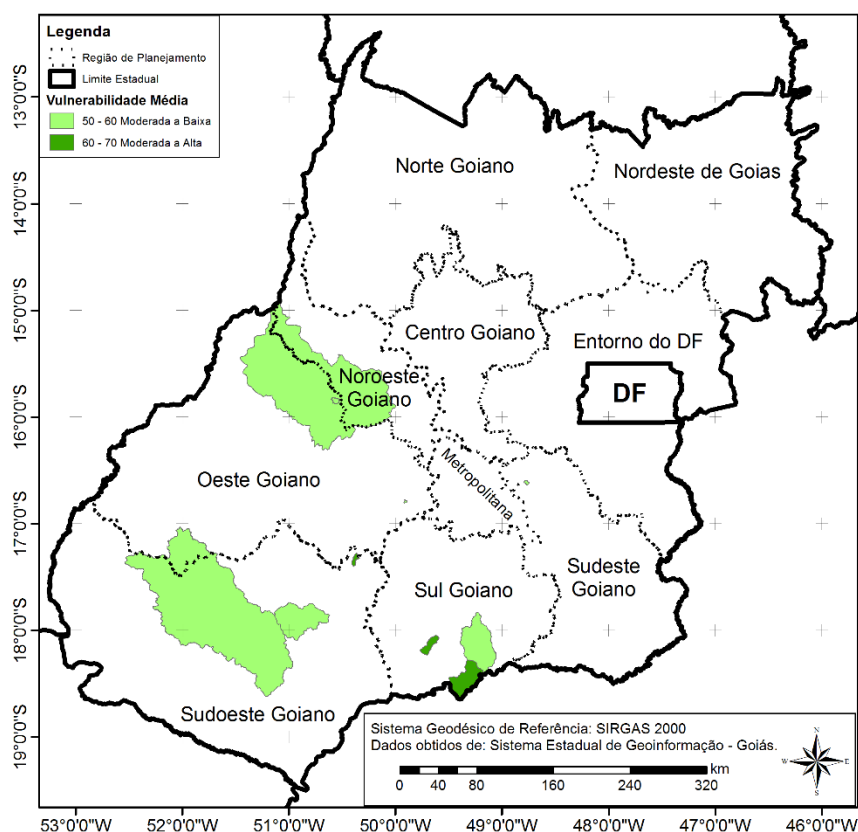
Em se tratando de vulnerabilidade média, o cálculo realizado para cada uma das 43 BCS variou de extremamente baixa ($IS < 30$) até moderada a alta ($60 < IS < 70$). Posteriormente foram identificadas as classes predominantes no estado de Goiás (Tabela 17), que permitiu a escolha de nove BCS mais vulneráveis com DRS, distribuídas nas classes moderada a alta e moderada a baixa, ou seja, $IS > 50$ (21% da amostra total).

Tabela 17 – Distribuição das bacias de captação superficial com disposição de resíduos sólidos urbanos do estado de Goiás por classe de vulnerabilidade média.

Classe do Índice de Susceptibilidade	Quantidade de BCS por classe		Municípios com Bacias de Captação Superficial (BCS) selecionadas
Moderada a alta ($60 < IS < 70$)	3	7,0%	Acreúna, Bom Jesus de Goiás e Cachoeira Dourada.
Moderada a baixa ($50 < IS < 60$)	6	14,0%	Aruanã, Caçu, Itapirapuã, Itumbiara, Leopoldo de Bulhões e Santa Helena de Goiás.
Baixa ($40 < IS < 50$)	17	39,5%	Alvorada do Norte, Caldas Novas, Campos Verdes, Ceres, Cezarina, Corumbá, Hidrolândia, Goianésia, Goiânia (captação Meia Ponte), Jataí, Nazário, Nerópolis, Nova Glória, Ouro Verde, Palmeiras de Goiás (captação dos Bois), Santo Antônio do Descoberto e Uruana.
Muito baixa ($30 < IS < 40$)	16	37,2%	Aragarças, Brazabrantes, Buritinópolis, Carmo do Rio Verde, Goiânia (captação João Leite), Iaciara, Inhumas, Itaguari, Ivólândia, Jaraguá, Minaçu, Montes Claros de Goiás, Novo Brasil, Novo Gama, Professor Jamil e Senador Canedo.
Extremamente baixa (< 30)	1	2,3%	Damolândia.
Total	43	100,0%	

As BCS que apresentaram maior vulnerabilidade média em relação as demais no estado de Goiás (Figura 8), estão localizadas nas regiões de planejamento Oeste (2), Sudeste (1), Sudoeste (3) e Sul Goiano (3).

Figura 8 – Bacias de captação superficial com disposição de resíduos sólidos urbanos selecionadas com maior Índice de Susceptibilidade médio no estado de Goiás.



Nas nove BCS selecionadas como de maior risco à contaminação por DRS observou-se uma predominância de 47,5% nas duas classes de vulnerabilidade intermediária (28,3% de moderada a baixa e 19,2% de moderada a alta). As áreas com vulnerabilidade menores também foram relevantes correspondendo a 42,2% do total (8,2% extremamente baixa, 13,2% muito baixa e 20,9% baixa). Já as classes de maiores vulnerabilidades corresponderam a apenas 10,3% do total (9,4% elevada, 0,9% muito elevada e 0,0% extremamente vulnerável). Esta distribuição corrobora o procedimento da vulnerabilidade média como ferramenta de seleção baseada nas classes de vulnerabilidade intermediária.

Foram identificadas 18 DRS dentro das nove BCS selecionadas (Tabela 18). Como as bacias são unidades geomorfológicas (não administrativas), as mesmas podem abranger mais de um município podendo haver sobreposições entre bacias e disposições localizadas em mais de uma bacia. Os casos verificados foram: o lixão de Itapirapuã que está localizado dentro de duas bacias dos municípios de Itapirapuã e de Aruanã; e, as BCS de Aruanã, Caçu e Cachoeira Dourada que possuem mais de uma DRS em sua delimitação.

