

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL**

**IDENTIFICAÇÃO DE REGIÕES DE CAPTAÇÃO DE
ÁGUAS SUPERFICIAIS PARA ABASTECIMENTO
HUMANO VULNERÁVEIS À CONTAMINAÇÃO POR
ACIDENTES RODOVIÁRIOS COM TRANSPORTE DE
COMBUSTÍVEIS LÍQUIDOS NO DISTRITO FEDERAL**

BRUNA SOARES DO NASCIMENTO

ORIENTADOR: RICARDO TEZINI MINOTI

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA
AMBIENTAL**

BRASÍLIA/DF: novembro - 2021

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL**

**IDENTIFICAÇÃO DE REGIÕES DE CAPTAÇÃO DE
ÁGUAS SUPERFICIAIS PARA ABASTECIMENTO
HUMANO VULNERÁVEIS À CONTAMINAÇÃO POR
ACIDENTES RODOVIÁRIOS COM TRANSPORTE DE
COMBUSTÍVEIS LÍQUIDOS NO DISTRITO FEDERAL**

BRUNA SOARES DO NASCIMENTO

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA AMBIENTAL.

APROVADA POR:

**RICARDO TEZINI MINOTI, Dr. (ENC/FT/UNB)
(ORIENTADOR)**

**ELEUDO ESTEVES DE ARAUJO SILVA JUNIOR, Dr. (ENC/FT/UNB)
(EXAMINADORA INTERNO)**

**SANDRO ANTONIO DE LIMA, Bel. Eng. (Brasília Ambiental)
(EXAMINADOR EXTERNO)**

DATA: BRASÍLIA/DF, 10 DE NOVEMBRO DE 2021.

FICHA CATALOGRÁFICA

NASCIMENTO, BRUNA S.

IDENTIFICAÇÃO DE REGIÕES DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS PARA ABASTECIMENTO HUMANO VULNERÁVEIS À CONTAMINAÇÃO POR ACIDENTES RODOVIÁRIOS COM TRANSPORTE DE COMBUSTÍVEIS LÍQUIDOS NO DISTRITO FEDERAL

ix, 109 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2017)

Monografia de Projeto Final – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

- | | |
|---------------------|--------------------|
| 1. Vulnerabilidade | 2. Acidentes |
| 3. Captação de água | 4. Combustíveis |
| I. ENC/FT/UnB | II. Título (série) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

NASCIMENTO, B.S. (2021). IDENTIFICAÇÃO DE REGIÕES DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS PARA ABASTECIMENTO HUMANO VULNERÁVEIS À CONTAMINAÇÃO POR ACIDENTES RODOVIÁRIOS COM TRANSPORTE DE COMBUSTÍVEIS LÍQUIDOS NO DISTRITO FEDERAL. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, NÚMERO DE PÁGINAS p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Bruna Soares do Nascimento

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Identificação de Regiões de Captação de Águas Superficiais para Abastecimento Humano Vulneráveis à Contaminação por Acidentes Rodoviários com Transporte de Combustíveis Líquidos no Distrito Federal.

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2021

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

BRUNA SOARES DO NASCIMENTO

brunasoaresdonascimento@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, pelas muitas oportunidades colocadas em meu caminho, pela minha saúde e por me ajudar a passar por todos os obstáculos encontrados na graduação.

Aos meus pais, que sempre colocaram minha saúde e minha educação como prioridades e fizeram muitas das minhas oportunidades se concretizarem, mesmo tendo que sacrificar a si mesmos no processo. Obrigada por estarem sempre ao meu lado me apoiando e me motivando, fazendo o que fosse necessário para que eu atingisse meus objetivos, sem vocês eu não estaria aqui. Muito obrigada.

Ao meu irmão, que me motivou a estar na engenharia, a perseverar nas dificuldades, e sempre esteve ao meu lado, mesmo de longe.

Ao meu noivo, que esteve comigo por toda a jornada na universidade, que sempre me compreendeu e me motivou a não desistir, que percebe meus limites e está sempre disposto a me ajudar. Obrigada ao meu melhor amigo, meu companheiro para a vida e, mais recentemente, companheiro na jornada como pais.

Aos meus familiares e amigos, que me apoiaram e me incentivaram nessa longa caminhada. Obrigada por compreenderem minhas faltas em confraternizações e por fazerem minha vida mais completa.

Ao meu orientador, Ricardo Minoti, por aceitar embarcar comigo nesse grande desafio. Obrigada pelas conversas motivacionais, pela compreensão às várias situações e adversidades enfrentadas, pela paciência comigo e pelo empenho em sempre fazer o seu trabalho da melhor forma possível.

Aos professores com os quais tive contato, pelos muitos ensinamentos técnicos e, principalmente, pelos ensinamentos que não encontramos em livros. Obrigada por ajudar na formação da minha ética e moral como profissional e pelos muitos conselhos recebidos para ser uma Engenheira mais completa.

Agradeço ao Dr. Eleudo Esteves e ao Bel. Eng. Sandro de Lima por aceitarem de imediato e de bom grado serem membros da banca examinadora deste projeto.

Obrigada ao Brasília Ambiental por disponibilizar todos os dados solicitados e sanar todas as dúvidas que tive ao longo do projeto sobre eles.

E obrigada ao colega de profissão, Matheus Godinho, que iniciou esse estudo e esteve sempre disponível para ajudar, motivar e dar apoio em todos os processos.

RESUMO

O trabalho trata sobre a ocorrência de acidentes rodoviários com derramamento de combustíveis líquidos e as regiões mais vulneráveis a esses acidentes no âmbito de haver contaminação de águas para consumo humano no Distrito Federal. A motivação desse trabalho é a fragilidade do sistema de abastecimento de água frente a contaminações, principalmente após a grande crise hídrica ocorrida entre os anos 2016 e 2018. Essa crise trouxe um questionamento sobre a possível ocorrência de uma nova crise e sobre se o DF está preparado para isso. Junta-se a essa possibilidade, o fato de o Distrito Federal ser uma região complexa em termos de disponibilidade hídrica, com crescimento populacional muito acima do planejado, com rios com baixa vazão, com nascentes importantes e que devem ser preservadas, resultando, inclusive, em busca por água no estado do Goiás para o abastecimento da população do DF. Além disso, historicamente, os acidentes com o transporte de combustíveis nas vias e rodovias do DF são de grande representatividade frete a outros acidentes ambientais, reforçando a necessidade desse estudo. O Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal (Brasília Ambiental) vem aplicando o Plano Nacional de Prevenção, Preparação e Resposta Rápida a Emergências Ambientais com Produtos Químicos Perigosos (P2R2) no Distrito Federal, havendo a necessidade de mapeamento de áreas vulneráveis a essas emergências, tornando este projeto uma ferramenta no auxílio a prevenção e resposta aos acidentes ambientais desse tipo no DF. Para tanto, utilizou-se uma adaptação da Metodologia para Identificação, Caracterização e Mapeamento de Áreas de Risco Ambiental do P2R2 do Ministério do Meio Ambiente, juntamente com o Método de Processo de Análise Hierárquica (AHP) aplicado no Geoprocessamento para a produção de um mapa do DF separado por regiões com graus de vulnerabilidade, considerando as chances de ocorrência do acidente e da vulnerabilidade que esse acidente poderia causar no abastecimento de água para consumo humano no DF. Esse mapa ajuda na identificação de áreas em que se deve ter maior atenção para evitar os acidentes e em que se deve ter unidades de resposta próximas.

Palavras-chave: Vulnerabilidade, Acidentes Ambientais, Transporte de combustíveis, Captação de água, consumo humano, Distrito Federal.

ABSTRACT

The work deals with the occurrence of road accidents with spillage of liquid fuels and the regions most vulnerable to these accidents within the scope of contamination of water for human consumption in the Federal District. The motivation for this work is the fragility of the water supply system in the face of contamination, especially after the great water crisis that occurred between 2016 and 2018. This crisis brought a questioning about the possible occurrence of a new crisis and about whether the DF is prepared for it. Added to this possibility, the fact that the Federal District is a complex region in terms of water availability, with population growth much above planned, with low flowing rivers, with important springs that must be preserved, even resulting in search of water in the state of Goiás to supply the population of the DF. In addition, historically, accidents involving the transport of fuel on the roads and highways of the DF are highly representative compared to other environmental accidents, reinforcing the need for this study. The Brasília Environmental Institute (Brasília Ambiental) has been applying the National Plan for Prevention, Preparation and Rapid Response to Environmental Emergencies with Hazardous Chemicals (P2R2) in the Federal District, with the need to map vulnerable areas to these emergencies, making this project a tool in aiding the prevention and response to environmental accidents of this type in the DF. Therefore, an adaptation of the P2R2 Environmental Risk Areas Identification, Characterization and Mapping Methodology of the Ministry of the Environment was used, together with the Hierarchical Analysis Process Method (AHP) applied in Geoprocessing to produce a map of the DF separated by regions with degrees of vulnerability, considering the chances of the accident occurring and the vulnerability that this accident could cause in the water supply for human consumption in the DF. This map helps to identify areas where should pay more attention to avoid accidents and where you should have response units nearby.

Keywords: Vulnerability, Environmental Accidents, Fuel transport, Water abstraction, Human consumption, Distrito Federal.

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO.....	1
2 – OBJETIVOS	4
2.1 - OBJETIVO GERAL	4
2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA ...	5
3.1 - VULNERABILIDADE AMBIENTAL.....	5
3.1.1. Vulnerabilidade Ambiental e Transporte de Combustíveis.....	5
3.1.2. Vulnerabilidade Ambiental e SIG	6
3.2 - MARCO CONCEITUAL DOS ACIDENTES AMBIENTAIS.....	6
3.3 - ACIDENTES AMBIENTAIS.....	8
3.3.1. Combustíveis Líquidos no DF	9
3.3.2. Transporte de Combustíveis no DF	12
3.4. PREPARAÇÃO E RESPOSTA A ACIDENTES AMBIENTAIS	14
3.4.1. Plano Nacional de Prevenção, Preparação e Resposta Rápida a Acidentes Ambientais - P2R2	14
3.4.2. Plano Nacional de Contingência para Incidentes de Poluição por Óleo em Águas sob Jurisdição Nacional (PNC).....	16
3.4.3. Unidades de resposta no DF – Corpo de Bombeiros Militar.....	17
3.5. GEOPROCESSAMENTO.....	19
3.5.1. Georreferenciamento	21
3.6. AHP – PROCESSO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA	21
3.6.1. Análise de Multicritério.....	21
3.6.2. AHP	22
3.6.3. Uso de AHP em SIG - Exemplos	25
4 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	26
4.1. CLIMA	27
4.2. GEOMORFOLOGIA E DECLIVIDADE	31
4.3. PEDOLOGIA.....	35
4.4. USO E COBERTURA DO SOLO.....	38
4.5. RECURSOS HÍDRICOS	40
4.6. CAPTAÇÃO DE ÁGUA NO DISTRITO FEDERAL	43

5 - MATERIAIS E MÉTODOS	47
5.2. PROGRAMAS COMPUTACIONAIS	49
5.3. GERAÇÃO DE MAPA DE VULNERABILIDADE DE ACIDENTES AMBIENTAIS RODOVIÁRIOS NO DF	50
5.3.1. Método de Ponderação	52
5.3.1.1. Critérios e Subcritérios	54
5.3.1.2. Prioridade Composta	56
5.3.2. Mapas de dados iniciais	57
5.3.3. Definição dos critérios.....	66
5.3.4. Definição dos pesos dos critérios a partir do método AHP.....	71
5.3.5. Definição dos subcritérios	72
5.3.6. Pesos dos Subcritérios	74
5.3.7. AHP Aplicado ao SIG	77
6 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	78
7 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	85
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Gráfico de representatividade de compra de combustíveis no DF no ano de 2019.	10
Figura 3.2 - Fluxo logístico de combustíveis para a região Centro-Oeste (Fonte: ANP, 2015).	12
Figura 3.3 - Principais vias do Distrito Federal (Fonte: GIFEX, 2021).	13
Figura 3.4 – Mancha de óleo diesel no Lago paranoá (G1, 2016).	14
Figura 3.5 - Localização das Unidades Operacionais do Corpo de Bombeiro Militar do Distrito Federal (Fonte: CBM/DF, Elaboração: Bruna Soares).	19
Figura 3.6 - Representação vetorial e matricial (Fonte: CÂMARA, DAVIS e MONTEIRO, 2001).	21
Figura 3.7 - Exemplo de organograma no método AHP.	25
Figura 4.1 - Localização do Distrito Federal (Fonte: CODEPLAN, 2020a).	26
Figura 4.2 - Classificação Climática de Köppen (Adaptado Wikipedia, 2021).	28
Figura 4.3 - Gráfico das temperaturas médias mensais entre anos de 1981 a 2010 no DF (Fonte: INMET, 2021).	28
Figura 4.4 - Gráfico das temperaturas máximas mensais entre anos de 1981 a 2010 no DF (Fonte: INMET, 2021).	29
Figura 4.5 - Gráfico das temperaturas mínimas mensais entre anos de 1981 a 2010 no DF (Fonte: INMET, 2021).	29
Figura 4.6 - Tipos climáticos do Distrito Federal, de acordo com a classificação de Köppen (Fonte: CODEPLAN, 2020b).	30
Figura 4.7 - Gráfico de precipitação acumulada média mensal de 1981 a 2010 (Fonte: INMET, 2021).	31
Figura 4.8 - Mapa de Altimetria do Distrito Federal (Fonte: CODEPLAN, 2020b).	32
Figura 4.9 - Mapa geomorfológico do Distrito Federal (Fonte: CODEPLAN, 2020b).	33
Figura 4.10 - Mapa de declividade do Distrito Federal (Fonte: CODEPLAN, 2020b).	34
Figura 4.11 - Mapa pedológico do Distrito Federal (Fonte: CODEPLAN, 2020b).	37
Figura 4.12 - Mapa de vegetação e Uso do Solo no DF (Fonte: Godinho, 2019).	38
Figura 4.13 - Bacias hidrográficas do Distrito Federal (Fonte: SEMA, 2016).	42
Figura 4.14 - Unidades Hidrográficas e divisão das Bacias Hidrográficas do Distrito Federal (Fonte: Adasa, 2020).	42
Figura 4.15: Localização dos Sistemas de Abastecimento do Distrito Federal e dos pontos de captação superficial, subterrânea e reservatórios de água (Fonte: Adasa, 2019).	45
Figura 4.16: Pontos de captação de água superficial (Fonte: Adasa, 2020).	46
Figura 5.1 - Fluxograma da Metodologia.	47
Figura 5.2 - Fluxograma de alinhamento da metodologia adotada no presente trabalho à estratégia de mapeamento do P2R2.	51
Figura 5.3 - Proposta de estrutura hierárquica do presente trabalho.	53
Figura 5.4 - Exemplo de cálculo de uma das etapas do AHP.	56
Figura 5.5 - Mapa Pedológico do Distrito Federal.	58
Figura 5.6 - Mapa de Declividade do Distrito Federal.	59
Figura 5.7 - Mapa Geomorfológico do Distrito Federal.	60
Figura 5.8 - Mapa de corpos hídricos superficiais do Distrito Federal.	61
Figura 5.9 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo do Distrito Federal do ano de 2020.	62
Figura 5.10 - Pontos de captação superficial para abastecimento humano no DF.	63
Figura 5.11 - Malha Rodoviária do Distrito Federal no ano de 2019.	63
Figura 5.12 - Mapa de contaminação ambiental no DF monitorados de 2008 a 2021.	64
Figura 5.13 - Mapa de acidentes ambientais ocorridos no DF de 2008 a 2021.	65

Figura 5.14 - Unidades de Resposta Rápida do Distrito Federal.....	65
Figura 5.15 - Distribuição dos Acidentes Ambientais no DF.	67
Figura 5.16 - Foco nos três acidentes com transporte de combustíveis líquidos ocorridos na BR 020.....	67
Figura 5.17 - Matriz de comparação dos Critérios.	71
Figura 5.18 - Fluxograma da aplicação da metodologia AHP dos pesos no nível II e III de hierarquia no software de GIS.	77
Figura 6.1 - Fluxograma de processos para a geração do Mapa de Vulnerabilidade (AHP + SIG).	79
Figura 6.2 – Camadas de Critérios utilizadas para a geração do Mapa Final.....	80
Figura 6.3 - Mapa Final de Vulnerabilidade.	82
Figura 6.4 - Comparação de resultados obtidos no presente trabalho (A).	84
Figura 6.5 - Mapa de Vulnerabilidade Final e Unidades do Corpo de Bombeiros do Distrito Federal.	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Pesos calculados para cada fator na análise de vulnerabilidade ambiental (Fonte: Costa, 2006).....	6
Tabela 3.2 - Definições das intensidades de importância no método AHP (Fonte: Saaty, 2008).....	23
Tabela 3.3 - Exemplo de matriz comparativa no método AHP.....	23
Tabela 4.1- Características dos compartimentos geomorfológicos do Distrito Federal.....	33
Tabela 5.1 - Base de dados para o mapa de vulnerabilidade e órgãos as forneceram.	49
Tabela 5.2 - Definições das intensidades de importância no método AHP (Fonte: Saaty, 2008).....	54
Tabela 5.3 - Exemplo da matriz absoluta de possíveis prioridades dos critérios do presente trabalho.	54
Tabela 5.4 - Exemplo de matriz normalizada no Método AHP.	55
Tabela 5.5 - Cálculo de λ no método AHP.....	56
Tabela 5.6 - Exemplo genérico do resultado esperado do uso do método AHP	57
Tabela 5.7 - Prioridades dos Critérios.	68
Tabela 5.8 - Graus de importância de cada critério.....	71
Tabela 5.9 - Pesos dos critérios.	72
Tabela 5.10 - Resultado final dos pesos atribuídos a cada Critério e Subcritério, bem como sua união, como visto na última coluna.....	75
Tabela 5.11 - Pesos absolutos adequados para aplicação no SIG.	76

LISTA DE ABREVIACÕES, NOMENCLATURA E SÍMBOLOS

Adasa – Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal

ANA – Agência Nacional de Águas

Agefis – Agência de Fiscalização

AHP – *Analytic Hierarchy Process* (Processo de Análise Hierárquica)

ANP – Agência Nacional do Petróleo

ANTT – Agencia Nacional de Transporte Terrestre

BA – Bahia

BTEX – Grupo de compostos formado pelos hidrocarbonetos: benzeno, tolueno, etilbenzeno e os xilenos.