Tabela 18 - Descrição das bacias de captação superficial com disposição de resíduos sólidos urbanos selecionadas como de maior vulnerabilidade média no estado de Goiás.

Região de Planejamento	Município com BCS selecionada	Vulnerabilidade média da BCS	Quantidade da BCS com IS >50 (%)	Município com DRS dentro da BCS selecionada
1. Oeste Goiano	1.1. Aruanã	50,7	52,8	1.1.1. Britânia 1.1.2. Buriti de Goiás 1.1.3. Goiás 1.1.4. Itapirapuã 1.1.5. Jussara 1.1.6. Matrinchã 1.1.7. Novo Brasil 1.1.8. Santa Fé de Goiás
	1.2. Itapirapuã	55,1	28,6	1.2.1. Itapirapuã
2. Sudeste Goiano	2.1. Leopoldo de Bulhões	50,2	63,6	2.1.1. Leopoldo de Bulhões
3. Sudoeste Goiano	3.1. Acreúna	68,9	100,0	3.1.1. Acreúna
	3.2. Caçu	51,1	57,4	3.2.1. Aparecida do Rio Doce 3.2.2. Jataí 3.2.3. Perolândia
	3.3. Santa Helena de Goiás	57,7	80,6	3.3.1. Rio Verde
4. Sul Goiano	4.1. Bom Jesus de Goiás	65,9	97,6	4.1.1. Bom Jesus de Goiás
	4.2. Cachoeira Dourada	60,8	83,1	4.2.1. Cachoeira Dourada 4.2.2. Itumbiara
	4.3. Itumbiara	52,7	61,2	4.3.1. Buriti Alegre

Nota: BCS = bacia de captação superficial, DRS = disposição final de resíduos sólidos urbanos e IS = Índice de Susceptibilidade.

As duas BCS localizadas na região Oeste Goiano possuem vulnerabilidade média classificada como de moderada a baixa ($50 < IS < 60$). As características naturais da BCS (profundidade da zona não saturada do solo, a recarga e a topografia) foram as que mais influenciaram para a seleção dessas BCS, sendo que a de Aruanã destaca-se como de gestão mais crítica por ser impactada por oito DRS pertencentes a diferentes municípios.

As regiões Sudeste, Sudoeste e Sul Goiano possuem sete BCS, sendo quatro classificadas como moderada a baixa ($50 < IS < 60$) e três como moderada a alta ($60 < IS < 70$). A alta permeabilidade do solo, proporcionada pelo material do aquífero, seguido do uso do solo mais intenso na região foram os fatores que mais influenciaram para esta classificação. Dentre essas BCS destacam-se as de Acreúna e Bom Jesus de Goiás como as mais vulneráveis da região (com área maior que 90% classificadas com $IS > 50$) e as BCS de Cachoeira Dourada, Caçu, Itumbiara e Santa Helena de Goiás como de gestão mais crítica por serem impactadas por DRS de outros municípios, uma, duas, duas e uma DRS, respectivamente.

5.3 ANÁLISE DOS PARÂMETROS TÉCNICOS DAS DISPOSIÇÕES FINAIS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E CÁLCULO DOS RISCOS

Em cada uma das 18 DRS presentes nas BCS mais vulneráveis foram analisados e classificados os parâmetros técnicos mais impactantes para a contaminação das águas de acordo com o risco existente. Foi utilizada uma escala de um a sete, quantidade esta compatível as classes utilizadas do IS, para valoração do risco existente em cada um dos parâmetros.

a. Tipo de disposição final de resíduos sólidos urbanos

Quanto a gestão das instalações foi levantado o tipo de DRS, sendo a condição de lixão a mais crítica e portanto classificada como de maior risco à contaminação (Tabela 19).

Tabela 19 – Classificação das disposições no estado de Goiás por tipo e seu respectivo coeficiente.

Tipo de disposição	Coeficiente	Frequência absoluta	Frequência relativa (%)	Nome dos municípios de cada disposição
Aterro sanitário	1	0	0,00	Nenhuma disposição.
Antigo aterro	5	2	11,11	Buriti de Goiás e Rio Verde.
Lixão	7	16	88,89	Acreúna, Aparecida do Rio Doce, Bom Jesus de Goiás, Britânia, Buriti Alegre, Cachoeira Dourada, Goiás, Itapitapuã, Itumbiara, Jataí, Jussara, Leopoldo de Bulhões, Matrinchã, Novo Brasil Perolândia e Santa Fé de Goiás.

Foi inserida uma classe intermediária chamada de “antigo aterro” com valoração menor que o lixão. Esta inserção foi realizada após verificação, por meio de visualização de imagens de satélite, que identificou alguns lixões com estruturas de instalação semelhantes às de aterro sanitário (com presença de lagoas, cercamento e trincheiras de disposição).

Estas informações foram conferidas e comprovadas, pela existência de processos de licenciamento, junto ao órgão ambiental estadual (Secima), confirmando a realidade do estado de Goiás de transformação de aterros sanitários em lixões por falta de operação adequada. Foram identificadas essa situação nas DRS dos municípios de Buriti de Goiás (Figura 9a, escala 1:2.500) e de Rio Verde (Figura 9b, escala 1:10.000). Esta também é a realidade do Distrito Federal que possuía um aterro controlado (DRS do Jóquei) em 2013, sendo classificado como lixão em 2014, mais conhecido como Lixão da Estrutural (SNSA, 2016).

Figura 9 – Disposição final de resíduos sólidos urbanos classificados como antigos aterros no estado de Goiás: em (a) município de Buriti de Goiás e em (b) município de Rio Verde.



Fonte: Cartografia proveniente de Bing Maps e Google Satélite, respectivamente.

b. Estimativa de geração de resíduos sólidos urbanos

Verificou-se que a relação entre população municipal e sua geração anual de resíduos sólidos urbanos (Tabela 20) não é constante, visto que a geração per capita aumenta conforme o aumento do porte do município (0,46 a 0,80 kg/hab.dia). As relações obtidas foram 3:1 (212.237 hab.) para um município, 4:1 (101.544 a 97.077 hab.) para dois municípios, 5:1 (24.269 a 8.369 hab.) para seis municípios e 6:1 (7.758 a 2.514 hab.) para nove municípios. O estudo de França e Ruaro (2009) resultou em maiores relações para os quatorze municípios estudados (5:1 a 35:1) o que demonstra uma menor geração per capita de resíduos sólidos urbanos no estado de Santa Catarina (0,08 a 0,60 kg/hab.dia).

Os valores de geração foram classificados em sete grupos homogêneos conforme o risco apresentado (Tabela 21).

Tabela 20 – Estimativa de geração de resíduos sólidos urbanos para cada disposição final selecionada do estado de Goiás.

Município com disposição de resíduos sólidos urbanos	Estimativa de pop. para o ano de 2016 ⁽¹⁾	Estimativa de geração <i>per capita</i> de resíduos sólidos urbanos (kg/hab.dia) ⁽²⁾	Estimativa de geração de resíduos sólidos urbanos (t/ano)
Acreúna	21.905	0,59	4.682,96
Aparecida do Rio Doce	2.514	0,46	422,10
Bom Jesus de Goiás	23.632	0,59	5.096,86
Britânia	5.795	0,47	993,14
Buriti Alegre	9.501	0,51	1.782,52
Buriti de Goiás	2.589	0,46	434,69
Cachoeira Dourada	8.369	0,50	1.528,64
Goiás	24.269	0,59	5.251,17
Itapirapuã	6.541	0,48	1.142,36
Itumbiara	101.544	0,74	27.461,35
Jataí	97.077	0,74	26.075,50
Jussara	19.292	0,58	4.054,20
Leopoldo de Bulhões	7.758	0,49	1.396,27
Matrinchã	4.495	0,46	754,71
Novo Brasil	3.291	0,46	552,56
Perolândia	3.121	0,46	524,02
Rio Verde	212.237	0,80	62.257,57
Santa Fé de Goiás	5.253	0,46	887,78

Fonte: IBGE (2016)⁽¹⁾ e Secima (2015b)⁽²⁾.

Tabela 21 – Classificação das disposições no estado de Goiás por estimativa de geração de resíduos e seu respectivo coeficiente.

Classe de geração de resíduos (t/ano)	Coeficiente	Frequência	
		Absoluta	Relativa (%)
0 – 9.000	1	15	83,33
9.001 – 18.000	2	0	0,00
18.001 – 27.000	3	1	5,56
27.001 – 36.000	4	1	5,56
36.001 – 45.000	5	0	0,00
45.001 – 54.000	6	0	0,00
54.001 – 63.000	7	1	5,56

c. Área superficial da disposição final de resíduos sólidos urbanos

Para a delimitação foi considerada a área total de cada DRS (Tabela 22) visto que todas as unidades selecionadas são inadequadas, com disposição desordenada dos resíduos. Desta forma não foi possível considerar apenas as áreas de trincheiras ou locais pré-definidos para disposição.

De forma geral, os municípios com maiores áreas foram também os de maiores populações como Itumbiara, Jataí e Rio Verde. Verificou-se que a relação entre população municipal e área superficial não é constante, visto que a área per capita ocupada com resíduos diminui conforme o aumento do porte do município. As relações obtidas foram de 3 m²/hab. (212.237 a 97.077 hab.) para três municípios, de 4 a 5 m²/hab. (23.632 a 21.905 hab.) para dois

municípios, de 7 a 14 m²/hab. (9.521 a 3.121 hab.) para nove municípios e 22 m²/hab. (2.514 hab.) para um município. Porém foram encontradas disparidades como os municípios de Buriti de Goiás (2.589 hab.), Goiás (19.292 hab.) e Jussara (24.269 hab.) que apresentaram relações de 6, 2 e 2 m²/hab. Verificou-se que em Humatá (AM), com população de 51 mil hab., esta relação se manteve, 5 m²/hab. (OLIVEIRA et al., 2016); o que não aconteceu em Bauru (SP), com população de 337 mil hab. e relação menor do que as encontradas no estado de Goiás, de 1 m²/hab. (MONDELLI; GIACHETI; HAMADA, 2016). Vale ressaltar que os tamanhos das áreas também dependem de outros fatores entre eles: recursos para aquisição, disponibilidade de área no município e a geometria das áreas podendo ser mais ou menos aproveitadas para a disposição de resíduos.

Tabela 22 – Áreas superficiais para cada disposição final selecionada do estado de Goiás.

Município com disposição de resíduos sólidos urbanos	Área superficial (m ²)
Acreúna	99.705,40
Aparecida do Rio Doce	55.133,15
Bom Jesus de Goiás	90.601,69
Britânia	49.459,81
Buriti Alegre	71.110,31
Buriti de Goiás	14.282,74
Cachoeira Dourada	55.041,24
Goiás	60.639,69
Itapirapuã	43.056,82
Itumbiara	259.619,72
Jataí	282.649,89
Jussara	42.562,47
Leopoldo de Bulhões	91.834,17
Matrinchã	37.679,41
Novo Brasil	45.606,41
Perolândia	21.848,09
Rio Verde	539.293,59
Santa Fé de Goiás	49.409,49

Posteriormente os valores de área foram classificados em sete grupos homogêneos com seus respectivos riscos diretamente proporcionais às informações levantadas (Tabela 23).

Tabela 23 – Classificação das disposições no estado de Goiás por tamanho da área superficial e seu respectivo coeficiente.