Caesb – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal

CBMDF – Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal

CD-P2R2 – Comissão Distrital do Plano Nacional de Prevenção, Preparação e Resposta Rápida a Emergências Ambientais com Produtos Químicos Perigosos

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CODEPLAN – Companhia de Desenvolvimento do Distrito Federal

Conama – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DER – Departamento de Estradas de Rodagem

Detran/DF – Departamento de Trânsito do Distrito Federal

DF – Distrito Federal

Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPI – Equipamento de Proteção Individual

FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

GBM – Grupamento de Bombeiro Militar

GDF – Governo do Distrito Federal

GIS – Geographic Information System

GLP – Gás Liquefeito sob Pressão

GTs – Grupos de Trabalho

HPA – Hidrocarboneto Policíclico Aromático

Ibama – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

Brasília Ambiental – Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDH – Índice de Desenvolvimento Humano

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

Inmetro – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPTU – Imposto Predial e Territorial Urbano

IV – Índice de Vulnerabilidade

Ki – Índice de intemperismo do solo

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MTPA – Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil

NFPA – National Fire Protection Association

PA – Pará

PF1 – Projeto Final 1

PF2 – Projeto Final 2

PIB – Produto Interno Bruto

PMDF – Polícia Militar do Distrito Federal

PNC – Plano Nacional de Contingência para Incidentes de Poluição por Óleo em Águas sob Jurisdição Nacional

PNMA – Política Nacional do Meio Ambiente

PR – Paraná

P2R2 – Plano Nacional de Prevenção, Preparação e Resposta Rápida a Emergências Ambientais com Produtos Químicos Perigosos

QAV – Querosene de Aviação

RAs – Regiões Administrativas

SAA – Sistemas de Abastecimento de Água

Sabesp – Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo

SEDUH/DF – Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação do Distrito Federal

SEMA/DF – Secretaria do Meio Ambiente do Distrito Federal

SES/DF – Secretaria de Estado de Saúde do Distrito Federal

SIG – Sistemas de Informações Geográficas

SSP/DF – Secretaria de Estado de Segurança Pública e da Paz Social do Distrito Federal

Sisnama – Sistema Nacional do Meio Ambiente

WWF-Brasil – *World Wide Fund* - Brasil

1. INTRODUÇÃO

Há pouco mais de sessenta anos, Brasília passou a ser a capital do Brasil, tornando-se a sede do governo federal e o centro político do país. Devido à grande oferta de trabalho na região, recebeu e recebe imigrantes de diversas regiões do país, havendo significativo aumento populacional no DF nas últimas décadas levando também ao aumento na demanda por água, alimento e energia.

É sabido que para o bom funcionamento de qualquer sociedade a disponibilidade de água é essencial. O território do Distrito Federal abrange sete bacias hidrográficas: Bacia do Rio Descoberto, Bacia do Rio Bacia do Rio São Bartolomeu, Bacia do Lago Paranoá, Bacia do Rio Maranhão, Bacia do Rio Preto, Bacia do Rio São Marcos e Bacia do Rio Corumbá. O alto crescimento demográfico das últimas décadas, em parte dessas bacias hidrográficas, coloca o Distrito Federal sob risco hidroambiental, podendo levar a uma escassez qualitativa (por má qualidade da água devido a algum tipo de contaminação, tornando-a imprópria para diferentes usos, tais como abastecimento humano, recreação de contato primário, dessedentação animal, entre outros) ou quantitativa (redução da quantidade de água disponível para captação), ou ambas.

Havendo todas essas bacias hidrográficas, captação de água para abastecimento no DF é majoritariamente superficial, levando a maior necessidade de monitoramento desses mananciais, tanto em termos de quantidade, que está associado também à uma sazonalidade, quanto em termos de qualidade, devido a sua exposição maior a contaminação – que podem ocorrer de diversas formas, seja por escoamento de agrotóxicos ou fertilizantes de atividades agropecuárias, seja por despejo inadequado de resíduos industriais, seja por despejo inadequado de esgoto sanitário, ou até mesmo por acidente.

O DF passou por uma crise hídrica de elevada complexidade e difícil solução nos anos de 2016, 2017 e 2018. Os motivos que levaram a essa crise foram diversos, tais como: a ocorrência de baixas precipitações em anos seguidos, que pode ter sido motivada pelas mudanças climáticas, o aumento das demandas frente à expansão das atividades agrícolas e

do aumento populacional, o desmatamento de áreas naturais e a falta de preparo da gestão com a expansão das fontes de água para abastecimento humano. Além disso, nos anos de 2015, 2016 e 2017, o Distrito Federal vinha enfrentando pluviosidade abaixo da média e redução das vazões dos três principais tributários no período seco: o Rio Descoberto, o Ribeirão Rodeador e o Ribeirão das Pedras (BRASÍLIA AMBIENTAL, 2017).

No intuito de gerar uma resposta à crise hídrica, o Governo do DF intensificou suas políticas públicas e seus instrumentos de gestão de recursos hídricos em todas as áreas de atuação. Dentre outras medidas tomadas pelo GDF, estavam a suspensão a perfurações de poços, a suspensão à captação de água por caminhões pipa, a elaboração do plano de captação emergencial de água do Lago Paranoá, ações de monitoramento de quantidade e qualidade dos recursos hídricos, a implantação de restrições de uso da água, a redução na pressão da rede de distribuição de água, a aplicação de tecnologias poupadoras de água no meio rural, a contratação de serviços de engenharia para revitalização dos canais de abastecimento dos reservatórios afetados pela crise hídrica, o uso de novos modelos experimentais de manejo de irrigação para agricultores e a imposição de um esquema de racionamento de água nas Regiões Administrativas (BRASÍLIA AMBIENTAL, 2017).

Além das medidas de mitigação já citadas, são necessárias medidas de preservação e proteção dos mananciais. Uma das preocupações com essa preservação corresponde ao modal de transporte do DF, que, assim como predominante no restante do país, é o rodoviário. E essas intersecções das vias com os mananciais podem trazer contaminações e prejudicar o abastecimento no Distrito Federal.

Com o alto crescimento populacional da capital do país, houve também grande aumento na frota de veículos transitando no DF, não se tratando somente de automóveis, mas também de veículos de transporte de cargas. Parte dessas cargas são consideradas perigosas, que dentre outras classificações, podem ser corrosivas, oxidantes, radioativas, ou inflamáveis, como é o caso dos combustíveis líquidos. O enfoque nesse tipo de carga (combustíveis líquidos) para o presente estudo ocorre devido ao grande uso de combustíveis líquidos para o funcionamento da atual mobilidade urbana no DF e à alta periculosidade no seu transporte, devido a sua alta capacidade de contaminação dos corpos hídricos. Acidentes

envolvendo o transporte de combustíveis líquidos próximos a mananciais de captação de água para abastecimento humano podem acarretar em grandes prejuízos ao Meio Ambiente, podendo impactar os ambientes aquáticos superficiais e gerar, como uma das consequências, a escassez qualitativa de água para o abastecimento humano.

Nos últimos anos, observou-se uma redução dos acidentes rodoviários no país, apesar disso, os números de acidentes ainda são alarmantes: em 2018 houve 69.200 mil acidentes nas rodovias federais do Brasil (MINFRA, 2018) e em 2017 houve 29.717 acidentes com caminhões em rodovias federais do Brasil (MTPA, 2017). Em 2018, um acidente rodoviário em Águas Claras, uma região administrativa do Distrito Federal, chamou a atenção para a contaminação dos corpos hídricos no DF: um caminhão tanque tombou e houve derramamento de 6 mil litros de combustível, considerável parte do combustível escorreu para o córrego Samambaia, um dos afluentes do lago Paranoá. Este acidente não atrapalhou o abastecimento de água na região, mas trouxe um questionamento importantíssimo quanto à preparação do sistema público de resposta a acidentes ambientais em rodovias no DF e à fragilidade e exposição dos mananciais de abastecimento.

Apesar de o termo “acidente” corresponder a algo inesperado, existem formas de reduzir as probabilidades de ocorrência de acidentes ambientais, e a identificação de zonas de maior vulnerabilidade ambiental é uma das primeiras medidas a serem tomadas para a efetividade das ações de prevenção desses acidentes e de remediação, caso eles ocorram.

Quanto à organização, o presente trabalho está estruturado com base nos seguintes capítulos: (2) Objetivos Geral e Específicos; (3) Fundamentação Teórica e Revisão Bibliográfica; (4) Caracterização da Área de Estudo (5) Materiais e Métodos; (6) Resultados e Discussão; (7) Conclusões e Recomendações e, por último, as Referências Bibliográficas.

2. OBJETIVOS

2.1 - OBJETIVO GERAL

Identificar e mapear zonas de maior vulnerabilidade à contaminação de mananciais de abastecimento humano no Distrito Federal por acidentes com transporte rodoviário de combustíveis líquidos.

2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estabelecer critérios técnicos para a identificação de áreas mais suscetíveis à contaminação de mananciais de abastecimento humano por acidentes rodoviários no Distrito Federal.
- Desenvolver mapa de vulnerabilidade à contaminação de mananciais de abastecimento humano a partir do histórico de acidentes rodoviários envolvendo o transporte desse tipo de contaminante no DF.
- Indicar regiões prioritárias para as ações de prevenção, preparação e resposta rápida às emergências ambientais.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 - VULNERABILIDADE AMBIENTAL

Na área ambiental, os conceitos de Risco e de Vulnerabilidade por vezes são confundidos entre si. O Risco Ambiental está associado a probabilidade de ocorrência de um evento com determinada magnitude em um sistema, levando a uma perturbação desse sistema com relação a seu estado anterior, esse evento pode ter sido previsto ou não. Já a Vulnerabilidade pode ser entendida como o grau de suscetibilidade ou incapacidade de um sistema natural lidar com os efeitos de ações externas, podendo ser causadas por características ambientais naturais ou por interferência antrópica, ou até mesmo devido a uma baixa resiliência do sistema (AQUINO et al., 2017). A vulnerabilidade ambiental pode ser analisada para diversos fins, tais como promover o planejamento ambiental, ajudar na gestão territorial, ajudar na recuperação de áreas degradadas, prevenir danos ambientais.

Klais (2012) utiliza como fatores decisivos de vulnerabilidade de sua região de estudo a geologia, a aptidão dos solos, a declividade e o uso e ocupação do solo. Nesse caso, foi atribuído valores mais altos de vulnerabilidade a regiões com mais intensa atividade antrópica, maior declividade do terreno e maior aptidão para uso do solo com lavouras.

3.1.1. Vulnerabilidade Ambiental e Transporte de Combustíveis

Pedro (2009) definiu uma dependência da vulnerabilidade ambiental associada ao transporte de combustíveis com a rede de drenagem, bem como com o uso da terra e com a textura do solo. A vulnerabilidade na rede de drenagem em caso de derramamento de combustíveis seria maior nos rios e menor nos lagos, represas e drenagens superficiais, utilizando os critérios de volume de água e de extensão do impacto causado pelo acidente.

Com relação ao uso do solo, a vulnerabilidade seria maior em ambientes que tivessem mais biodiversidade sob ameaça, como matas, matas de galeria e várzeas, e vulnerabilidade menor em solos expostos, devido à alta degradação já existente. E em relação a textura do solo, solos argilosos teriam menor vulnerabilidade devido a velocidade menor de infiltração por

líquidos, e solos hidromórficos teriam maior vulnerabilidade devido a sua proximidade com o lençol freático (PEDRO, 2009).

3.1.2. Vulnerabilidade Ambiental e SIG

Costa, (2006) utiliza do SIG para geração de um mapa de vulnerabilidade ambiental de determinada região, para tanto, ele realizou o cruzamento de mapas temáticos das classes, que separou em: Vegetação, Solos, Geologia e Geomorfologia. O resultado desse cruzamento teve como resultado um mapa de vulnerabilidade natural, que foi cruzado com o mapa de uso e ocupação do solo, resultando no mapa de vulnerabilidade ambiental. Foram atribuídos pesos aos fatores determinantes na análise, como pode ser visto na Tabela 3.1 .O uso de SIG proporciona esses cruzamentos de dados georreferenciados, proporcionando também maior flexibilidade em sua análise e a obtenção de um produto de mais fácil visualização.

Tabela 3.1 - Pesos calculados para cada fator na análise de vulnerabilidade ambiental (Fonte: Costa, 2006).

FATOR				
Geomorfologia	Geologia	Solos	Vegetação	Uso e Ocupação do Solo
0,2	0,1	0,1	0,1	0,5

3.2 - MARCO CONCEITUAL DOS ACIDENTES AMBIENTAIS

Consta a seguir definições de conceitos importantes para o entendimento desse trabalho, baseados em fontes renomadas na área Ambiental, uma vez que nem sempre a definição de determinado termo é a mesma para diferentes áreas de estudo.

Acidente ambiental: evento que não planejado, de caráter indesejado, que possa causar danos ao meio ambiente e à saúde pública, e prejuízos sociais e econômicos, de forma direta ou indireta (IBAMA, 2014).

O Meio ambiente “é conjunto de condições, leis, influência e interações de ordem física, química, biológica, social, cultural e urbanística, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas” (CONAMA, 2002).

Contaminação: é a presença de substância(s) química(s) no ar, água ou solo, que tenham sido causadas pelo ser humano, podendo estar presentes no meio em concentrações tais que não permitam o uso desse recurso ambiental para os usos na atualidade ou uso futuro, podendo causar risco à saúde humana ou animal, e a bens a serem protegidos pela sociedade (CONAMA, 2009).

Áreas contaminadas: são locais ou regiões nos quais o ser humano introduziu substâncias químicas ou resíduos, de forma acidental ou natural, que causam ou possam causar danos à saúde humana, ao meio ambiente ou a outros bens protegidos. (MMA, 2021a)

Risco: probabilidade de ocorrência de efeitos provenientes de exposição a incidente(s), e aos danos que ele(s) cause(m) ou possa(m) causar (SABESP, 2014)

Áreas de risco ambiental: áreas sob exposição a eventos/incidentes que causem danos ao meio ambiente.

Remediação: “é uma das ações de intervenção para reabilitação de área contaminada, que consiste em aplicação de técnicas, visando a remoção, contenção ou redução das concentrações de contaminantes” (CONAMA, 2009).

Unidades de resposta: são locais com recursos necessários para atendimento de emergências. É de interesse para o presente trabalho unidades de resposta que atendam acidentes ambientais, como Corpo de Bombeiros e Polícia Rodoviária Federal.

Mananciais: são fontes de água utilizadas para abastecimento humano, podendo ser usadas para consumo ou para desenvolvimento econômico da sociedade. Esses mananciais podem ser superficiais ou subterrâneos (MMA, 2021b). O presente trabalho tem como foco os mananciais de abastecimento superficiais.

3.3 - ACIDENTES AMBIENTAIS

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2021c), as emergências ambientais envolvendo produtos químicos perigosos normalmente ocorrem durante transporte desses produtos.

Neste subcapítulo será dada uma introdução da situação atual do Brasil e do Distrito Federal em relação aos acidentes ambientais envolvendo transporte de combustíveis líquidos, incluindo resoluções e artigos pertinentes a esse contexto. Os principais órgãos presentes nessa descrição serão a ANTT – Agência Nacional de Transporte Terrestre, que regulamenta atividades de uso e exploração das ferrovias e rodovias federais, bem como a prestação de serviços de transporte terrestre e a ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, que contém uma ampla base de dados dos combustíveis presentes no Brasil.

Dentro das atribuições da ANTT está a regulamentação de transporte de produtos perigosos, buscando a segurança das pessoas envolvidas no transporte e das pessoas que eventualmente se envolvam em acidentes com os caminhões de carga e buscando a preservação do meio ambiente.

Os produtos perigosos devem ser embalados e identificados, e sua embalagem deve ser certificada pelo Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia). Os produtos perigosos são identificados com números ONU e com nomes apropriados para embarque de acordo com sua classificação de risco e sua composição (ANTT, 2016).

O transporte deve ser feito em veículos de transporte a granel devidamente certificados e adequados, com equipamentos e dispositivos de segurança e com as identificações corretas; o motorista deve ter sido aprovado em curso específico cabível ao tipo de produto transportado e ter treinamento para situações de risco (ANTT, 2019).

De acordo com a Resolução Nº 5.848 de 2019, em caso de acidente ou avaria no transporte do produto perigoso, as pessoas envolvidas devem fazer uso do EPI e do equipamento para situação de emergência, e, se necessário, avisar ao transportador, ao expedidor e às Unidades de Resposta Rápida.

3.3.1. Combustíveis Líquidos no DF

De acordo com o Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2020 da Agencia Nacional de Transportes, existem quatro bases de distribuição de combustíveis no Distrito Federal, com exceção de GLP. O Anuário também traz importantes informações acerca das vendas de combustíveis às Unidades da Federação, incluindo do Distrito Federal: segundo ele, no ano de 2019, houve a compra de cerca de 376.000 m³ de óleo diesel, 1.123.000 m³ de gasolina comum, 710 m³ de óleo combustível, 450.842 m³ de querosene de aviação (QAV) - sendo o terceiro estado com maior consumo desse combustível no ano de 2019-, 164 m³ gasolina de aviação, 177.840 m³ de Etanol Hidratado, e no mesmo ano haviam 323 postos revendedores de combustíveis no DF.

É possível notar na Figura 3.1 que a maior quantidade de combustíveis comprados pelo DF no ano de 2019 foi de Gasolina Comum, seguida de QAV, seguida de Óleo Diesel, seguida de Etanol Hidratado.

Após analisar as especificações da ANTT sobre as classificações dos contaminantes, pôde-se concluir que os combustíveis líquidos mais comuns no DF (destilados de petróleo, derivados de petróleo, álcoois) são classificados como poluentes líquidos e Líquidos Inflamáveis, estando na Classe 3, segundo a ANTT (2016). Esses líquidos inflamáveis podem ser líquidos, misturas de líquidos ou líquidos contendo sólidos em solução ou em

suspensão que produzam vapor inflamável a temperaturas de até 60°C ou de até 65,6°C, em ensaios de vaso fechado ou aberto, respectivamente (ANTT, 2016).

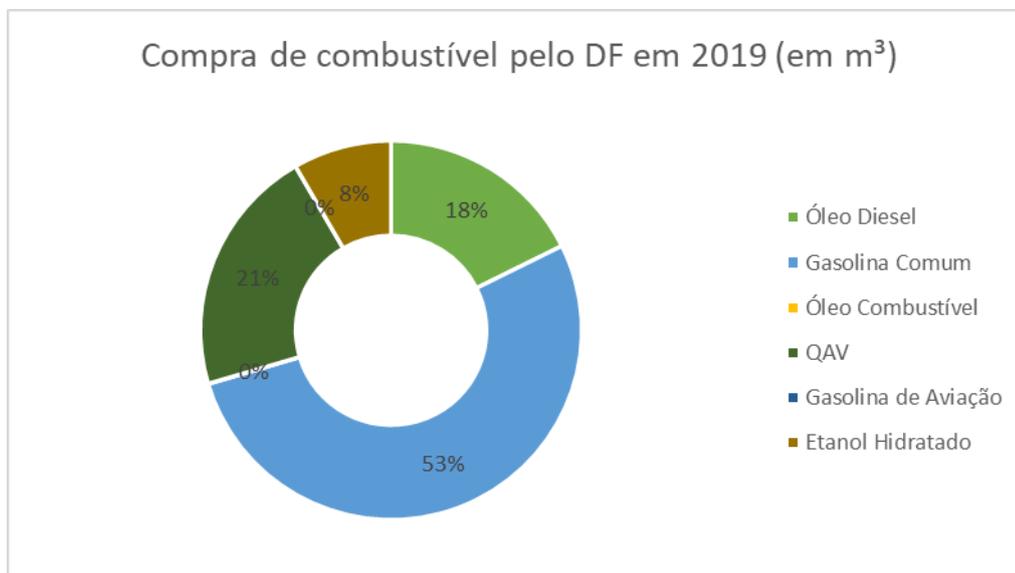


Figura 3.1 - Gráfico de representatividade de compra de combustíveis no DF no ano de 2019.

Como visto anteriormente, os combustíveis mais comprados pelo Distrito Federal são a Gasolina Comum, a Querosene de Aviação, o Óleo Diesel, o Etanol Hidratado, o Óleo Combustível e a Gasolina de Aviação, os dois últimos em quantidade muito pequena. Esses combustíveis quando em contato com os corpos aquáticos alteram as características naturais deles. A ocorrência de acidentes assim pode matar os seres vivos aquático diretamente, pode causar bioacumulação, pode se estender por vários níveis tróficos, com possibilidade de chegar aos seres humanos, tanto pela biomagnificação quanto por consumo direto da água contaminada.