Classe de área superficial (m ²)	Coeficiente	Frequência	
		Absoluta	Relativa (%)
0,00 – 78.000	1	12	66,67
78.001 – 156.000	2	3	16,67
156.001 – 234.000	3	0	0,00
234.001 – 312.000	4	2	11,11
312.001 – 390.000	5	0	0,00
390.001 – 468.000	6	0	0,00
468.001 – 546.000	7	1	5,56

d. Declividade

A distância entre as DRS e o ponto de captação da BCS variou de 1,8 km (Bom Jesus de Goiás) até 164 km (Buriti de Goiás), devendo-se às grandes proporções de algumas BCS do estado. Através do cálculo da declividade (Tabela 24), verificou-se que as pequenas distâncias (1,8 a 5,6 km) de cinco municípios foram as responsáveis pelas maiores declividades encontradas (0,92 a 2,61%), com exceção dos municípios de Buriti Alegre e Rio Verde que apresentaram altas declividades (1,38 e 0,94%) devido a diferença topográfica entre os pontos estudados.

Ressalta-se ainda que duas DRS (dos municípios de Bom Jesus de Goiás e Itapirapuã) não se enquadram na Resolução nº 05 (CEMAM, 2014) pois não possuem distâncias mínimas de 2.500 m das suas áreas até o ponto de captação das bacias em que estão inseridas.

Tabela 24 – Declividade de cada disposição final até a bacia de captação superficial selecionada do estado de Goiás.

Município com disposição de resíduos sólidos urbanos (DRS)	Diferença de cota DRS até ponto BCS	Distância DRS até o ponto da BCS (m)	Declividade (%)
Acreúna	60	4903,9	1,22%
Aparecida do Rio Doce	176	34336,4	0,51%
Bom Jesus de Goiás	44	1846,1	2,38%
Britânia	19	36775,5	0,05%
Buriti Alegre	435	31528,2	1,38%
Buriti de Goiás	289	163660,5	0,18%
Cachoeira Dourada	145	5564,8	2,61%
Goiás	249	155068,8	0,16%
Itapirapuã	23	2507,6	0,92%
Itumbiara	79	27694,9	0,29%
Jataí	426	105700,6	0,40%
Jussara	104	107586,0	0,10%
Leopoldo de Bulhões	71	4186,8	1,70%
Matrinchã	104	70238,0	0,15%
Novo Brasil	181	130093,5	0,14%
Perolândia	436	160665,5	0,27%
Rio Verde	197	21061,0	0,94%
Santa Fé de Goiás	156	93463,0	0,17%

Desta forma classificou-se essas informações em sete grupos homogêneos com atribuição de valores de um a sete para o risco apresentado (Tabela 25).

Tabela 25 – Classificação da declividade das disposições finais até os pontos de captação da bacia e seu respectivo coeficiente no estado de Goiás.

Declividade (%)	Coeficiente	Frequência	
		Absoluta	Relativa (%)
0,00 – 0,40	1	10	55,56
0,41 – 0,80	2	1	5,56
0,81 – 1,20	3	2	11,11
1,21 – 1,60	4	2	11,11
1,61 – 2,00	5	1	5,56
2,01 – 2,40	6	1	5,56
2,41 – 2,80	7	1	5,56

e. Índice de Susceptibilidade da disposição final de resíduos sólidos urbanos

Para os casos em que a DRS se encontrou em uma linha de mudança de índice foi realizado a média aritmética dos valores como foi o caso dos municípios de Aparecida do Rio Doce, Jataí e Jussara (Tabela 26). Apenas uma DRS foi classificada como elevada ($70 < IS < 80$) e cinco como moderada a alta ($60 < IS < 70$).

Tabela 26 – Índice de Susceptibilidade da área superficial de cada disposição final selecionada do estado de Goiás.

Município com disposição de resíduos sólidos urbanos	Índice de Susceptibilidade
Acreúna	64,32
Aparecida do Rio Doce	51,30
Bom Jesus de Goiás	57,70
Britânia	65,91
Buriti Alegre	64,32
Buriti de Goiás	43,63
Cachoeira Dourada	58,96
Goiás	31,02
Itapirapuã	47,41
Itumbiara	78,12
Jataí	58,19
Jussara	56,87
Leopoldo de Bulhões	53,00
Matrinchã	62,53
Novo Brasil	61,08
Perolândia	58,07
Rio Verde	48,07
Santa Fé de Goiás	31,82

Posteriormente os valores do IS foram classificados nos sete grupos de vulnerabilidade utilizados nesse estudo com seus respectivos riscos (Tabela 27).

Tabela 27 – Classificação do Índice de Susceptibilidade das disposições finais e seu respectivo coeficiente.

Índice de Susceptibilidade da DRS	Coeficiente	Frequência	
		Absoluta	Relativa (%)
<30	1	0	0,00
30 - 40	2	2	11,11
40 - 50	3	3	16,67
50 - 60	4	7	38,89
60 - 70	5	5	27,78
70 - 80	6	1	5,56
80 - 90	7	0	0,00

f. Distância da disposição final de resíduos sólidos urbanos até o corpo d'água

Constatou-se que nenhuma distância da DRS até o corpo d'água superficial mais próximo pertencente a BCS estudada (Tabela 28) foi menor que 200 m respeitando os limites legais (GOIÁS, 2012), porém as DRS de Santa Fé de Goiás, Buriti de Goiás, Itapirapuã e Jataí não se enquadram na Resolução nº 05 (CEMAM, 2014) não possuindo distâncias mínimas de 500 m das suas áreas até o corpo hídrico.

Situação mais crítica foi encontrada no estado de Santa Catarina quando, em 2005, foram identificados sete lixões com distâncias menores que 100 m de corpos d'água (FRANÇA; RUARO, 2009).

Tabela 28 – Distância de cada disposição final selecionada do estado de Goiás até o corpo d'água mais próximo.

Município com disposição de resíduos sólidos urbanos	Distância (m)
Acreúna	884,41
Aparecida do Rio Doce	698,85
Bom Jesus de Goiás	780,08
Britânia	1.855,99
Buriti Alegre	1.325,75
Buriti de Goiás	392,64
Cachoeira Dourada	1.176,21
Goiás	685,84
Itapirapuã	469,41
Itumbiara	681,29
Jataí	488,19
Jussara	813,59
Leopoldo de Bulhões	1.016,33
Matrinchã	564,57
Novo Brasil	632,16
Perolândia	874,29
Rio Verde	810,19
Santa Fé de Goiás	357,50

Posteriormente essas distâncias foram distribuídas em sete classes de acordo com Schueler e Mahler (2008) e foram atribuídos valores para os riscos sendo os mesmos inversamente proporcionais às informações levantadas (Tabela 29).

Tabela 29 – Classificação das disposições finais do estado de Goiás pela sua distância até os corpos d'água mais próximos e seu respectivo coeficiente.

Classe de distância (m) ⁽¹⁾	Coeficiente	Frequência	
		Absoluta	Relativa (%)
<100	7	0	0,00
101 – 200	6	0	0,00
201 – 400	5	2	11,11
401 – 600	4	3	16,67
601 – 800	3	5	27,78
801 – 1.000	2	4	22,22
>1.000	1	4	22,22

Fonte: Schueler e Mahler (2008)⁽¹⁾.

Utilizando os coeficientes dos parâmetros de risco foi realizada uma Análise de Componentes Principais de Spearman (ACPs) pois os parâmetros não possuem unidades homogêneas precisando de normalização das variáveis para poderem ser correlacionadas. A ACPs permitiu a identificação de apenas dois parâmetros com correlação significativa (0,7748) sendo eles: área superficial e estimativa de geração de resíduos (Tabela 30).

Tabela 30 – Matrix de correlação de Spearman dos parâmetros técnicos das disposições finais do estado de Goiás.

Variáveis	Tipo de disposição	Área superficial	Geração de resíduos	Índice de Susceptibilidade	Declividade	Distância até o corpo d'água
Tipo de disposição	1	-0,2240	-0,3671	0,3915	0,0375	-0,1745
Área superficial	-0,2240	1	0,7748	0,1302	0,2631	-0,0714
Geração de resíduos	-0,3671	0,7748	1	0,0581	-0,1327	0,0895
Índice de Susceptibilidade	0,3915	0,1302	0,0581	1	0,0047	-0,3759
Declividade	0,0375	0,2631	-0,1327	0,0047	1	-0,4832
Distância até o corpo d'água	-0,1745	-0,0714	0,0895	-0,3759	-0,4832	1

Esta análise permitiu a verificação da interdependência dos parâmetros analisados. No caso da correlação identificada optou-se por manter os dois parâmetros visto que as DRS estudadas são todas classificadas como lixão, disposição desordenada de resíduos no local, conforme verificado na análise do parâmetro área superficial realizada anteriormente, item (c).

Esta interdependência permitiu a realização de uma outra etapa, a avaliação da exposição das BCS ao risco de contaminação de suas águas pela presença das DRS em suas áreas. Essa avaliação permitiu a valoração dos riscos obtidos e a comparação entre as DRS e suas respectivas características para uma melhor gestão desses locais. O cálculo desse risco (Tabela 31) foi realizado pelo somatório dos parâmetros analisados conforme realizado por Schueler e Mahler (2008).

O risco calculado para as 18 DRS variou de 15 a 27 (média de 19,39 e desvio padrão de 3,40) e permitiu uma discretização das informações em três classes de risco (baixo, médio e alto) com intervalos homogêneos conforme amostra analisada. (Tabela 32).

Tabela 31 – Risco de contaminação das águas por disposição final selecionada do estado de Goiás.

Município com disposição de resíduos sólidos urbanos	Tipo de disposição	Área superficial	Geração de resíduos	Índice de Susceptibilidade	Declividade	Distância até o corpo d'água	Risco
Acreúna	7	2	1	5	4	2	21
Aparecida do Rio Doce	7	1	1	4	2	3	18
Bom Jesus de Goiás	7	2	1	4	6	3	23
Britânia	7	1	1	5	1	1	16
Buriti Alegre	7	1	1	5	4	1	19
Buriti de Goiás	5	1	1	3	1	5	16
Cachoeira Dourada	7	1	1	4	7	1	21
Goiás	7	1	1	2	1	3	15
Itapirapuã	7	1	1	3	3	4	19
Itumbiara	7	4	4	6	1	3	25
Jataí	7	4	3	4	1	4	23
Jussara	7	1	1	4	1	2	16
Leopoldo de Bulhões	7	2	1	4	5	1	20
Matrinchã	7	1	1	5	1	4	19
Novo Brasil	7	1	1	5	1	3	18
Perolândia	7	1	1	4	1	2	16
Rio Verde	5	7	7	3	3	2	27
Santa Fé de Goiás	7	1	1	2	1	5	17

Tabela 32 – Classificação dos riscos de contaminação das águas das disposições finais do estado de Goiás.

Tipo de risco	Classe do risco	Frequência		Município com disposição de resíduos sólidos urbanos
		Absoluta	Relativa (%)	
Baixo	15 - 19	8	44,44	Aparecida do Rio Doce, Britânia, Buriti de Goiás, Goiás, Jussara, Novo Brasil, Perolândia e Santa Fé de Goiás.
Médio	19 - 23	6	33,33	Acreúna, Buriti Alegre, Cachoeira Dourada, Itapirapuã, Leopoldo de Bulhões e Matrinchã.
Alto	23 - 27	4	22,22	Bom Jesus de Goiás, Itumbiara, Jataí e Rio Verde.

Na classe de risco alto, três parâmetros tiveram pouca variação tornando as DRS homogêneas, sendo eles: i) tipo de DRS, antigo aterro a lixão (risco 5 a 7), ii) IS da DRS, baixa a elevada (risco 3 a 6) e iii) distância até o corpo d'água, 810 m a 488 m (risco 2 a 4).

No entanto, os parâmetros: iv) área superficial, 90.602 a 539.294 m² (risco 2 a 7) e v) geração de resíduos, 5.097 a 62.258 t./ano (risco de 1 a 7) tiveram grande variação. Observou-se que a quantidade de resíduos gerada e, conseqüentemente a de lixiviado é um importante fator de risco para a contaminação das águas embora não seja determinante visto que uma das DRS classificadas como de alto risco, entre elas Bom Jesus de Goiás, é um município de

pequeno porte com população menor que 50 mil habitantes.