O Petróleo e os combustíveis derivados de petróleo são formados por muitos hidrocarbonetos, de variados pesos moleculares. Após o processo de destilação, chega-se a três subprodutos do petróleo: as gasolinas, os destilados médios e os óleos combustíveis pesados (VIVIAN, 2015). Dentre os combustíveis citados acima como os mais consumidos no DF todos são subprodutos do petróleo, com exceção do Etanol.

Os hidrocarbonetos são compostos orgânicos formados por átomos de carbono e de oxigênio, podendo ser separados em alifáticos e aromáticos. Os alcanos, os cicloalcanos e os alcenos compõem os hidrocarbonetos alifáticos, enquanto que os hidrocarbonetos aromáticos são compostos por monoaromáticos, com compostos do grupo BTEX, e poliaromáticos, HPA (VIVIAN, 2015).

Dentre outras propriedades, a densidade, a viscosidade dinâmica, a solubilidade e a pressão de vapor são as que mais influenciam o comportamento dos combustíveis líquidos nos corpos d'água (VIVIAN, 2015).

É preferível, para fins de remediação de impactos causados por contaminação de combustíveis líquidos, que a densidade do contaminante não seja próxima da densidade da água, pois, caso seja próximo, há mistura do contaminante com a água, dificultando sua separação para remediação, e se a densidade do contaminante for maior que a da água, ele ficará no fundo do corpo aquático, também dificultando a remediação (CORSEUIL e MARINS, 1997).

A viscosidade dinâmica é a resistência do fluido ao seu escoamento (VIVIAN, 2015), é preferível que um fluido contaminante tenha maior viscosidade dinâmica, para que haja maior resistência ao escoamento e para que haja retardamento na velocidade de propagação da pluma de contaminante.

A solubilidade é uma propriedade física que determina a facilidade de substâncias se dissolverem ou não em determinado líquido (VIVIAN, 2015), e, assim como no caso da densidade, é preferível que os contaminantes não se misturem com a água, portanto, que a solubilidade do contaminante na água seja baixa.

A pressão de vapor é uma medida da tendência de evaporação de um líquido, quanto maior a pressão de vapor, mais volátil é um líquido (VIVIAN, 2015). É preferível, para fins de retirar o contaminante da água, que o contaminante tenha pressão de vapor alta, para que se volatilize do meio.

Os constituintes dos derivados de petróleo mais solúveis em água são os hidrocarbonetos monoaromáticos e os BTEX, que devido aos seus efeitos no sistema nervoso, agindo como depressantes e causando leucemia em altas exposições, devem ter atenção especial, principalmente o Benzeno, o mais tóxico dos BTEX (CORSEUIL e MARINS, 1997).

O Etanol é completamente solúvel em água, com sua pluma de contaminação se espalhando com mais velocidade que os derivados de petróleo. Inclusive, a adição de etanol à gasolina faz com que esse combustível tenha mais solubilidade na água (o etanol presente nele); a biodegradação do etanol ocorre com mais facilidade que a do BTEX (CORSEUIL e MARINS, 1997).

3.3.2. Transporte de Combustíveis no DF

Segundo Esteves e Bicalho (2008), a distribuição interna de combustível no Brasil é feita de variadas formas, como oleodutos, ferrovias, rodovias e hidrovias, a depender do volume da carga e da distância do transporte. No Distrito Federal, é utilizado modal dutoviário e ferroviário para abastecimento das bases de Brasília, e a partir delas, utiliza-se do modal rodoviário para distribuição na região, como mostrado no documento criado pela ANP, Fluxos Logísticos de Produção, Transporte e Armazenagem de Gasolina e de Óleo Diesel no Brasil, que apresenta diferentes fluxos logísticos nas diferentes regiões do Brasil, e traz a Figura 3.2, que representa o fluxo logístico de combustíveis para a região Centro-Oeste.

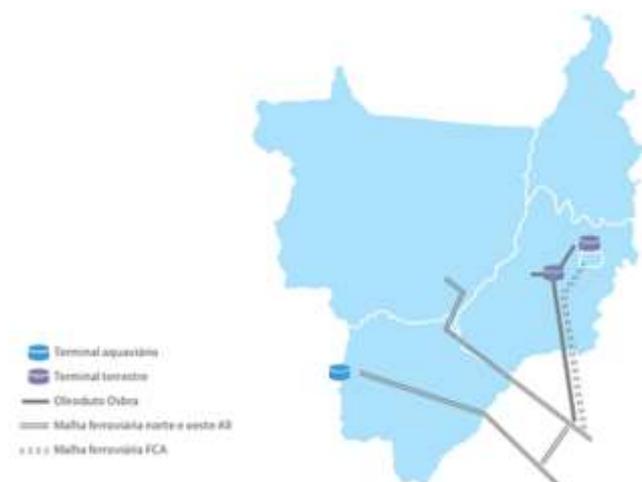


Figura 3.2 - Fluxo logístico de combustíveis para a região Centro-Oeste (Fonte: ANP, 2015).

Com base nisso, tem-se uma noção de quais vias podem ter maior risco de ocorrência de acidentes rodoviários com transporte de combustíveis: rodovias federais e interestaduais e vias de ligação com o Terminal Terrestre de Brasília e com o Pátio do Setor de Inflamáveis de Brasília, ambos no na Região Administrativa SIA.

Além disso, é importante lembrar que existe grande fluxo de transporte rodoviário de combustível do Terminal Terrestre de Brasília aos postos de venda de combustível dentro do DF. As vias que levam às regiões com maior quantidade de postos de venda de combustível podem causar maior risco de contaminação aos mananciais de abastecimento, tanto pelo grande fluxo de caminhões para distribuição nos postos de combustível, quanto devido a vulnerabilidade pela existência de sistema de drenagem urbana que leva o contaminante aos corpos d'água no DF, além da cobertura do solo em áreas urbanas, que favorece o transporte do contaminante sobre a superfície.

A Figura 3.3 representa a malha rodoviária do Distrito Federal, nessa imagem estão presentes as Rodovias Federais e Estaduais no território do DF, bem como as linhas férreas e os corpos hídricos. Nota-se que há muitos trechos de intersecção dessas vias com os corpos hídricos, levando a maior vulnerabilidade dos mananciais de abastecimento do DF.



Figura 3.3 - Principais vias do Distrito Federal (Fonte: GIFEX, 2021).

Um indício da importância dessas vias nas áreas urbanas é o acidente ambiental ocorrido em 2016, em que houve um derramamento de combustível na Asa Sul e o contaminante percorreu as tubulações de drenagem urbana, chegando ao Lago Paranoá, como pode ser visto na Figura 3.4.



Figura 3.4 – Mancha de óleo diesel no Lago paranoá (G1, 2016).

3.4. PREPARAÇÃO E RESPOSTA A ACIDENTES AMBIENTAIS

Este item traz uma introdução a definições, atribuições e objetivos de planos criados pelo Governo Federal com o objetivo de evitar acidentes com produtos perigosos e remediar impactos causados pelos acidentes que possam ocorrer, também traz o contingente de unidades de resposta rápida a emergências do Corpo de Bombeiros do DF.

3.4.1. Plano Nacional de Prevenção, Preparação e Resposta Rápida a Acidentes Ambientais - P2R2

Em 2004 foi criado, por meio do Decreto Nº 5.098, o Plano Nacional de Prevenção, Preparação e Resposta Rápida a Acidentes Ambientais - P2R2, com o objetivo de prevenir acidentes com produtos químicos perigosos, bem como aprimorar o sistema de preparação e

resposta a emergências químicas no Brasil devido ao crescente risco da integridade da saúde humana e do Meio Ambiente com o aumento da produção, manipulação e circulação de produtos perigosos no país e ao aumento populacional das zonas de influência urbana (MMA, 2012).

O estopim para a criação do P2R2 foi o rompimento da barragem de resíduos com substâncias químicas perigosas em Cataguazes, Minas Gerais, em 2003, atingindo o Rio Pomba e Paraíba e deixando várias cidades sem acesso à água. Na ocasião constatou-se a deficiência nas estruturas de resposta rápida a emergências ambientais, bem como a necessidade de algo ser feito a respeito disso (MMA, 2007).

Dentre os objetivos dos Grupos de Trabalho (GTs) do P2R2, está o Mapeamento de Áreas de Risco: “elaborar proposta técnica para a identificação, caracterização e mapeamento de áreas/atividades que efetiva ou potencialmente, apresentem risco de ocorrência de acidente de contaminação ambiental, decorrente de atividades que envolvam produtos perigosos” (MMA, 2007). O presente trabalho tem por finalidade o auxílio nessa etapa do P2R2, realizando o mapeamento das áreas de risco de contaminação de mananciais de abastecimento humano por transporte de combustíveis líquidos.

Por meio do Decreto Distrital nº 38.528, de outubro de 2017, é criada a Comissão Distrital do Plano Nacional de Prevenção, Preparação e Resposta Rápida a Emergências Ambientais com Produtos Químicos Perigosos – CD-P2R2, determinando como órgãos e entidades do DF integradores e executores do P2R2, participando diretamente no atendimento e resposta às emergências ambientais no DF, os seguintes órgãos e entidades do Distrito Federal:

- Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos - Brasília Ambiental;
- Agência de Fiscalização - AGEFIS, por meio da Superintendência de Fiscalização de Atividades Ambientais e Urbanas - SUFAU;
- Departamento de Trânsito - DETRAN/DF;
- Departamento de Estrada de Rodagens - DER/DF;

- Secretaria de Estado de Segurança Pública e da Paz Social - SSP/DF, por meio da Subsecretaria de Proteção e Defesa Civil;
- Secretaria de Estado de Saúde- SES/DF, por meio da Subsecretaria de Vigilância à Saúde;
- Polícia Militar do Distrito Federal - PMDF;
- Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal - CBMDF;
- Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal - CAESB;

Por meio da Resolução Nº 1 de março de 2019 do Governo do Distrito Federal, foi aprovado o Regimento Interno da CD-P2R2, atribuindo a Presidência da Comissão ao Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal e a Secretaria Executiva da Comissão ao Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal.

De acordo com o Brasília Ambiental (2020), foram instituídos três Grupos de Trabalho pela CD-P2R2: o primeiro, buscando a elaboração de um plano de ação e emergência que será base para os órgãos executores e de apoio a emergências ambientais no DF; o segundo, verificando e elaborando a relação de equipamentos e insumos necessários para o atendimento a emergências e que precisem ser adquiridos pela Comissão; e o terceiro para realizar o mapeamento das áreas de risco no DF. O presente trabalho servirá como auxílio ao terceiro GT, na elaboração de mapa de risco ambiental.

3.4.2. Plano Nacional de Contingência para Incidentes de Poluição por Óleo em Águas sob Jurisdição Nacional (PNC)

Por meio do Decreto Nº 8.127, de outubro de 2013, foi instituído o Plano Nacional de Continência para Incidentes de Poluição por Óleo em Águas sob Jurisdição Nacional com o objetivo de ampliar a capacidade de resposta a incidentes por óleo que causem risco de poluição nas águas sob jurisdição nacional.

O PNC define que serão consideradas água sob jurisdição nacional:

- As águas interiores: entre a costa e a linha de base reta, a partir da qual se mede o mar territorial; dos portos; das baías; dos rios e de suas desembocaduras; dos lagos, lagoas e canais; dos arquipélagos; e entre baixios, a descoberta e a costa.
- Águas marítimas, todas aquelas sob jurisdição nacional que não sejam interiores.

O Plano institui o Sistema de Informações Sobre Incidentes de Poluição por Óleo em Águas Sob Jurisdição Nacional – Sisnóleo, para que as informações acerca de acidentes com óleo em água sob jurisdição nacional sejam disseminadas mais rapidamente, para que seja facilitada a análise, tomada de decisão e gestão do PNC.

Dentre os órgãos e entidades presentes na Estrutura Organizacional do PNC, encontram-se alguns que serão mencionados ao longo desse trabalho, como o Ministério do Meio Ambiente, o Ministério dos Transportes (atual Ministério da Infraestrutura), o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP, o Departamento de Polícia Federal, o Departamento de Polícia Rodoviária Federal e o Instituto Nacional de Meteorologia.

3.4.3. Unidades de resposta no DF – Corpo de Bombeiros Militar

Dentre as unidades de resposta rápida que devem atender a emergências ambientais, os Corpos de Bombeiros estão entre os mais bem preparados. De acordo com o CBM/DF (2021) existem 34 unidades operacionais de atendimento de emergência no DF, sendo um Grupamento de Proteção Ambiental.

- Grupamento de Proteção Ambiental – ASA NORTE – CEP: 70.790-160;
- Grupamento de Atendimento a Emergência Pré-Hospitalar – GUARÁ II – CEP: 71.070-040;
- Grupamento de Prevenção e Combate a Incêndio Urbano – ÁGUAS CLARAS – CEP: 71.955-000

- Grupamento de Aviação Operacional – ASA NORTE – CEP 70.620-000;
- 1º Esquadrão de Aviação – ASA NORTE – CEP 70.620-000;
- 2º Esquadrão de Aviação – LAGO SUL – CEP: 71.608-900;
- Grupamento de Proteção Civil – TAGUATINGA CENTRO – CEP: 72.115-300;
- Grupamento de Busca e Salvamento – VILA PLANALTO – CEP: 70.800-110;
- POSTO AVANÇADO DELTA 1/BUC – ASA SUL – CEP: 70.200-002;
- 1º GBM: Vila Planalto/DF – CEP: 70.100-000;
- 3º GBM: SIA/DF – CEP 70200-010;
- 11º GBM: Lago Sul/DF – CEP: 71.625-205;
- 13º GBM: Guará I/DF – CEP 71010-011;
- 15º GBM: SPS/DF – CEP: 70.610-200;
- 45º GBM: Sudoeste/DF- CEP 70.675-760;
- 2ºGBM: Taguatinga Norte - CEP 72115-300;
- 7ºGBM: Brazlândia - CEP 72720-610;
- 8ºGBM: Ceilândia Norte - CEP 72210-180;
- 12ºGBM: Samambaia – CEP: 72320-328;
- 25ºGBM: Águas Claras – CEP: 70297-400;
- 37ºGBM: Samambaia Norte - CEP 72341- 002;
- 41ºGBM: Ceilândia Norte – CEP 72265-503;
- SIERRA III: Rodovia BR 060, altura do Km 13 – CEP – 72317-800;
- 9ºGBM: Setor Norte, DF. CEP: 73.316-69;
- 10ºGBM: Paranoá, Brasília – DF. CEP: 70.297-400;
- 17ºGBM: São Sebastião, Brasília – DF. CEP: 71.692-501;
- 22ºGBM: Sobradinho, Brasília – DF. CEP: 73.010-700;
- 34ºGBM: Lago Norte, Brasília – DF. CEP: 71.605-200;

- 6° GBM: Núcleo Bandeirante, CEP 71720-585;
- 16° GBM: Gama, CEP 72430-280;
- 18° GBM: Santa Maria Norte, CEP 72548-100;
- 19° GBM: Candangolândia, CEP 71725-070;
- 21° GBM: Riacho Fundo I, CEP 71805-313;
- 36° GBM: Recanto das Emas, CEP 72620-159.

Suas localizações, com base nos endereços disponibilizados pelo CBM/DF, podem ser vistas na Figura 3.5.



Figura 3.5 - Localização das Unidades Operacionais do Corpo de Bombeiro Militar do Distrito Federal (Fonte: CBM/DF, Elaboração: Bruna Soares).

3.5. GEOPROCESSAMENTO

“O termo Geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica” (CÂMARA, DAVIS e MONTEIRO, 2001).

São utilizadas ferramentas computacionais para o Geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG, ou GIS, do inglês Geographic Information System). Com essas ferramentas, há uma infinidade de manipulações e análises que podem ser feitas com

imagens georreferenciadas. As aplicações de um SIG são variadas, podendo produzir mapas, analisar fenômenos, armazenar, recuperar e manipular dados.

De acordo com Câmara, Davis e Monteiro (2001), os dados utilizados no Geoprocessamento são:

- Dados Temáticos: Distribuição espacial de uma grandeza geográfica, de forma qualitativa, são exemplos mapas de vegetação e de declividade;
- Dados Cadastrais: cada elemento cadastrado tem atributos próprios e pode estar associado a várias representações gráficas, são exemplos lotes (contendo dados como localização, IPTU, uso), país (contendo dados como PIB, População, IDH);
- Redes: Cada objeto geográfico é associado a atributos, são exemplos serviços como rede de água, de esgoto, de energia elétrica, de telefone, de internet, de drenagem, rodovias;
- Modelos Numéricos de Terreno: utilizado para representar uma grandeza que varia continuamente no espaço, são exemplos dados de altimetria e declividade;
- Imagens: capturadas por satélites, fotos aéreas, com aviões, drones, dividida em partes das imagens, pixel. A resolução da imagem está associada a quantidade de pixels, quanto mais pixels por polegada da imagem, melhor a resolução.

A Figura 3.6 mostra as duas grandes classes de representação geométrica no Geoprocessamento, são elas:

- Representação Vetorial: o espaço é representado por uma matriz de m colunas e n linhas, em que cada célula sua localização ou coordenadas e valores de atributos correspondentes a ela.
- Representação Matricial: cada objeto tem sua localização e aparência representados por um ou dois pares de coordenadas. São utilizados três elementos gráficos: Ponto, Linha e Polígono.

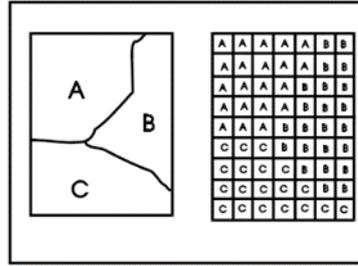


Figura 3.6 - Representação vetorial e matricial (Fonte: CÂMARA, DAVIS e MONTEIRO, 2001).

3.5.1. Georreferenciamento

“Os dados no SIG devem ser georreferenciados, ou seja, localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica” (CÂMARA, DAVIS e MONTEIRO, 2001). Esses dados devem estar associados a regiões da superfície da Terra, criando uma analogia da representação com o mundo real. O Georreferenciamento facilita na análise de dados associados a localidades de objetos e regiões. Para o presente trabalho, esse georreferenciamento é de extrema importância, uma vez que os dados a serem utilizados devem ter sua representação no espaço e devem ser feitas análises que estão totalmente relacionadas à espacialização.

3.6. AHP – PROCESSO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA

3.6.1. Análise de Multicritério

A Análise Multicritério é uma técnica utilizada na tomada de decisões, aplicada a comparações de alternativas e é muito utilizada em questões ambientais, inclusive em Análise de Vulnerabilidade Ambiental.

Nessa técnica, uma alternativa será escolhida como a melhor somente se sobressair-se perante as demais, em relação aos critérios que forem considerados mais relevantes para o objeto de estudo. Ou seja, é necessário determinar os critérios, a importância dos critérios e o método de comparação entre as alternativas (Júnior e Rodrigues, 2012).

3.6.2. AHP

Um dos métodos comparativos para tomada de decisão mais utilizados no mundo é o AHP – Processo de Análise Hierárquica, desenvolvido na década de 1970 pelo Professor Thomas Saaty, na Escola Wharton da Universidade da Pensilvânia.

Saaty (2008) comenta que para tomar uma decisão é necessário conhecer o problema que está sendo analisado, além de conhecer a necessidade e o objetivo da decisão, conhecer os critérios da tomada de decisão, conhecer os grupos afetados pelo problema, conhecer as ações a serem tomadas e conhecer as prioridades das alternativas em questão - salienta que as prioridades são diferentes para diferentes problemas.