Outra característica com grande variação entre as quatro DRS de alto risco foi a vi) declividade, 0,29 a 2,38% (risco de 1 a 6). Uma importante variável deste parâmetro é a distância da DRS até o ponto de captação de água para abastecimento público, apesar da possibilidade de contaminação das águas (superficiais ou subterrâneas) pelas DRS, o risco das mesmas atingirem as captações e conseqüentemente a população foi bem variável: de 1,8 km da DRS até o ponto de captação do município de Bom Jesus de Goiás e 106 km da DRS de Jataí até o ponto de captação do município de Caçu.

O método de vulnerabilidade aplicado, o IS, foi de grande importância para a avaliação das BCS do estado de Goiás. Esse método é abrangente e de baixo custo podendo ser utilizado para análises preventivas de contaminação por DRS e outras fontes que queiram ser estudadas.

Portanto, das 18 DRS estudadas e presentes nas nove BCS que apresentaram maior vulnerabilidade para a presença deste uso, recomenda-se priorizar a adequação ou remediação das DRS dos municípios de Bom Jesus de Goiás, Itumbiara, Jataí e Rio Verde, visto que tratam-se de lixões, sendo necessária a instalação de novos aterros em áreas menos vulneráveis ou realização de consórcios entre municípios para o tratamento e correta DRS. Essas áreas apresentam maior risco de contaminação das águas das BCS que abastecem os municípios de Bom Jesus de Goiás, Cachoeira Dourada, Caçu e Santa Helena de Goiás, respectivamente, estando localizadas na região Sul e Sudoeste Goiano.

6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

O presente estudo conclui que existem 204 BCS e 228 DRS no estado de Goiás, sendo que 93% das DRS estão em condições irregulares, classificadas como lixões. Foram identificadas 69 DRS localizadas nas delimitações de 43 BCS, que foram selecionadas para a análise de vulnerabilidade.

O IS mostrou-se eficaz e de grande relevância na identificação da vulnerabilidade. Por meio da vulnerabilidade média das 43 BCS foi possível a seleção de nove mais susceptíveis à contaminação ($IS > 50$) com presença de 18 DRS em suas áreas (sendo todos lixões), variando de uma a oito DRS em cada uma dessas bacias.

As 18 DRS foram analisadas, por meio seis parâmetros técnicos, quanto a sua influência de contaminação das águas, sendo eles: tipo de DRS, estimativa de geração de RSU, área superficial da DRS, declividade, IS da DRS e distância da DRS até o corpo d'água. Essa análise permitiu o cálculo do risco das DRS identificando as dos municípios de Bom Jesus de Goiás, Itumbiara, Jataí e Rio Verde como de risco mais alto (entre 23 e 27).

Conclui-se que as 18 DRS estudadas do estado de Goiás possuem risco de contaminação das águas das BCS, sendo que as quatro classificadas como de risco alto devem ser consideradas prioritárias em sua adequação ou remediação, visto que tratam-se de lixões. Será necessária a instalação de novos aterros em áreas menos vulneráveis ou a realização de consórcios entre municípios para o tratamento e correta DRS. Dessa forma, garantindo a qualidade da água utilizada para tratamento e posterior abastecimento público das BCS principalmente nos municípios de Bom Jesus de Goiás, Cachoeira Dourada, Caçu e Santa Helena de Goiás localizadas na região Sul e Sudoeste Goiano.

Recomenda-se que sejam pesquisados, em estudos futuros, os distritos do estado com as suas respectivas captações e todas as captações subterrâneas para avaliar o risco de contaminação desses recursos.

Para uma melhor precisão e acurácia dos dados obtidos pelo IS recomenda-se a realização de mapeamento mais detalhado para cada uma das características estudadas. A avaliação da vulnerabilidade utilizada deve ser validada e calibrada por estudos que utilizem métodos de: observação de campo de plumas de contaminação, técnicas geofísicas, análise isotópica de caracterização do transporte de lixiviado ou experiências de laboratório, o que fortaleceria a sua aplicação.

Para estudos de menor abrangência, recomenda-se a realização de estudo das vazões e tributários da BCS, além das declividades ao longo dos cursos d'água para avaliar o real impacto causado ao ponto de captação de abastecimento público com realização de análises laboratoriais de água que corroborem estes resultados.

7. REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, Rio de Janeiro, 1992. 7 p.

ALBUQUERQUE, M. T. D.; SANZ, G.; OLIVEIRA, S. F.; MARTÍNEZ-ALEGRÍA, R.; ANTUNES, I. M. H. R. Spatio-Temporal Groundwater Vulnerability Assessment - A Coupled Remote Sensing and GIS Approach for Historical Land Cover Reconstruction. **Water Resources Manage**, v. 27, p. 4509-4526, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11269-013-0422-0>>. Acesso em: 08 ago. 2015.

ALLER, L.; LEHR, J. H.; PETTY, R.; BENNETT, T. Drastic: A standardized system to evaluate ground water pollution potential using hydrogeologic settings. 1987. Disponível em: <<http://rdn.bc.ca/cms/wpattachments/wpID3175atID5999.pdf>>. Acesso em: 1º set. 2015.

ANA - Agência Nacional das Águas. Atlas Brasil: abastecimento urbano de água, 2010. Disponível em: <<http://atlas.ana.gov.br/atlas/forms/analise/Geral.aspx?est=12>>. Acesso em: 08 ago. 2015.

ANANE, M.; ABIDI, B.; LACHAAL, F.; LIMAM, A.; JELLALI, S. GIS-based DRASTIC, Pesticide DRASTIC and the Susceptibility Index (SI): comparative study for evaluation of pollution potential in the Nabeul-Hammamet shallow aquifer, Tunisia. **Hidrogeology Journal**, v. 21, p. 715-731, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10040-01300952-9>>. Acesso em: 30 maio 2016.

ARRUDA, P. N.; LIMA, A. S. C.; SCALIZE, P. S. Gestão dos serviços públicos de água e esgoto operados por municípios em Goiás, GO, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 11, n. 2, p. 362-376, 2016. ISSN 1980-993X. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4136/1980-993X>. Acesso em: 12 mar. 2016.

AZIZ, S. Q.; MAULOOD, Y. I. Contamination valuation of soil and groundwater source at anaerobic municipal solid waste landfill site. **Environ Monitoring and Assessment**, v. 187, n. 755, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10661-015-4971-y>>. Acesso em: 02 dez. 2016.

BARROS, R. T. de V. Elementos de resíduos sólidos. Belo Horizonte: Tessitura, 2012. 424 p. ISBN: 978-85-99745-36-6.

BORTOLIN, J. R. M.; MALAGUTTI FILHO, W. Método da eletrorresistividade aplicado no monitoramento temporal da pluma de contaminação em área de disposição de resíduos sólidos urbanos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 4, p. 367-374, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522010000400009>>. Acesso em: 15 abr. 2015.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Brasília, 2007. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm>. Acesso em: 05 set. 2016.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, p.1-21, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato20072010/2010/Lei/L12305.htm>. Acesso em: 10 jun. 2015.

BRASIL. Ministério das Cidades. Organização Pan-Americana da Saúde. Política e Plano de Saneamento Ambiental: experiências e recomendações. Brasília: Ministério das Cidades, 2ª ed., 2011. 148 p. ISBN: 978-85-7958-023-9.

BRASIL. Projeto de Lei nº 2.289, de 7 de julho de 2015. Prorroga o prazo para a disposição ambientalmente adequada dos rejeitos. Brasília, p.1-21, 2015. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato20072010/2010/Lei/L12305.htm>. Acesso em: 10 jun. 2015.

BRINDHA, K.; ELANGO, L. Cross comparison of five popular groundwater pollution vulnerability index approaches. **Journal of Hydrology**, v. 524, p. 597-613, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.03.003>>. Acesso em: 11 maio 2015.

CEMAM – Conselho Estadual do Meio Ambiente. Resolução nº 05, de 14 de março de 2014. Dispõe sobre os procedimentos de licenciamento ambiental dos projetos de disposição final dos resíduos sólidos urbanos, na modalidade aterro sanitário, nos municípios do estado de Goiás. Goiânia, 2014. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=267981>. Acesso em: 20 jan. 2017.

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2016.

OLIVEIRA, L. F. C.; NOGUEIRA, J. G.; FRIZZARIM, S. S.; FIA, R.; FREITAS, J. S.; FIA, F. R. L. Sorção e mobilidade do lítio em solos de áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos. **Engenharia Sanitária e Ambiental [online]**, v. 18, n. 2, p. 139-148, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522013000200006>>. Acesso em: 30 mar. 2016.

OLIVEIRA, B. O. S.; TUCCI, C. A. F.; NEVES JÚNIOR, A. F.; SANTOS, A. A. Avaliação dos solos e das águas nas áreas de influência de disposição de resíduos sólidos urbanos de Humaitá, Amazonas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 593-601, 2016.

Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522016133274>>. Acesso em: 23 jan. 2017.

DONG, W.; LIN, X.; DU, S.; ZHANG, Y.; CUI, L. Risk assessment of organic contamination in shallow groundwater around a leaching landfill site in Kaifeng, China. **Environmental Earth Sciences**, v. 74, n. 3, p. 2749-2756, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s12665-015-4669-z>>. Acesso em: 29 jan. 2016.

FADE/UFPE – Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco. Relatório final sobre as principais rotas tecnológicas de destinação de resíduos sólidos urbanos no exterior e no Brasil. Pesquisa científica BNDES FEP n° 02/2010, 2013. Disponível em: <<http://www.abetre.org.br/biblioteca/publicacoes/publicacoes-abetre/UFPEFADETecnologiasparaRSU2013.pdf>>. Acesso em: 30 mar. 2016.

FRANÇA, R. G.; RUARO, E. C. R. Diagnóstico da disposição final dos resíduos sólidos urbanos na região da Associação dos Municípios do Alto Irani (AMAI), Santa Catarina. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 14, n. 6, p. 2191-2197, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.159/S1413-8123200900600026>>. Acesso em: 24 jan. 2017.

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde. Manual de Saneamento. Brasília: Funasa, 4ª ed., 2015b. 642 p. ISBN: 978-85-7346-049-0.

GOIÁS. Lei nº 17.684, de 29 de junho de 2012. Estabelece normas para a localização de empreendimentos potencialmente poluidores junto a coleções hídricas no estado de Goiás. Goiânia, 2012. Disponível em: <http://www.gabinetecivil.go.gov.br/pagina_leis.php?id=10357>. Acesso em: 13 jun. 2016.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades@. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&coduf=52&search=goias>>. Acesso em: 04 out. 2016.

IMB - Instituto Mauro Borges de Estatísticas e Estudos Socioeconômicos. Atlas do Estado de Goiás, 2014. Disponível em: <<http://www.sieg.go.gov.br>>. Acesso em: 16 nov. 2016.

KJELDSEN, P.; CHISTENSEN T. H. Soil attenuation of acid phase landfill leachate. **Waste Management and Research**, v. 2, n. 3, p. 247-263, 1984. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1177/0734242X8400200129>>. Acesso em: 17 dez. 2015.

LI, Y.; LI, J.; CHEN, S.; DIAO, W. Establishing índices for groundwater contamination risk assessment in the vicinity of hazardous waste landfills in China. **Environmental Pollution**, v. 165, p. 77-90, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2011.12.042>>. Acesso em: 09 dez. 2016.