De acordo com Saaty (2008), AHP é uma teoria de medição que utiliza comparação de pares, baseando-se no julgamento de especialistas para definição de escalas de prioridade. Essas escalas levam à possibilidade de realizar julgamentos de questões intangíveis por meio de relativização, a dominação de um fator sobre outro com relação a um atributo. O objetivo do AHP é melhorar a consistência em julgamentos, uma vez que eles são subjetivos. A escala de comparação é passada de subjetiva para números. Ele define uma escala que vai de 1 a 9, utilizando sempre valores inteiros.

Ao comparar dois elementos, “a” e “b”, se for atribuído o valor de prioridade 1 para “a” em relação a “b”, significa dizer que ambos têm igual importância, enquanto que atribuir prioridade 9 para “a” em relação a “b” significa dizer que “a” tem extrema importância em relação a “b”. A Tabela 3.2. Mostra os graus de intensidade de forma subjetiva e sua correspondência numericamente, como definido por Saaty (2008).

Tabela 3.2 - Definições das intensidades de importância no método AHP (Fonte: Saaty, 2008).

Intensidade de importância	Definição
1	Igual importância
2	Pouca importância
3	Moderada importância
4	Um pouco mais que moderada importância
5	Forte importância
6	Mais do que forte importância
7	Muito forte importância
8	Muito muito forte importância
9	Extrema importância

O recíproco de uma comparação é o valor inverso de sua importância em números. Por exemplo, quando “a” é pouco importante em relação a “b”, portanto a intensidade seria de 2, a importância de “b” em relação a “a” seria de $\frac{1}{2}$. A Tabela 3.3 traz um exemplo simples de como seria uma matriz de comparação no método AHP: foi considerado que saúde tem maior relevância que economia, que, por sua vez, tem maior relevância que lazer.

Tabela 3.3 - Exemplo de matriz comparativa no método AHP.

	Lazer	Economia	Saúde
Lazer	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{6}$
Economia	2	1	$\frac{1}{3}$
Saúde	6	3	1

Saaty (2008) define as seguintes etapas para melhor organização do AHP e melhor tomada de decisão:

- 1 Definir o problema e determinar o tipo de objetivo procurado;
- 2 Estruturar a hierarquia de decisão do topo com o objetivo da decisão, depois, os objetivos de uma perspectiva ampla, passando por níveis intermediários (critérios dos quais os

elementos subsequentes dependem) e, por último, o nível mais baixo (que geralmente é um conjunto de alternativas);

- 3 Construir um conjunto de matrizes de comparação de pares. Cada elemento de um nível superior é usado para comparar os elementos no nível imediatamente abaixo com respeito a ele;
- 4 Usar as prioridades obtidas nas comparações para pesar as prioridades no nível imediatamente abaixo. Fazer isso para cada elemento. Depois, para cada elemento no nível abaixo, adicionar seus valores ponderados e obter sua prioridade geral ou global. Continuar este processo de pesagem e adição até as prioridades finais das alternativas no nível mais inferior serem obtidas.

A Figura 3.7 representa um exemplo de organograma para o desenvolvimento do método AHP para uma decisão simples: escolher entre duas ofertas de emprego. Para isso, seriam analisados, dentre outros critérios, o salário, a localização e as oportunidades que a empresa traz ao funcionário. O AHP é utilizado quando se tem mais de uma alternativa, nesse exemplo, elas são as duas empresas diferentes que estão com a oferta de emprego.

Os subcritérios estão contidos nos critérios, e são analisados no seu próprio nível hierárquico, e, posteriormente, associado ao seu nível superior. Percebe-se que alguns dos subcritérios podem ter seu grau de importância dado pelo seu próprio valor, como é o caso do salário e das distâncias. Isso é possível porque uma das etapas do método AHP é a normalização da matriz comparativa, tornando todos os valores de importância com mesma ordem de grandeza. Ao final de todo o processo, é realizada uma análise de consistência das prioridades relativas para verificação da consistência do grau de importância relativo associado aos critérios, que deve ser inferior a 10%.

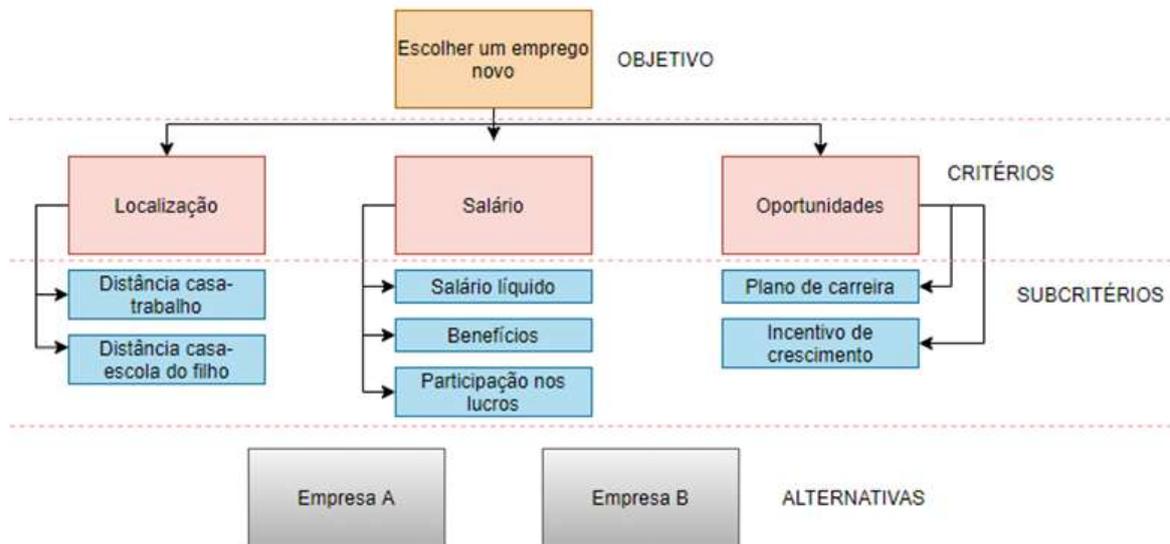


Figura 3.7 - Exemplo de organograma no método AHP.

3.6.3. Uso de AHP em SIG - Exemplos

Júnior e Rodrigues (2012) utilizaram AHP e SIG na criação de um mapa de vulnerabilidade ambiental de determinada região. Eles consideraram como critérios de maior relevância para esse estudo a Declividade, a Pedologia, a Geologia e o Uso e Ocupação da Terra. Na fase de pré-processamento, os mapas temáticos relevantes ao estudo foram produzidos e analisados de forma individual. O estudo chegou a razões de consistência abaixo do limite superior definido por Saaty, de 0,1, ou seja, satisfatórios.

Em um estudo de Domingos e Brito (2010), foi utilizado AHP e SIG para a seleção do local de implantação de um aterro em determinada região. Com uso de álgebra de mapas, foram cruzadas informações de diferentes critérios para a confecção do mapa - como Distâncias às Rodovias, às Áreas Urbanas, aos Poços, como Textura do Solo e o Uso e Cobertura do Solo. Os autores comentam que alguns parâmetros se fizeram mais importantes em alguns locais e menos importantes em outros e que isso pode ser explicado pela heterogeneidade do meio.

Mais recentemente, Andrade, S. P. B. (2020), utilizou-se do AHP e do SIG para a geração de um Mapa para escolha de áreas favoráveis para implantação de Aterro Sanitário em Planaltina – GO, utilizando critérios como distância de áreas urbanas, declividade, uso e ocupação do solo e distância a vias de acesso.

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Distrito Federal está localizado na região Centro-Oeste do Brasil, entre os paralelos 15°30' e 16°03' de latitude sul e entre os meridianos 47°18' e 48°17' de longitude. Sua área total é de 5.779 km² e tem como fronteiras estaduais os estados de Goiás e Minas Gerais e como limites naturais o Rio Preto, à leste, e Rio Descoberto, à oeste; seus limites ao norte e ao sul são traçados retos, formando um retângulo, como pode ser visto na Figura 4.1.

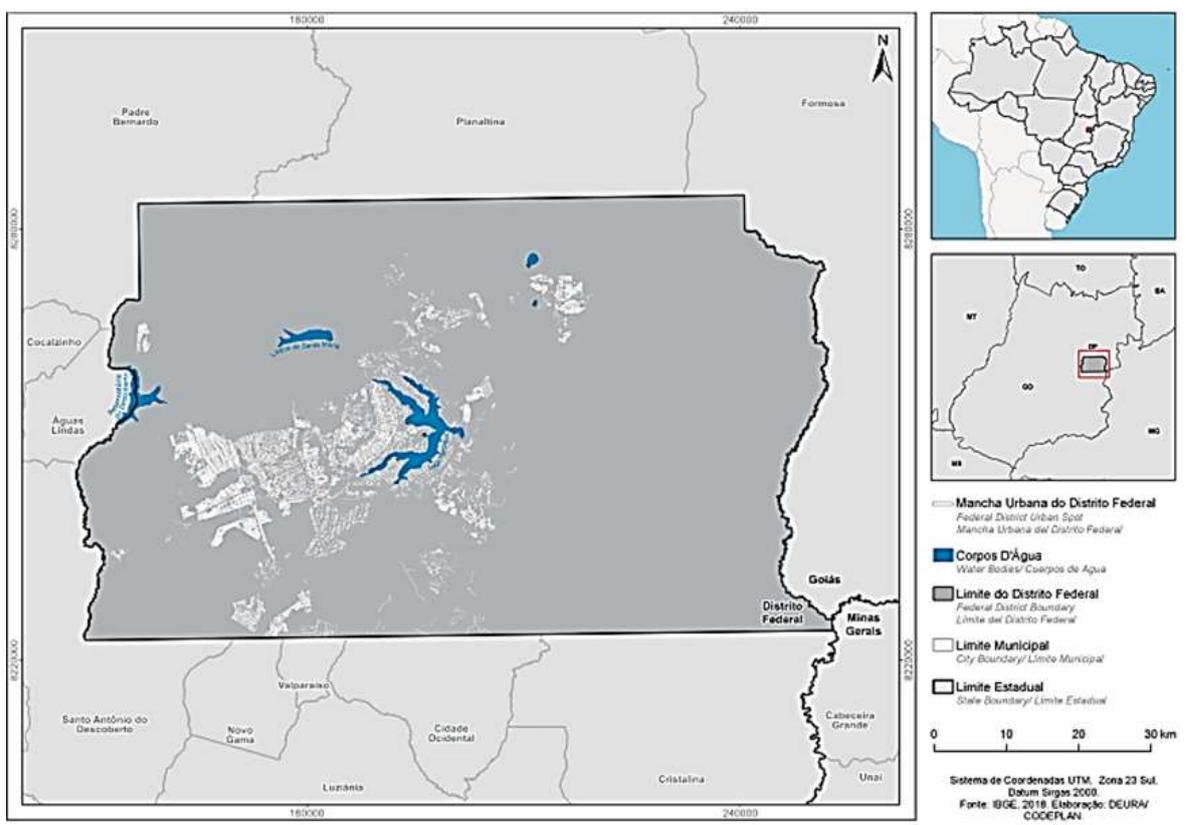


Figura 4.1 - Localização do Distrito Federal (Fonte: CODEPLAN, 2020a).

O Distrito Federal é a única unidade da federação que não possui municípios, mas é subdividido em 33 Regiões Administrativas (RA's), cujas gestões são realizadas de maneira descentralizada por administradores regionais indicados pelo Governador do DF no exercício de seu mandato.

A população estimada do DF no ano de 2021 é de 3.091.667 pessoas, contendo o maior IDH do país, com 0,824, segundo estimativas baseadas no censo de 2010 do IBGE.

4.1. CLIMA

O conhecimento do clima do Distrito Federal é de grande importância para esse estudo, sobretudo devido à sazonalidade dos mananciais de abastecimento. Os períodos de seca prolongada atribuem maior vulnerabilidade a esses mananciais, uma vez que a contaminação por quaisquer contaminantes é mais impactante em mananciais com menores disponibilidades hídricas.

O DF tem sua temperatura média anual variando com mínimas entre 19°C e 23°C, como pode ser visto na Figura 4.3; tendo um período mais quente entre setembro e outubro, com a temperatura máxima média em torno de 30°C, como mostrado na Figura 4.4; a capital do país tem como média mais baixa 14°C, entre junho e julho, como mostrado na Figura 4.5.

Proposta por Wladimir Köppen em 1900 e aperfeiçoada por Rudolf Geiger, a Classificação Climática de Köppen é utilizada globalmente. Ela parte do pressuposto de que a vegetação de uma grande região da Terra é reflexo do clima que prevalece sobre ela. Nessa classificação, para cada grande tipo é atribuído um código, constituído por letras maiúsculas e minúsculas. Por exemplo, o Grupo A é Tropical, e apresenta temperatura média de 18°C ou mais ao longo do ano e precipitação significativa. Enquanto que o Grupo C é Temperado e apresenta mês mais frio com média entre -3°C e 18°C e pelo menos um mês com temperatura média acima de 10°C (A. John, 2021).

Além desses Grupos, a Classificação de Köppen também classifica por Tipos e Subtipos, como pode ser visto na Figura 4.2.

Grupo	Tipo		Subtipo		Grupo	Tipo		Subtipo		Grupo	Tipo		Subtipo				
A	Tropical	f	Equatorial	-	-	B	Seco	W	Árido	h	quente	E	Polar	T	Tundra	-	-
		m	de monção	-	-					k	frio			F	Glacial (calota de gelo)	-	-
		w	de savana	-	-			h	quente	-	-						
		s		-	-			k	frio	-	-						

Grupo	Tipo		Subtipo		Grupo	Tipo		Subtipo			
C	Temperado	f	Sem estação seca	a	Verão quente	D	Continental	f	Sem estação seca	a	Verão quente
				b	Verão fresco					b	Verão fresco
				c	Verão frio					c	Verão frio
		w	Inverno seco	a	Verão quente			w	Inverno seco	d	Inverno muito frio
				b	Verão fresco					a	Verão quente
				c	Verão frio					b	Verão fresco
	s	Verão seco	a	Verão quente	s		Verão seco	c	Verão frio		
			b	Verão fresco				d	Inverno muito frio		
			c	Verão frio				a	Verão quente		

Figura 4.2 - Classificação Climática de Köppen (Adaptado Wikipedia, 2021).

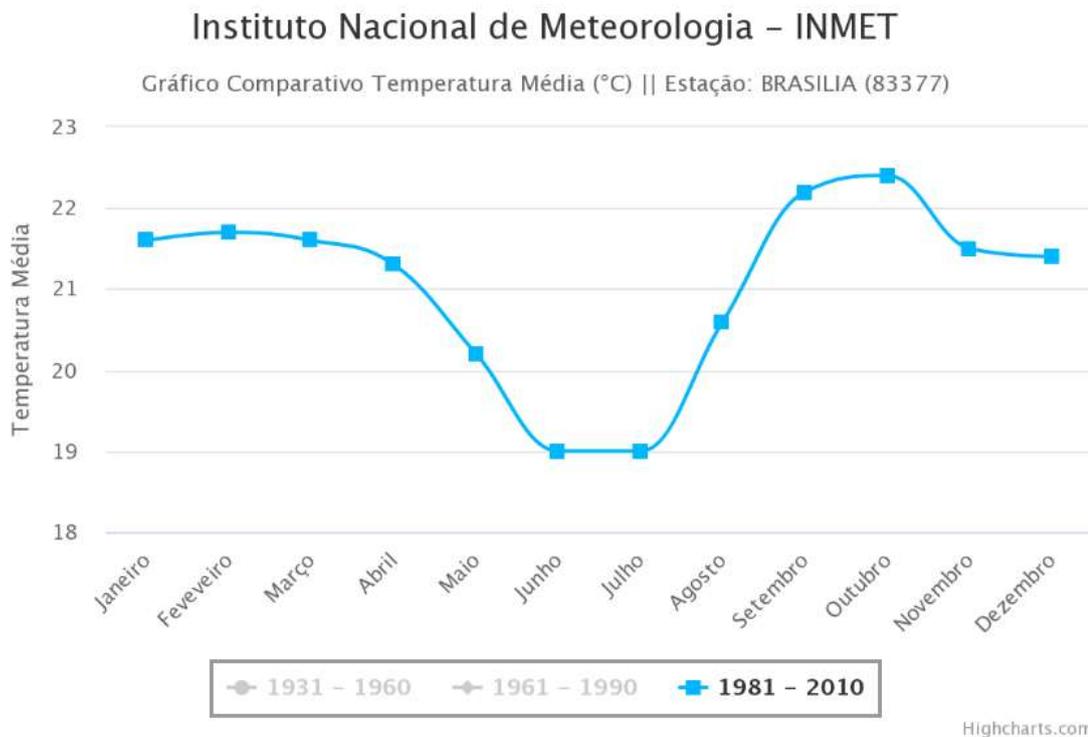
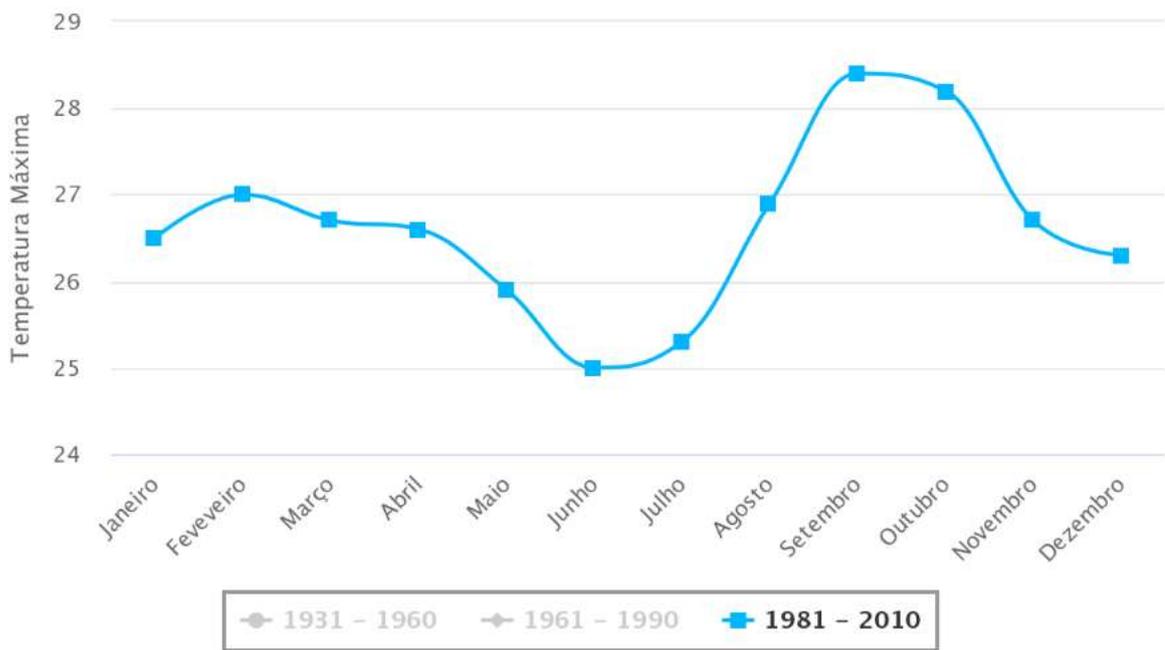


Figura 4.3 - Gráfico das temperaturas médias mensais entre anos de 1981 a 2010 no DF (Fonte: INMET, 2021).

Instituto Nacional de Meteorologia – INMET

Gráfico Comparativo Temperatura Máxima (°C) || Estação: BRASILIA (83377)

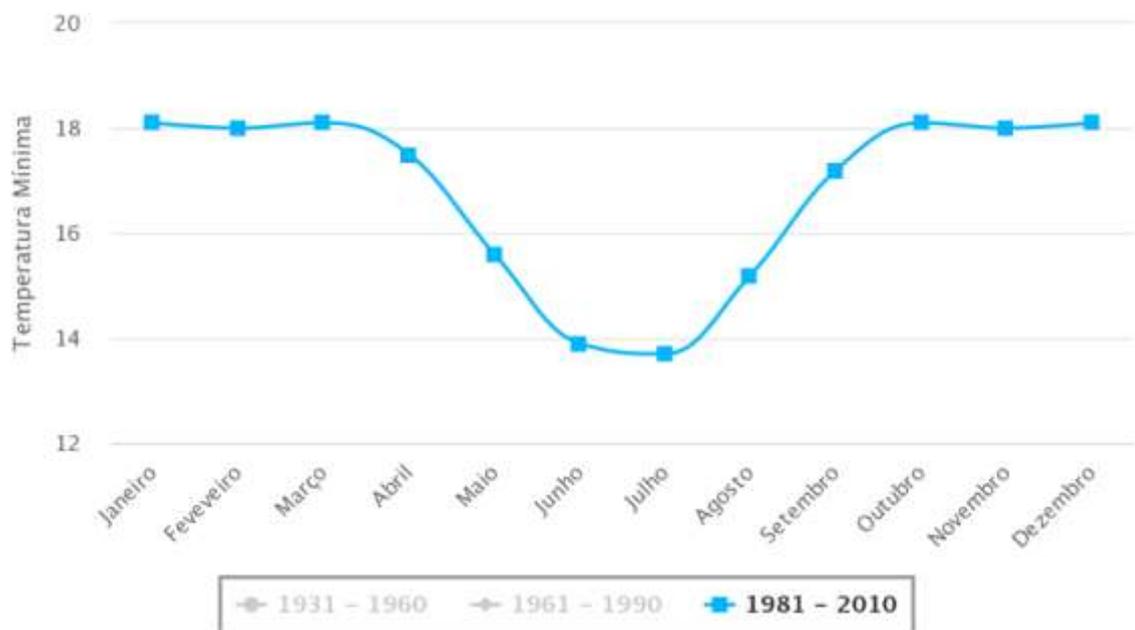


Highcharts.com

Figura 4.4 - Gráfico das temperaturas máximas mensais entre anos de 1981 a 2010 no DF (Fonte: INMET, 2021).

Instituto Nacional de Meteorologia – INMET

Gráfico Comparativo Temperatura Mínima (°C) || Estação: BRASILIA (83377)



Highcharts.com

Figura 4.5 - Gráfico das temperaturas mínimas mensais entre anos de 1981 a 2010 no DF (Fonte: INMET, 2021).

Cardoso et al. (2014) em seu estudo sobre a Classificação Climática do Distrito Federal, chega à conclusão de que nessa região há apenas um tipo, o Aw. Contudo, estudos da Embrapa mais recentes mostram que há não somente esse tipo, mas três tipos climatológicos no DF, segundo a Classificação de Köppen, como visto na Figura 4.6. São eles:

- Tropical (Aw): temperatura superior a 18 °C para o mês mais frio, em terrenos com cotas altimétricas abaixo dos 1.000 m.
- Tropical de altitude (Cwa): temperatura inferior a 18 °C para o mês mais frio, com média superior a 22 °C no mês mais quente, em terrenos com cotas altimétricas entre 1.000 m e 1.200 m.
- Tropical de altitude (Cwb): temperatura inferior a 18 °C para o mês mais frio, com média inferior a 22 °C no mês mais quente, em terrenos com cotas altimétricas superiores a 1.200 m.

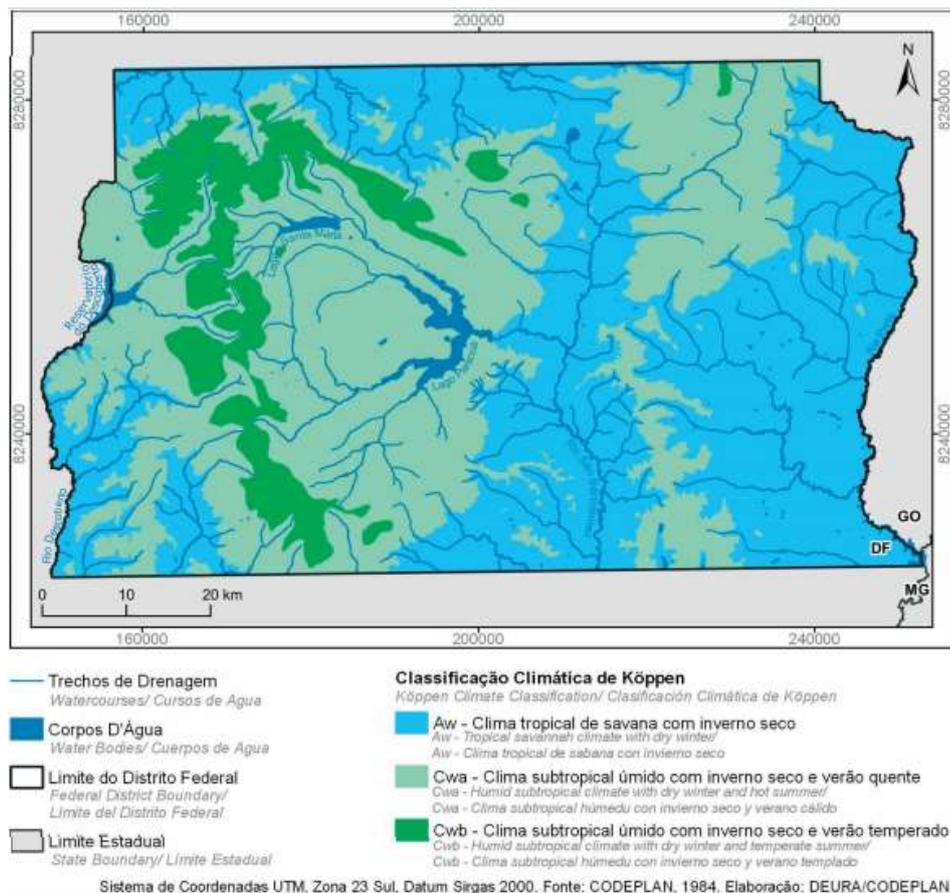


Figura 4.6 - Tipos climáticos do Distrito Federal, de acordo com a classificação de Köppen (Fonte: CODEPLAN, 2020b).

A precipitação anual no DF varia de 1.100 mm a 1.600 mm, possuindo duas estações bem definidas, uma chuvosa e quente e a outra seca e fria. Cerca de 90% da precipitação ocorre nos meses de setembro/outubro a março/abril, e a seca ocorre de abril/maio a setembro, como pode ser observado na Figura 4.7. A umidade do ar varia de 80% a menos de 20%, a depender da estação.

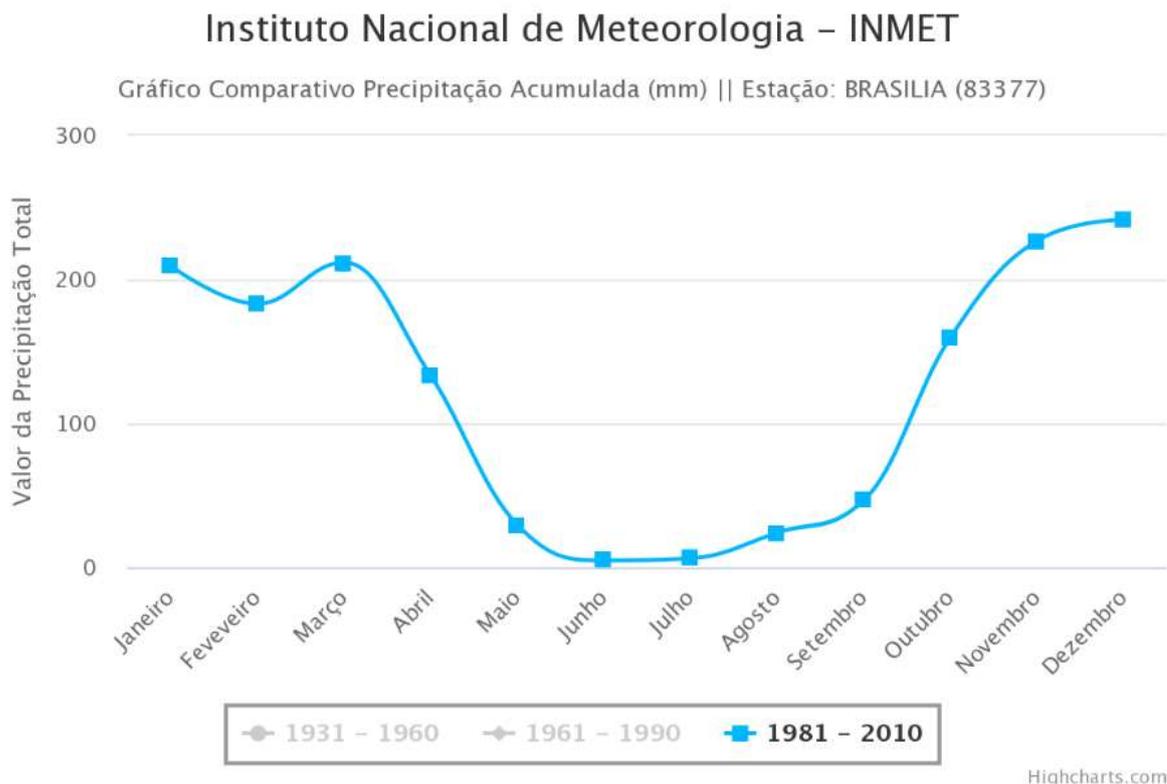


Figura 4.7 - Gráfico de precipitação acumulada média mensal de 1981 a 2010 (Fonte: INMET, 2021).

4.2. GEOMORFOLOGIA E DECLIVIDADE

O caminho preferencial da água é sempre o mais fácil, indo do ponto mais alto ao mais baixo do terreno. Esse caminho é definido, em condições naturais, pelas características do relevo. Com as chuvas, a água vai escoando até os pontos mais baixos, somando seu volume e vazão, inundando uma área maior, formando córregos, lagos, rios, que se juntarão a outrem, podendo tomar vários caminhos. Por essas razões, a análise geomorfológica da área de estudo é muito importante para o desenvolvimento deste estudo, ela está diretamente ligada a formação dos mananciais de abastecimento e aos caminhos dos escoamentos superficiais.

O relevo do DF é majoritariamente plano e suave ondulado. Sua altitude varia de 1.000 a 1.200 metros acima do nível do mar, a Figura 4.8 representa um mapa da Altimetria do DF no ano de 2014. É possível notar que a região mais alta encontra-se à Noroeste, com altitude entre 1.301 m e 1.350 m, e as regiões de menor altitude estão próximas aos corpos hídricos, mais expressivamente a Norte.

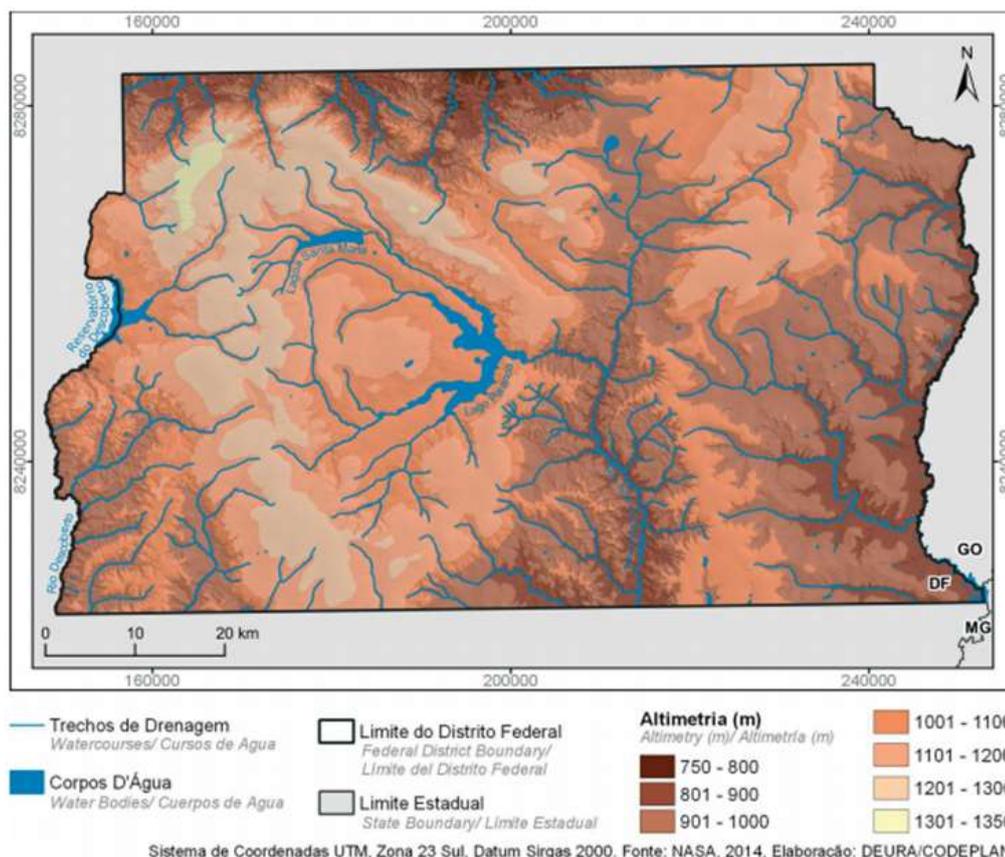


Figura 4.8 - Mapa de Altimetria do Distrito Federal (Fonte: CODEPLAN, 2020b).

O território do DF está inserido em um alto regional de uma região conhecida como Planalto Central, seu relevo pode ser dividido em cinco grandes compartimentos geomorfológicos, apresentados na Figura 4.9, cujas principais características são apresentadas na Tabela 4.1.

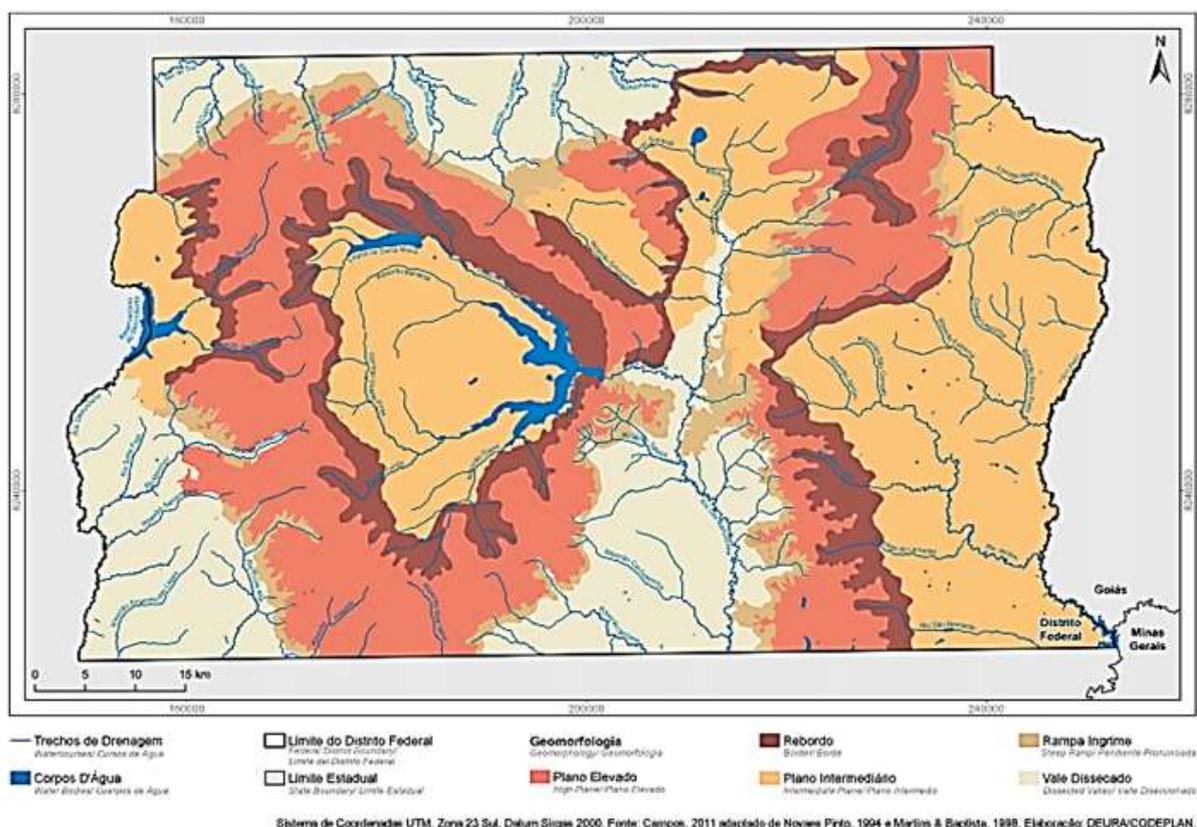


Figura 4.9 - Mapa geomorfológico do Distrito Federal (Fonte: CODEPLAN, 2020b).

Tabela 4.1- Características dos compartimentos geomorfológicos do Distrito Federal.

Compartimento geomorfológico	Tipo de relevo	Declividade	Altitude(m)	Tipo de solo predominante	Densidade de drenagem do solo
Plano Elevado	plano a suave ondulado	<10%	>1.100	Latosolos	baixa
Plano Intermediário	suave ondulado	<12%	entre 950 e 1.05	Cambissolos	alta
Vale Dissecado	ondulado a forte ondulado	>20%	<800	Cambissolos	alta
Rebordo	ondulado	entre 10% e 20%	entre 950 e 1.11	Cambissolos	moderada
Rampa Íngreme	forte ondulado a escarpado	>25%	entre 800 e 1.10	Cambissolos	alta

Na evolução das formas de relevo do DF há predominância das chapadas associadas a unidades geológicas mais antigas, das formas de relevo evoluídas por processo de erosão, como chapadas e chapadões, além de outras formas de relevo, como vales e colinas, na área da bacia dos rios São Bartolomeu, Preto e Descoberto, e de serras presentes na área da bacia do rio Maranhão (CODEPLAN, 2017).

As declividades predominantes no Distrito Federal são a plana (de 0% a 3%) e a suave ondulada (de 3% a 8%) (CODEPLAN, 2020b). Contudo, em proximidades a rios ou a divisões de compartimentos geomorfológicos, podem ser encontradas maiores declividades e é possível observar na Figura 4.10 que as maiores declividades estão concentradas a Noroeste do mapa.