- LINHARES, F. M.; ALMEIDA, C. N.; SILANS, A. M. B. P.; COELHO, V. H. R. Avaliação da vulnerabilidade e do risco à contaminação das águas subterrâneas da bacia hidrográfica do rio Gramame (PB). **Sociedade & Natureza**, v. 26, n. 1, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1982-451320140110>>. Acesso em: 17 dez. 2016.
- MARQUES, R. F. de P. V.; DA SILVA, A. M.; RODRIGUES, L. dos S.; COELHO, G. Impacts of urban solid waste disposal on the quality of surface water in three cities of Minas Gerais – Brasil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 36, n. 6, p. 684-692, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542012000600010>>. Acesso em: 16 mar. 2016.
- MOHAMED, E. S.; SALEH, A. M.; BELAL, A. A. Sustainability indicators for agricultural land use based on GIS spatial modeling in North of Sinai-Egypt. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v. 17, n. 1, p. 1-15, 2014. ISSN 1110-9823. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrs.2014.05.001>>. Acesso em: 27 ago. 2015.
- MONDELLI, G.; GIACHETI, H. L.; HAMADA, J. Avaliação da contaminação no entorno de um aterro de resíduos sólidos urbanos com base em resultados de poços de monitoramento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 169-182, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41520201600100120706>>. Acesso em: 22 jan. 2017.
- PEREIRA, A. R.; SANTOS, A. A.; SILVA, W. T. P.; FROZZI, J. C.; PEIXOTO, K. L. G. Avaliação da qualidade da água superficial na área de influência de um lixão. **Ambiente & Água**, Taubaté, v. 8, n. 3, p. 239-246, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4136/ambiente-agua.1160>>. Acesso em: 27 ago. 2015.
- PINHEIRO, R. V. N.; RAMOS, A. C. B.; SCALIZE, P. S. Revisão de publicações científicas sobre contaminação de resíduos sólidos. In: XX EEMS – Exposição de Experiências Municipais em Saneamento. São Francisco do Sul, 2016. ISBN: 978-85-99947-16-6.
- RAMOS, A. C. B.; SCALIZE, P. S.; PINHEIRO, R. V. N. Cenário da contaminação por disposições de resíduos sólidos: uma revisão das publicações científicas brasileiras. In: 12º CONPEEX - Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão da UFG: Luz, Ciência e Vida. Goiânia, 2015. Disponível em: <http://www.proec.ufg.br/index.php?option=com_content&view=article&id=523%253Aanais-conpeex&catid=34%253Aextensao&Itemid=55>. Acesso em: 18 nov. 2015.
- RIBEIRO, L.; SERRA, E.; PARALTA, E.; NASCIMENTO, J. Nitrate pollution in hardrock formations: vulnerability and risk evaluation by geomathematical methods in Serpa-Brinches aquifer (South Portugal). In: Krasny, J., Hrkal, Z., Bruthans, J. (Eds), Proceedings of International Conference on Groundwater in Fractured Rocks: p. 377 - 378, 2003. Disponível em: <unesdoc.unesco.org/images/0013/001344/134431eb.pdf>. Acesso em: 23 set. 2015.
- ROWE, E. J.; CARDOSO, D. L. A utilização de mapas temáticos no diagnóstico de áreas suscetíveis à contaminação por percolado de aterro sanitário. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 4, p. 670-678, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162009000400017>>. Acesso em: 18 nov. 2015.

SCHUELER, A. S.; MAHLER, C. F. Sistema de avaliação para classificar áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos visando a remediação e a pós-ocupação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 249-254, 2008. ISSN 1413-4152. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v13n3/a02v13n3.pdf>> Acesso em: 29 jan. 2016.

SECIMA - Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos do Estado de Goiás. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Goiás, 2015a. Disponível em: <http://www.sgc.goias.gov.br/upload/arquivos/2016-01/p05_plano_estadual_de_recursos_hidricos_revfinal2016.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2016.

SECIMA - Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos do Estado de Goiás. Plano de Resíduos Sólidos do Estado de Goiás, Produto Final, 497 p., 2015b. Disponível em: <<http://www.egov.go.gov.br/secima/plano-estadual-de-residuos-solidos-produto-final.pdf>>. Acesso em: 16 nov. 2016.

SECIMA - Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos do Estado de Goiás. Nota Técnica – aterros sanitários municipais, 2015c. Disponível em: <<http://www.sgc.goias.gov.br/upload/arquivos/2015-11/nota-tecnica---aterros.pdf>>. Acesso em: 29 jan. 2016.

SNSA - Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos, 2014. Brasília: MCIDADES. SNSA, 2016, 154 p. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos/diagnostico-rs-2014>>. Acesso em: 29 nov. 2016.

SREEDEVI, P. D.; OWAIS, S.; KHAN, H. H.; AHMED, S. Morphometric analysis of a watershed of South India using SRTM data and GIS. **Journal of the Geological Society of India**, v. 73, p. 543-552, 2009. ISSN (versão impressa) 0016-7622, Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s12594-009-0038-4>>. Acesso em: 1º set. 2015.

STIGTER, T. Y.; RIBEIRO, L.; CARVALHO DILL, A. M. Evaluation of an intrinsic and a specific vulnerability assessment method in comparison with groundwater salinisation and nitrate contamination levels in two agricultural regions in the south of Portugal. **Hydrogeology Journal**, v. 14, n. 1-2, p. 79-99, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10040-004-0396-3>>. Acesso em: 04 maio 2015.

UMETSU, R. K.; PEREIRA, N.; CAMPOS, E. M. F. P. C.; UMETSU, C. A.; MENDONÇA, R. A. M. M.; BERNASCONI, P.; CAMARGO, M. F. Análise morfométrica e socioambiental de uma bacia hidrográfica Amazônica, Carlinda, MT. **Revista Árvore**, v. 36, n. 1, p. 83-92, 2012. ISSN 1806-9088. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622012000100010>>. Acesso em: 08 set. 2015.

VICTORINE NEH, A.; AKO AKO, A.; AYUK II, A. R., HOSONO, T. DRASTIC-GIS model for assessing vulnerability to pollution of the phreatic aquiferous formations in Douala-Cameroon. **Journal of African Earth Sciences**, v. 102, p. 180-190, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2014.11.001>>. Acesso em: 04 maio 2015.