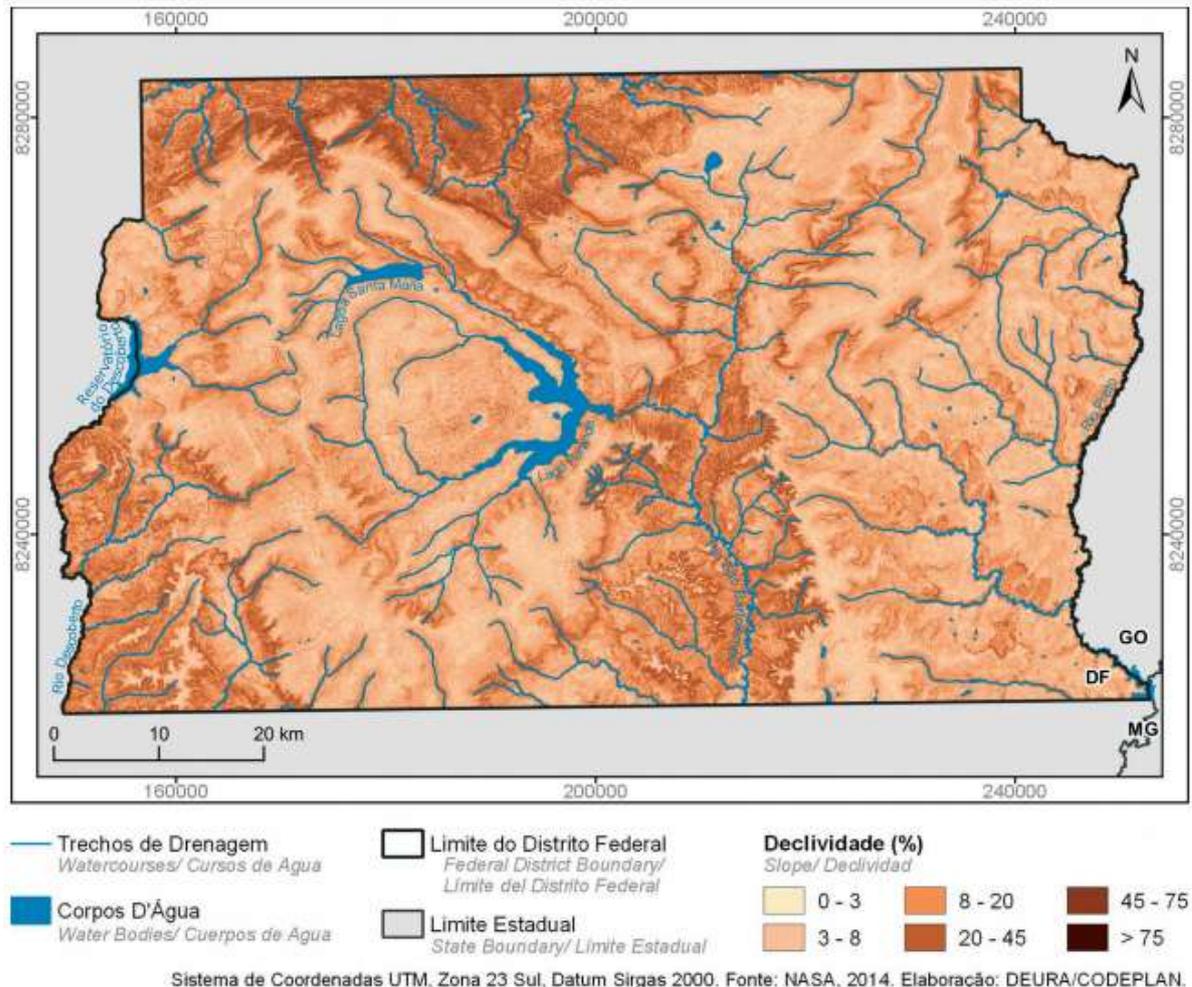


Figura 4.10 - Mapa de declividade do Distrito Federal (Fonte: CODEPLAN, 2020b).

4.3. PEDOLOGIA

Ter conhecimento dos tipos de solo presentes em uma região é de grande importância quando se visa a prevenção ou mitigação de danos ambientais causados por acidentes com líquidos perigosos nas bacias hidrográficas. Solos com maior permeabilidade estão mais suscetíveis à percolação de contaminantes por eles, assim como solos menos permeáveis ajudam a formar uma barreira física que facilitará o escoamento superficial dos contaminantes.

Os solos apresentam em sua composição variações granulométricas, diferentes proporções de silte, argila e areia, são essas proporções que formam solos com características físicas e químicas diferentes. Solos arenosos têm maior condutividade hidráulica, enquanto que solos argilosos têm menor condutividade hidráulica, capacidade de percolação de líquidos pelo solo. Essas características ajudam a determinar quais solos contribuem com o aumento da vulnerabilidade ambiental nas diferentes áreas de uma bacia hidrográfica em relação ao escoamento de produtos químicos na ocorrência de acidentes ambientais.

Uma característica importante dos solos é o índice de intemperismo do solo, o K_i , esse índice é calculado pela relação $SiO_2/Al_2O_3*1,7$ - quanto menor o valor, mais intemperizado é o solo e menor é a presença de argila, devido ao grau de decomposição da argila presente no solo (EMBRAPA, 2018).

Os solos que predominam no Distrito Federal são os Latossolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos, ocupando cerca de 60% do território, e os Cambissolos, ocupando cerca de 31% (CODEPLAN, 2020b). A seguir serão apresentadas as características mais pertinentes ao presente estudo das classes dos solos presentes no Distrito Federal com base em estudos realizados pela EMBRAPA nos anos 2004, 2014, 2018 e 2021:

- Cambissolo Háptico: Formada por solos pouco desenvolvidos, com alto teor de silte; possui ampla composição química e granulométrica (EMBRAPA, 2004a); possui K_i maior que 2,2 (EMBRAPA, 2018).

- Latossolo Vermelho e Vermelho-Amarelo: Solos muito intemperizados, com textura de média a muito argilosa; normalmente são solos bem drenados, muito profundos, em geral, fortemente ácidos; com bom fluxo de infiltração e estrutura granular estável, são muito porosos e permeáveis; têm Ki em torno de 2,0, com máximo em 2,2; são típicos de relevo plano e suave ondulado (EMBRAPA, 2018)
- Gleissolo Háptico: Formado de material argiloso, em sua maioria, são naturalmente saturados por água; possuem forte gleização em decorrência do ambiente livre de oxigênio, com espessura entre 10 cm e 50 cm; são eventualmente formados em áreas inclinadas sob influência de afloramento de água subterrânea (EMBRAPA, 2018).
- Espodossolo Ferriflúvico: Composição granulométrica com predomínio da fração areia; horizonte superficial com acúmulo de matéria orgânica e alumínio, sua cor varia de cinzenta a preta; são pobres em fertilidade; o caráter flúvico indica desenvolvimento sob forte influência de natureza aluvionar; o caráter férrico indica predominância desse metal em sua composição (EMBRAPA, 2018).
- Nitossolo Vermelho: São solos argilosos, normalmente, profundos e bem estruturados; devido às altas quantidades de argila, podem contrair e formar fendas em períodos secos; são moderadamente ácidos ou ácidos (EMBRAPA, 2018).
- Argissolo Vermelho-Amarelo: Possuem gradiente textural ao longo do perfil, têm maior teor de argila mais abaixo da superfície que na própria superfície (EMBRAPA, 2021); tem textura de argilosa a média; são moderadamente porosos e têm elevada suscetibilidade a erosão; o mineral predominante é a argila; são de forte a moderadamente ácidos, com Ki variando de 1,0 a 3,3 e espessura inferior a 50 cm (EMBRAPA, 2018).

- Neossolo Flúvico e Neossolo Quatzarênico: Solos jovens e profundos, constituídos por material mineral ou por material orgânico com menos de 20 cm de espessura; são solos que beneficiam a infiltração; são pobres em argila; o caráter flúvico pode apresentar camadas estratificadas devido a derivação de sedimentos aluviais; o caráter quatzarenico apresenta textura de areia ou areia franca em todos os horizontes; são essencialmente de quartzo e praticamente ausência de minerais primários alteráveis (EMBRAPA, 2018); os Neossolos Flúvicos estão presentes nas planícies das principais bacias do DF (EMBRAPA, 2004b)
- Plintossolo Pétrico: Solos com grande acúmulo e segregação de ferro, caracterizam-se por apresentar drenagem imperfeita e ciclos de redução e oxidação de ferro; são solos ácidos, com baixa fração de argila e muita fração de silte, atribuindo a ele K_i maiores que 2,2 (EMBRAPA, 2018); são típicos de regiões quentes e úmidas, encontram-se em relevo plano e suave-ondulado (EMBRAPA, 2004a).

A distribuição dos solos ao longo do território do Distrito Federal pode ser vista na Figura 4.11.

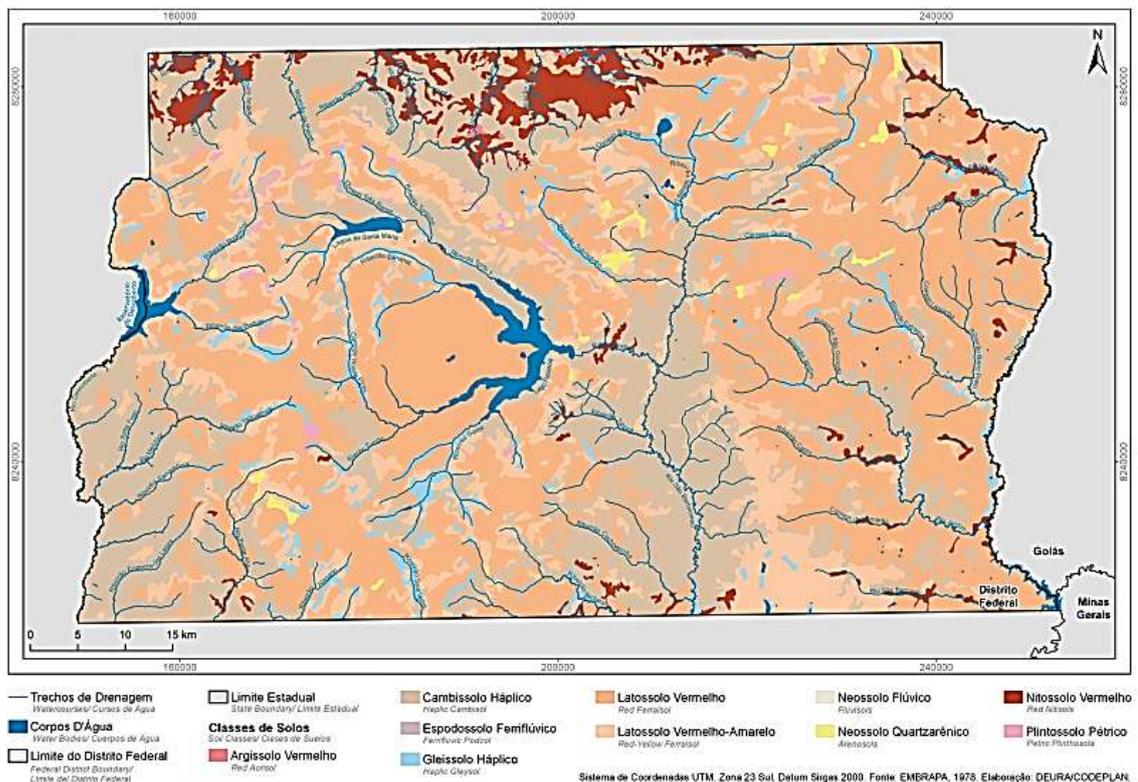


Figura 4.11 - Mapa pedológico do Distrito Federal (Fonte: CODEPLAN, 2020b).

4.4. USO E COBERTURA DO SOLO

O Distrito Federal está inserido na savana com maior biodiversidade no mundo, o Cerrado, que devido ao grande crescimento populacional nas últimas décadas, por conta da criação da capital do país nesse território na década de 60, o DF chega a ter quase 60% da sua cobertura natural desmatada.

De acordo com a Companhia de Desenvolvimento do Distrito Federal, a CODEPLAN, o Cerrado apresenta 11 tipos de fitofisionomias vegetais enquadradas em:

- Formações Florestais: Mata Ciliar e Mata de Galeria, associadas aos cursos d'água; Mata Seca e Cerradão, em interflúvios, em terrenos drenados, não associados aos cursos d'água.
- Formações Savânicas: Cerrado Sentido Restrito, Parque de Cerrado, Palmeiral e Veredas.
- Formações Campestres: Campo Sujo, o Campo Limpo e o Campo Rupestre

A Figura 4.12 é um mapa elaborado por Matheus Godinho para seu projeto final, com base na Classificação de Uso e Cobertura do solo do IBGE.

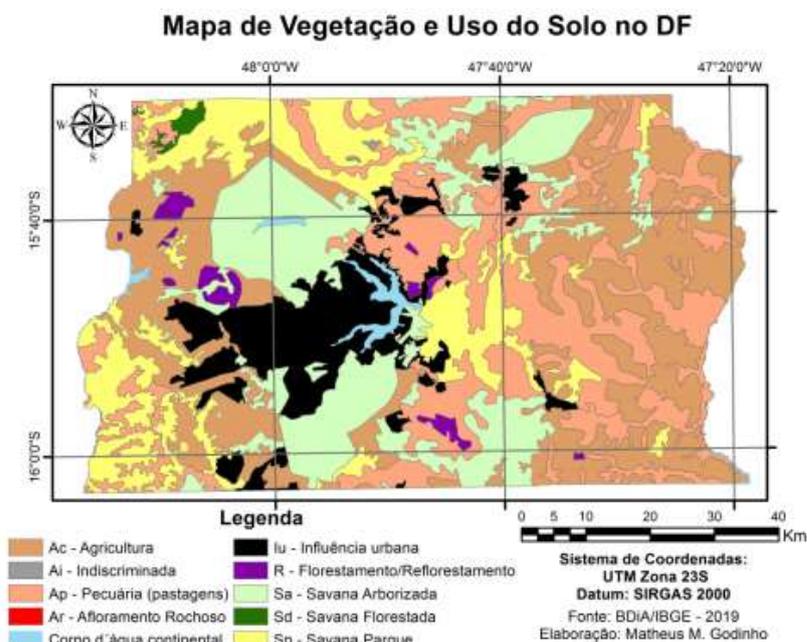


Figura 4.12 - Mapa de vegetação e Uso do Solo no DF (Fonte: Godinho, 2019).

A partir do mapa da Figura 19, Godinho (2019) chegou as seguintes conclusões:

A Agricultura e a Pecuária juntas, alcançam mais de 52% dos usos do solo no DF. De acordo com os dados utilizados, a área de influência urbana está próxima de 10%. A soma das áreas de Savana com as de Florestamento/Reflorestamento contabilizam quase 36% dos espaços do território, no qual a Savana Arborizada apresenta a maior concentração.

A Savana Arborizada (Campo-Cerrado) pode ter formação natural ou antrópica, tem como característica a presença de árvores isolada, em meio a um estrato herbáceo contínuo, com altura baixa, sujeitas a queimadas anuais (IBGE, 2012).

A Savana Florestada (Cerradão) caracteriza-se por uma floresta mais fechada e densa, com árvores de até 12 metros de altura (FAPESP, 2003).

A Savana Parque (Parque de Cerrado ou Campo Sujo) tem em sua constituição principalmente extrato graminoide, tem cobertura arbórea de 5% a 20%, que pode variar nos murunduns de 50% a 70% e com 0% nas depressões. Possui árvores de até 6 m de altura (VENTUROLI e SANQUETTA, 2019).

As áreas com Florestamento aquelas em que houve plantio de árvores onde não há histórico de floresta, enquanto que as áreas com Reflorestamento são áreas em que houve plantio de árvores e há histórico de floresta.

Para o IBGE (2000), “Área Urbana é a área interna ao perímetro urbano de uma cidade ou vila, definida por lei municipal”. Áreas com influência urbana podem ser reconhecidas por apresentarem vias, calçadas, edificações contínuas, saneamento, sistema de saúde e de educação, áreas de lazer.

Corpo d’água continental é aquele que se encontra em terra firme e são interligados pelos ecossistemas lênticos e lóticos, no DF, o corpo d’água que mais se destaca é o Lago Paranoá, utilizado para abastecimento público, para lazer e para aumentar a umidade do ar em Brasília.

4.5. RECURSOS HÍDRICOS

O DF, estando inserido no bioma conhecido como o berço das águas, o termo se dá devido às diversas nascentes que ele possui, abastecendo grande parte das bacias hidrográficas brasileiras e recarregando aquíferos no território nacional.

De 10 brasileiros, 9 consomem eletricidade produzida no Cerrado, uma vez que a principal fonte energética do Brasil vem da água: 70% das águas da usina de Tucuruí (PA), 50% da alimentação de água de Itaipu (PR), e quase 100% da água de Sobradinho (BA) vem do Cerrado (WWF BRASIL, 2016).

O planalto em que a capital do país se encontra, serve como cabeceira de três importantes bacias hidrográficas do Brasil: Bacia do São Francisco, Bacia do Paraná e Bacia do Tocantins. Sua hidrografia tem escoamento de cerca de dez bilhões de metros cúbicos de água anualmente. (CODEPLAN, 2020c).

O DF possui sete bacias hidrográficas, que estão sob risco de impactos ambientais devido ao alto crescimento demográfico das últimas décadas, são elas:

- Bacia do Rio Descoberto: formada pelo Rio Descoberto, que separa o Distrito Federal do Goiás no lado Oeste. Ele é responsável pelo abastecimento de 60% da população do DF. Seu entorno é povoado por núcleos urbanos de Taguatinga, Ceilândia, Brazlândia e Samambaia, no DF (CODEPLAN, 2020b).

- Bacia do Rio São Bartolomeu: Nela situa-se parte de Planaltina, Paranoá, São Sebastião e Santa Maria, é a bacia de maior área do DF (CODEPLAN, 2020b).
- Bacia do Lago Paranoá: essa é a única bacia totalmente dentro do território do DF, com altíssima densidade populacional devido a sua localização: a porção central do

DF. O Parque Nacional de Brasília está nessa bacia, além do Lago Santa Maria, um dos responsáveis pelo abastecimento de água no DF (CODEPLAN, 2020b).

- Bacia do Maranhão: abrange as RA's Brazlândia, Planaltina e Sobradinho, tem grande potencial turístico devido às suas cachoeiras e cânions (CODEPLAN, 2020b).
- Bacia do Rio Preto: formada pelo Rio Preto, separa DF de Minas Gerais e de Goiás, com uso da sua água para irrigação (CODEPLAN, 2020b).
- Bacia do Rio São Marcos: menor bacia do DF em área, sem núcleos urbanos próximos a ela (CODEPLAN, 2020b).
- Bacia do Rio Corumbá: abrange as RA's de Samambaia, Recanto das Emas, Gama e Santa Maria, seu terreno possui alta declividade (CODEPLAN, 2020b).

A contaminação dessas bacias traria prejuízo nacional e imediatamente traria grandes prejuízos, tanto ambientais, como sociais e econômicos, à população do DF e entorno. A Figura 4.13 e a Figura 4.14 representam as divisões das bacias hidrográficas do Distrito Federal e as unidades hidrográficas contidas nele, respectivamente.

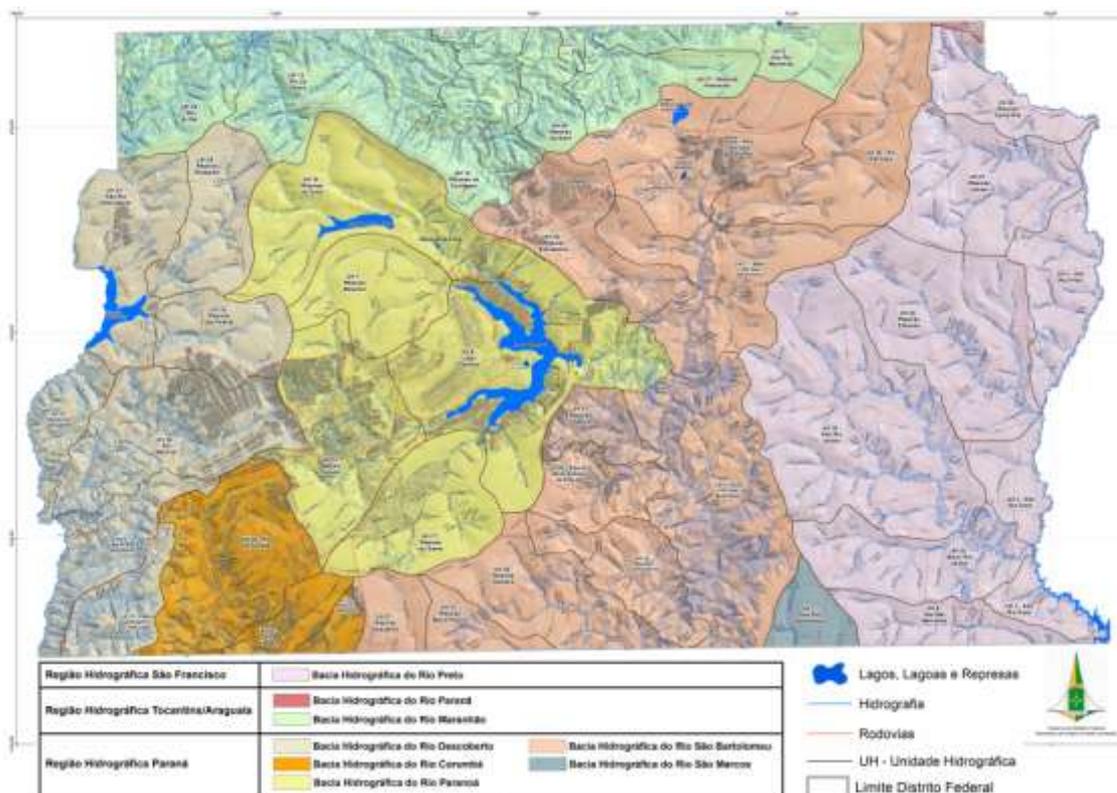


Figura 4.13 - Bacias hidrográficas do Distrito Federal (Fonte: SEMA, 2016).



Figura 4.14 - Unidades Hidrográficas e divisão das Bacias Hidrográficas do Distrito Federal (Fonte: Adasa, 2020).

4.6. CAPTAÇÃO DE ÁGUA NO DISTRITO FEDERAL

A Figura 4.15 apresenta os cinco Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) do Distrito Federal, são eles:

- Sistema Descoberto: capacidade de produção de água de 6.170 L/s e captação média de 3.981 L/s em 2019. A captação no Rio Descoberto é utilizada para abastecer as RA's Taguatinga, Ceilândia, Samambaia, Gama, Sítio do Gama, Núcleo Bandeirante, Park Way, Santa Maria, Recanto das Emas, Riacho Fundo I e II, Candangolândia, Guará I e II, Águas Claras, Vicente Pires. A partir dessa captação também ocorre o abastecimento das localidades: Novo Gama/GO e reforço para o sistema Santa Maria/Torto; A captação no Rio Alagado tem vazão de outorga de 76 L/s; A captação no Rio Crispim tem vazão outorgada de 48 L/s, ajudando no abastecimento do Rio Descoberto no Gama; A captação no Rio Catetinho complementa o abastecimento do Descoberto no Núcleo Bandeirante e no Park Way (ADASA, 2021a).
- Sistema Torto/Santa Maria: vazão média de 2.780 L/s em 2019, composto por quatro subsistemas de captação superficial e 21 de captação subterrânea. A captação do Santa Maria tem vazão outorgada de 1.478 L/s; A captação do Torto tem vazão outorgada de 1.647 L/s; A captação no ribeirão Bananal tem vazão outorgada de 750 L/s; A captação no subsistema Lago Norte tem vazão outorgada de 700 L/s; A captação Cabeça do Veado 4 tem vazão outorgada que varia de 85,36 L/s a 138,4 L/s ao longo do ano; A captação Cachoeirinha tem capacidade de fornecer 36 L/s de água; A captação Taquari 1 e 2 tem vazão outorgada que varia de 10,5 L/s a 39,9 L/s ao longo do ano (ADASA, 2021b).
- Sistema Sobradinho/Planaltina: vazão média captada em 2019 de 678 L/s, possui oito captações superficiais e pouco mais de 70 captações subterrâneas (poços).

- O Subsistema Pipiripau abastece Planaltina e complementa o abastecimento de Sobradinho I e Arapoanga, com captação no Pipiripau, Fumal e Brejinho. A captação Pipiripau tem vazão outorgada que varia de 380 L/s a 400 L/s ao longo do ano; A captação Fumal tem vazão outorgada que varia de 203 L/s a 300 L/s ao longo do ano; A captação Brejinho tem vazão outorgada que varia de 67 L/s a 111 L/s ao longo do ano (ADASA, 2021c).
- O Subsistema Planaltina abastece Planaltina e complementa o abastecimento de Sobradinho I e Arapoanga, a partir das captações Mestre D'Armas e Corguinho. A captação Mestre D'Armas tem vazão de outorga de 80 L/s, enquanto que a captação Corguinho tem vazão de outorga que varia de 55 L/s a 127 L/s ao longo do ano (ADASA, 2021c).
- O Subsistema Sobradinho abastece Sobradinho I e II, com captação no Paranoazinho, Contagem I e II e parte da captação do Corguinho. A captação do Paranoazinho tem vazão outorgada de 68 L/s; A captação Contagem I tem vazão outorgada variando de 27 L/s a 69 L/s ao longo do ano (ADASA, 2021c).
- Subsistema Vale do Amanhecer abastece o Vale do Amanhecer, com captação do Córrego Quinze, com vazão outorgada de 60 L/s (ADASA, 2021c).
- Sistema Brazlândia: não recebe reforço de outros sistemas, com captação no Barroão e no Capão da Onça, as duas juntas têm vazão de outorga que varia de 144 L/s a 209 L/s. As regiões atendidas por esse sistema são algumas das mais sensíveis a desabastecimento, duas delas são significativamente grandes e dependem de fornecimento de energia por usar bombeamento (ADASA, 2021d).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia teve início com o levantamento bibliográfico e a fundamentação teórica sobre o contexto dos acidentes ambientais, terminologia, levantamento de informações importantes a respeito do transporte de combustíveis líquidos, bem como sobre a situação do Distrito Federal em questões relevantes a este estudo. Além disso, foi realizado um levantamento sobre as normativas e instruções mais importantes relacionadas ao transporte de cargas perigosas, a conduta adequada em caso de acidentes com combustíveis líquidos, dados e informações estatísticas relativas aos acidentes envolvendo transporte de líquidos inflamáveis em rodovias no Brasil e no DF. Com base no levantamento realizado, delineou-se o fluxograma metodológico com as principais etapas deste projeto, apresentado na Figura 5.1.

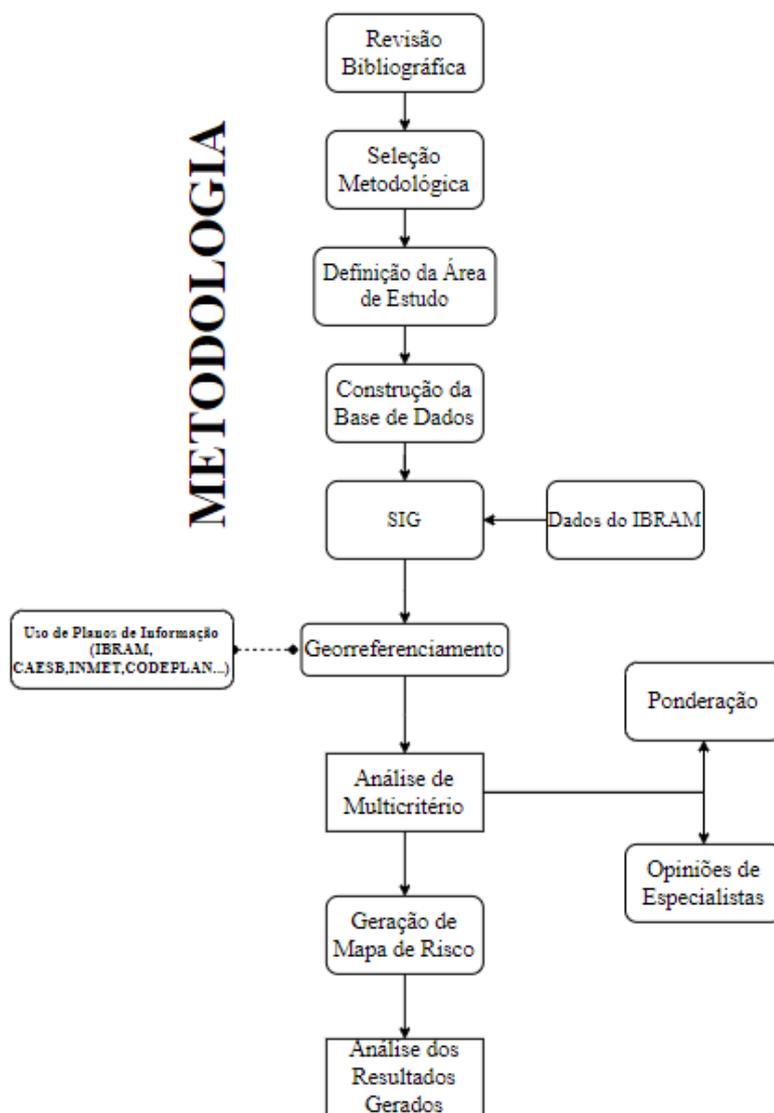


Figura 5.1 - Fluxograma da Metodologia.

O delineamento do presente trabalho foi motivado pela continuidade da análise realizada por Godinho (2019) e pela necessidade de aprimoramento metodológico e atualização e ampliação da base de dados utilizada naquele trabalho.

Trata-se de uma parceria estabelecida entre o Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (UnB) e a Diretoria de Emergência, Riscos e Monitoramento (DIREM), Superintendência de Fiscalização, Auditoria e Monitoramento (SUFAM) do Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal (Brasília Ambiental). Os dados dos acidentes ambientais (ocorrências) ocasionados pelo transporte de produtos perigosos no Distrito Federal foram cedidos para a realização do trabalho e o delineamento do trabalho foi discutido com a equipe técnica do Brasília Ambiental.

Como contrapartida ao Brasília Ambiental, o trabalho visou contribuir com informações e mapeamentos para o Programa de Prevenção, Preparação e Resposta Rápida a Emergências Ambientais com Produtos Químicos Perigosos – P2R2 – no Distrito Federal.

Em função do interesse do Brasília Ambiental no aprimoramento das análises realizadas por Godinho (2019), a direta relação com os avanços dos trabalhos do P2R2 e devido aos recorrentes acidentes com o transporte de produtos perigosos no Distrito Federal, a área de estudo foi definida como o território de abrangência dessa Unidade da Federação.

Em seguida, escolheu-se a metodologia a ser utilizada. Conforme já mencionado, este estudo se iniciou com Godinho (2019), e utilizou-se uma metodologia preliminar de ponderação de alguns fatores de risco. Este trabalho buscou um aprimoramento do levantamento realizado anteriormente, a partir da aplicação do método AHP, uma Análise Multicritério utilizada como apoio na tomada de decisões, acoplada ao Sistema de Informações Geográficas, com foco na análise da vulnerabilidade ambiental associada à contaminação de mananciais de abastecimento humano no Distrito Federal.

Foram solicitados dados aos órgãos que se fizeram necessários, para que fosse possível a realização das análises propostas. A Tabela 5.1 apresenta a base de dados necessários para a confecção do Mapa de Vulnerabilidade proposto e as fontes que forneceram esses dados.

Tabela 5.1 - Base de dados para o mapa de vulnerabilidade e órgãos as forneceram.

Base de Dados	Fonte	Período dos dados
Limites do DF	GeoPortal	2021
Pedologia	IBGE	2007
Vegetação/Usos e cobertura do solo	SEMA	2020
Modelo Digital de Elevação	EMBRAPA	2005
Geomorfologia	IBGE	2019
Recursos Hídricos	SEDUH - DF	2015
Áreas contaminadas	Brasília Ambiental	2008 - 2021
Histórico de Acidentes	Brasília Ambiental	2008 - 2021
Vias e Rodovias	IBGE	2019
Pontos de captação superficial de água para consumo humano	Adasa, Caesb	2019
Unidades de Resposta	CBMDF	2021

5.2. PROGRAMAS COMPUTACIONAIS

Foi utilizado neste trabalho um editor de planilhas para computadores produzido pela Microsoft que utiliza o sistema operacional Windows: o Microsoft Excel. Ele é amplamente utilizado em todo o mundo e para diversas finalidades. No presente estudo, utilizou-se como ferramenta para a preparação dos dados a serem utilizados na aplicação do método AHP, na realização de cálculos e iterações com uso de fórmulas do Processo de Análise Hierárquica, e fórmulas de otimização do próprio programa.

Além do Excel, foi utilizado o software ArcGIS, um pacote computacional que engloba vários programas de SIG, utilizados para criar e editar mapas, compilar dados geográficos,

georreferenciar imagens, dentre inúmeras outras funcionalidades. Um dos principais componentes do ArcGIS é o ArcMap, um programa usado para visualizar, editar, criar e analisar dados geoespaciais. No presente trabalho, foram aplicados os dados obtidos, citados anteriormente, com todas as ponderações, feitas de acordo com o método AHP, no ArcGis Pro, que é uma versão gratuita do ArcGis, sendo a versão mais recente do software.

5.3. GERAÇÃO DE MAPA DE VULNERABILIDADE DE ACIDENTES AMBIENTAIS RODOVIÁRIOS NO DF

O P2R2 (2004) define como estratégia para o mapeamento de áreas de risco a identificação e caracterização da área, a partir do levantamento de dados e avaliação das relações entre:

- as atividades potencialmente impactantes ao meio;
- os sítios frágeis ou vulneráveis;
- o histórico de ocorrência de acidentes ambientais e
- as unidades de resposta existentes.

A Figura 5.2 representa o fluxograma de como a metodologia adotada no desenvolvimento deste trabalho seguiu a estratégia de mapeamento do P2R2. Primeiramente, é necessária a definição da região de interesse, o DF. A atividade potencialmente impactante do presente trabalho é o transporte de combustíveis líquidos nas rodovias do território do DF. Para isso, foi necessário ter a malha rodoviária do DF.

Sobre os sítios sob vulnerabilidade, planos de informação que tragam informações inerentes área de estudo são importantes, tais como o uso do solo, a cobertura do solo, a pedologia, a localização de mananciais e de pontes, locais onde existem os cruzamentos entre as avenidas e rodovias com os ambientes aquáticos.

O histórico de acidentes é importante na identificação de regiões de tráfego que apresentem maior risco de acidentes. O foco da análise é o acidente de caminhões, mas estatísticas

associadas aos variados tipos de acidentes ambientais podem contribuir com a construção da análise e geração do mapeamento.

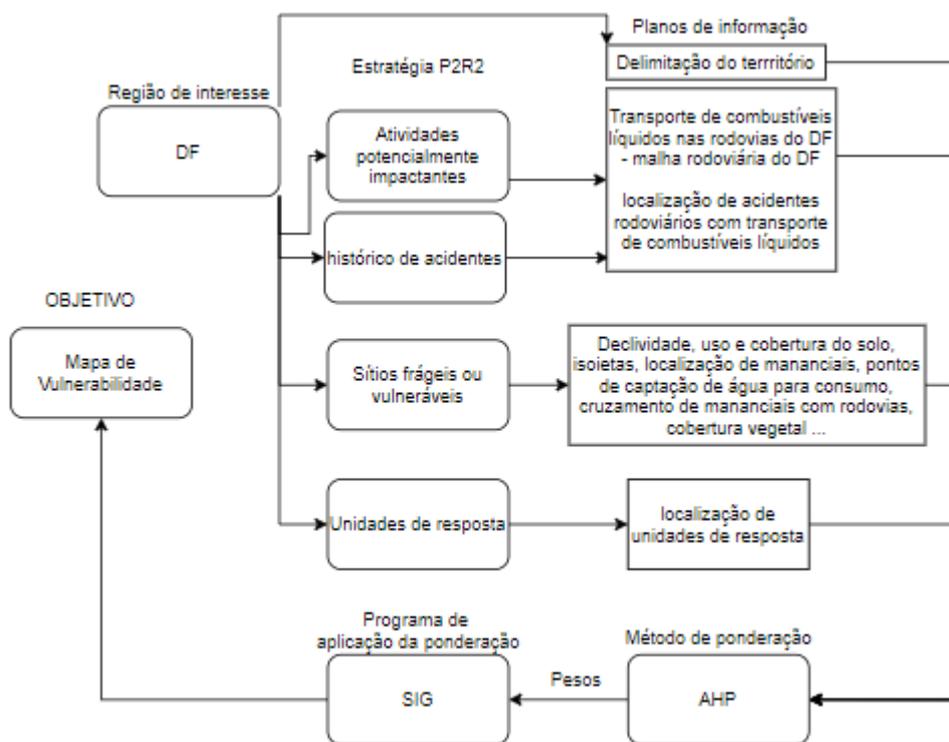


Figura 5.2 - Fluxograma de alinhamento da metodologia adotada no presente trabalho à estratégia de mapeamento do P2R2.

Outro dado importante refere-se à localização das unidades de resposta, essenciais no atendimento emergencial na ocorrência de acidentes ambientais. Essas unidades foram mapeadas e georreferenciadas com base em endereços e informações disponibilizados pelo CBMDF. Após a aquisição dos dados e dos planos de informação, foram realizadas ponderações como parte da aplicação do método AHP e, posteriormente, associados os pesos atribuídos aos planos de informação.

Como resultado do uso de Análise Multicritério no SIG, a aplicação do método AHP foi realizada a partir dos dados disponibilizados pelos órgãos e entidades já citados e demais dados e informações preparados. O objetivo final dessa aplicação foi a geração de um Mapa de Vulnerabilidade de Acidentes Ambientais Rodoviários com Transporte de Combustíveis Líquidos que Possam Contaminar Mananciais de Captação de Águas Superficiais para Abastecimento Humano.

A expectativa é que o mapa elaborado no trabalho servirá de auxílio aos trabalhos do Brasília Ambiental no P2R2 no Distrito Federal, para que seja priorizada a prevenção de acidentes, e para que, caso ocorram, os órgãos competentes estejam melhores preparados e com unidades mais próximas, uma vez que o tempo de resposta é de extrema importância para a redução dos impactos causados pela contaminação de mananciais.

5.3.1. Método de Ponderação

A Figura 5.3 representa uma visão geral da estrutura hierárquica proposta por Saaty (2008) aplicada ao presente trabalho. Trata-se de uma estrutura com valores genéricos, somente para visualização e compreensão da aplicação do método.

O objetivo, o primeiro nível dessa estrutura, neste trabalho, foi a geração do Mapa de Vulnerabilidade Ambiental. O segundo nível refere-se aos critérios selecionados para a análise, tais como a declividade do terreno, o uso e ocupação do solo, a distância dos pontos de captação até as rodovias, a pedologia, a geomorfologia, e outras que se fizeram importantes na análise proposta. O terceiro nível foi dado pelos subcritérios, que dependem dos critérios, são características relacionadas a eles. E o quarto nível referiu-se às alternativas, que foram possibilidades variadas.

Buscou-se a identificação de regiões com maior vulnerabilidade, com base em critérios e pesos atribuídos a esses critérios. Para facilitar a compreensão de que o objetivo não é a escolha de uma única alternativa, um dos exemplos de alternativas trabalhadas é apresentado a seguir:

Alternativa A: Declividade entre 0 e 2%, Solo exposto, distância do ponto de captação a rodovia de 2km, tipo de solo: cambissolo háplico.

No fim da aplicação do método, chegou-se aos maiores valores de vulnerabilidade e aos critérios associados. Foram estes os resultados de maior interesse: os pesos de importância em vulnerabilidade ambiental para serem associados às áreas dos mapas relevantes a este estudo.

Com o auxílio de especialistas, foram atribuídos pesos aos critérios e aos subcritérios, que representaram o grau de importância de cada um, com vistas a minimizar ponderações que possam não condizer com a realidade observada na área de estudo. Essas ponderações foram baseadas em decisões técnicas, que foram transformadas em valores numéricos, variando de 1 a 9, como pode ser visto na Tabela 5.2.

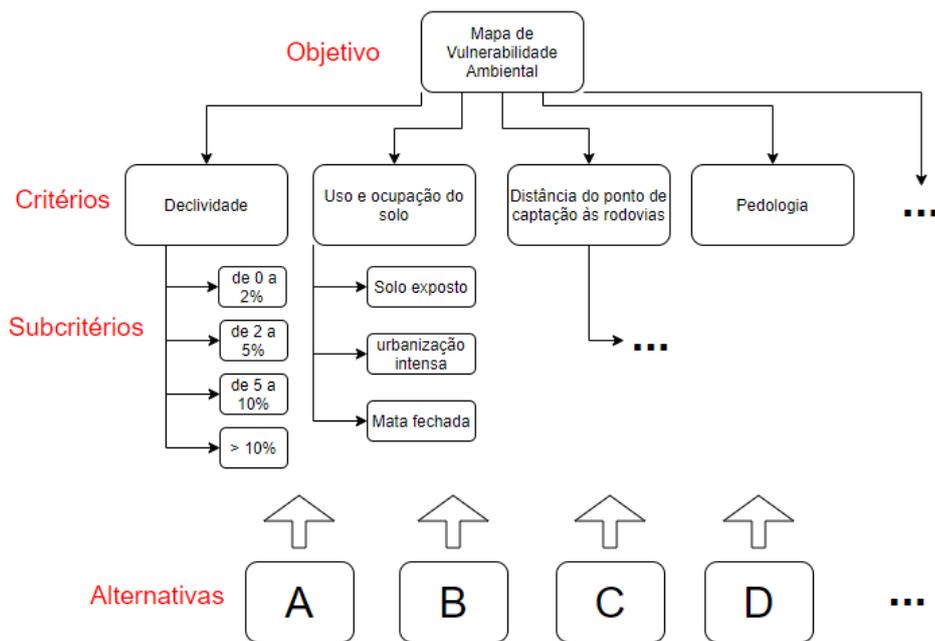


Figura 5.3 - Proposta de estrutura hierárquica do presente trabalho.

Tabela 5.2 - Definições das intensidades de importância no método AHP (Fonte: Saaty, 2008).

Intensidade de importância	Definição
1	Igual importância
2	Pouca importância
3	Moderada importância
4	Um pouco mais que moderada importância
5	Forte importância
6	Mais do que forte importância
7	Muito forte importância
8	Muito muito forte importância
9	Extrema importância

5.3.1.1. Critérios e Subcritérios

A Tabela 5.3 mostra um exemplo de como poderia ser feita a ponderação dos critérios deste projeto. A ponderação foi sempre realizada em pares, por exemplo: a declividade em relação ao uso e cobertura do solo, a pedologia em relação a distância de captação, as rodovias em relação a distância dos acidentes aos mananciais, e assim por diante.

Tabela 5.3 - Exemplo da matriz absoluta de possíveis prioridades dos critérios do presente trabalho.

	Declividade	Uso e cobertura do solo	Dist. Captação a rodovias	Pedologia
Declividade	1	1/7	1/3	1/2
Uso e cobertura do solo	7	1	5	5
Distância entre ponto de Captação e rodovias	3	1/5	1	3
Pedologia	2	1/5	1/3	1

Esse método precisa seguir uma consistência lógica: nota-se que a diagonal principal dessa matriz tem valores sempre iguais a 1, isso ocorre porque é uma comparação de um critério com respeito a si próprio, e a prioridade de um fator com relação a si mesmo é sempre 1;

outras comparações também devem seguir uma lógica de comparação, por exemplo, se “a” > “b” e “b” > “c”, então, necessariamente, “a” > “c”.

Do ponto de vista da aplicação do método AHP neste trabalho, se a declividade tem igual importância de uso e cobertura do solo, e uso e cobertura do solo tem moderada importância sobre a pedologia, então declividade também tem moderada importância com relação a pedologia.

Os passos que se seguem foram aplicados tanto aos critérios quanto aos subcritérios: foi realizada a normalização da matriz, utilizando a soma de cada coluna da matriz, e dividindo essas somas por cada célula da coluna. A Tabela 5.4 mostra a normalização da Tabela 7, bem como o vetor da média aritmética, que é a média dos valores das linhas da matriz normalizada.

O passo seguinte foi a multiplicação da matriz absoluta, antes de normalizar, pelo vetor da média aritmética, como mostrado na Figura 5.4.

Tabela 5.4 - Exemplo de matriz normalizada no Método AHP.

	Declividade	Uso e cobertura do solo	Dist. Captação a rodovias	Pedologia	Média
Declividade	0,08	0,09	0,05	0,05	0,07
Uso e cobertura do solo	0,54	0,65	0,75	0,53	0,62
Dist. Captação a rodovias	0,23	0,13	0,15	0,32	0,21
Pedologia	0,15	0,13	0,05	0,11	0,11

Tabela 5.6 - Exemplo genérico do resultado esperado do uso do método AHP

Critério	Preferência C	Subcritério	Preferência SC
C1	x	SC11	a
		SC12	b
		SC13	c
C2	y	SC21	d
		SC22	e
		SC23	f
C3	z	SC31	g
		SC32	h
		SC33	i

Os Índices de Vulnerabilidade foram calculados da seguinte forma:

Alternativa A: $a \times x + d \times y + g \times z$

Alternativa B: $b \times x + d \times y + g \times z$

Alternativa C: $a \times x + e \times y + g \times z$

Podendo-se chegar a vários resultados, mas como o foco é num gradiente de vulnerabilidade, para a obtenção dos maiores índices de vulnerabilidade, basta utilizar os maiores valores de preferência dos subcritérios associados ao seu critério, por exemplo: se b é o maior valor de preferência dentro de C1, f é o maior valor de preferência de C2 e g é o maior valor de preferência de C3, então o Índice de Vulnerabilidade máximo será o resultado de $b \times x + f \times y + g \times z$, o mesmo raciocínio vale para o segundo maior, e os seguintes.

5.3.2. Mapas de dados iniciais

Para a criação do mapa final de vulnerabilidade proposto é necessário que se tenha vários dados, que já foram citados anteriormente. Esses dados estão disponibilizados em forma de tabelas, de shapefiles, de camadas, de mapas, e todos devem ser padronizados de forma a serem cabíveis de associações no ArcGis Pro.

A seguir serão apresentados mapas que representam o resultado dessa padronização. Todos estão georreferenciados com base no Sistema de Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) e com o Sistema de Referência Geocêntrico WGS-84 World Geodetic System (GPS), um Sistema de Referência Terrestre Convencional (CTRS) mundialmente utilizado e que é equivalente ao sistema de referência oficial do Brasil, o SIRGAS2000.

O primeiro mapa, mostrado na Figura 5.5, trata-se do Mapa Pedológico do Distrito Federal, que traz informações acerca dos tipos de solo no DF. Os dados para a criação desse mapa são disponibilizados pelo IBGE (2002-2007) de acordo com o recorte geográfico do Mapeamento Topográfico Sistemático Terrestre do Brasil na escala 1:1.000.000.

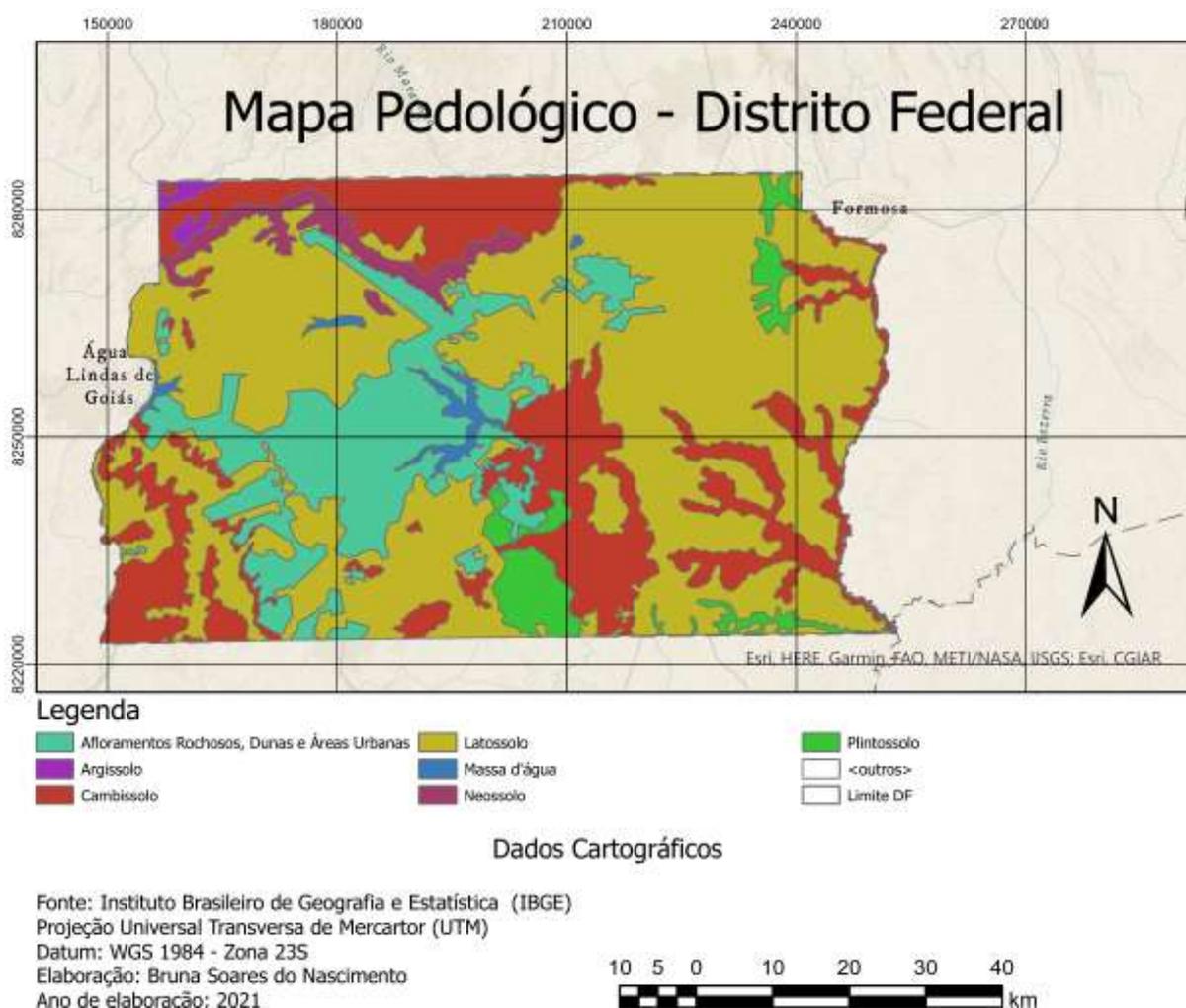


Figura 5.5 - Mapa Pedológico do Distrito Federal.

O segundo mapa, mostrado na Figura 5.6, trata-se do Mapa de Declividade do Distrito Federal. Esse mapa foi criado a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE), disponibilizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) com escala 1:250.000, a partir de um projeto que se utilizou das imagens do satélite Landsat e das imagens da nave espacial americana durante a missão conhecida como SRTM (Shuttle Radar Topography Mission).

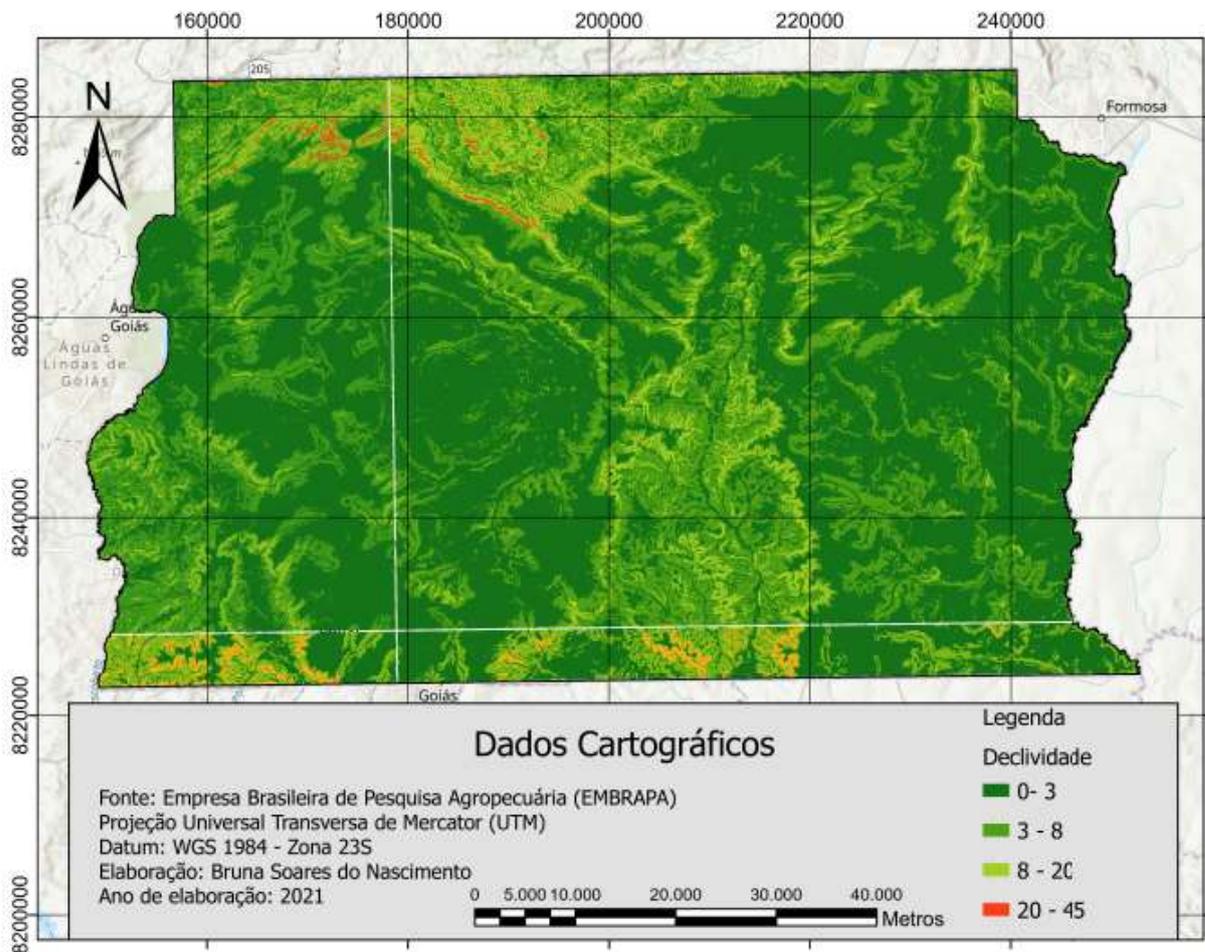


Figura 5.6 - Mapa de Declividade do Distrito Federal.

O terceiro mapa, mostrado na Figura 5.7, trata-se do Mapa Geomorfológico do Distrito Federal, produzido a partir de dados disponibilizados pelo IBGE, com recortes geográficos do Mapeamento Topográfico Sistemático Terrestre do Brasil na escala 1:1.000.000.

No quarto mapa, mostrado na Figura 5.8, constam os corpos hídricos superficiais do Distrito Federal, com base em dados disponibilizados pela Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação do Distrito Federal (SEDUH/DF).

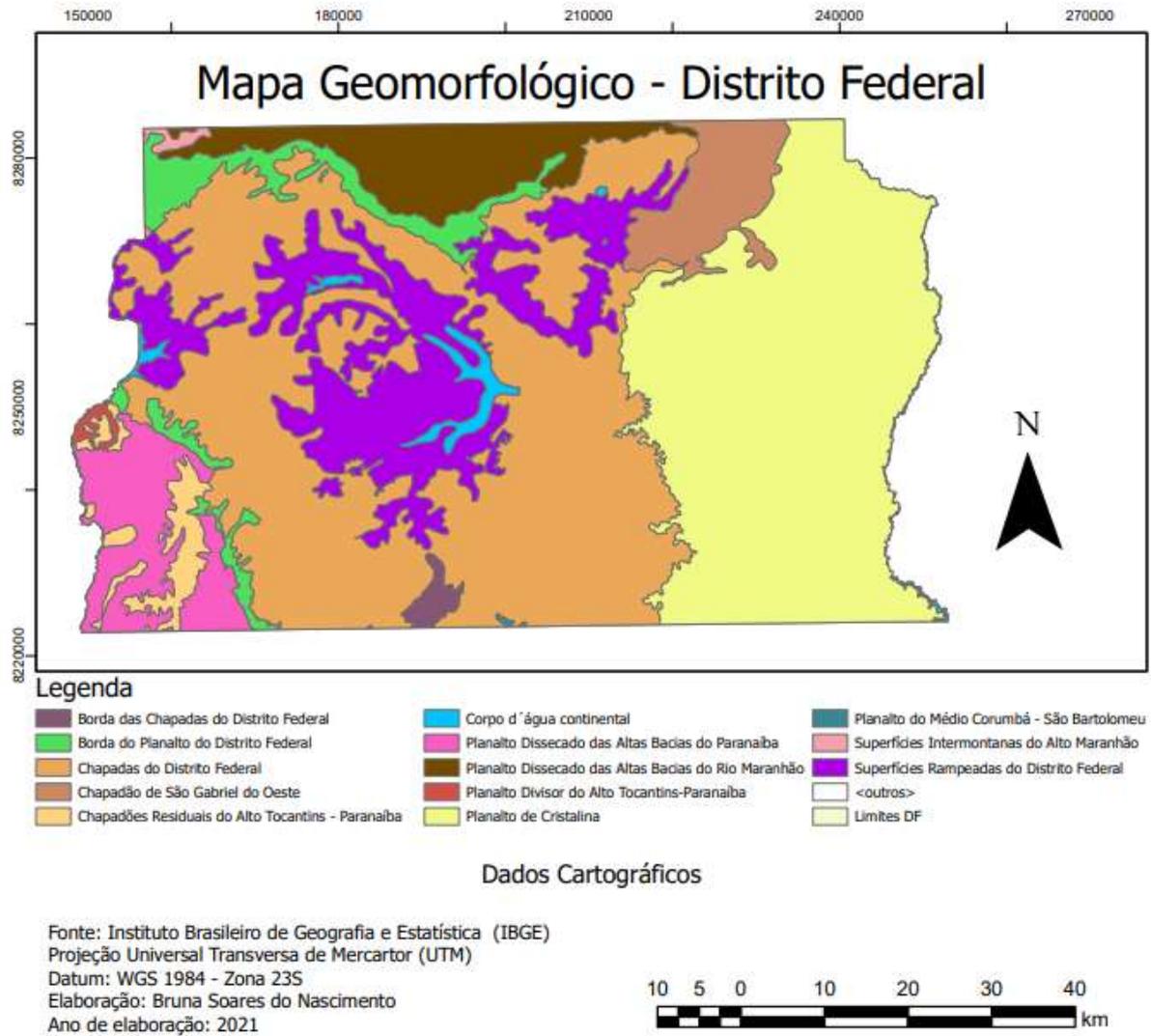
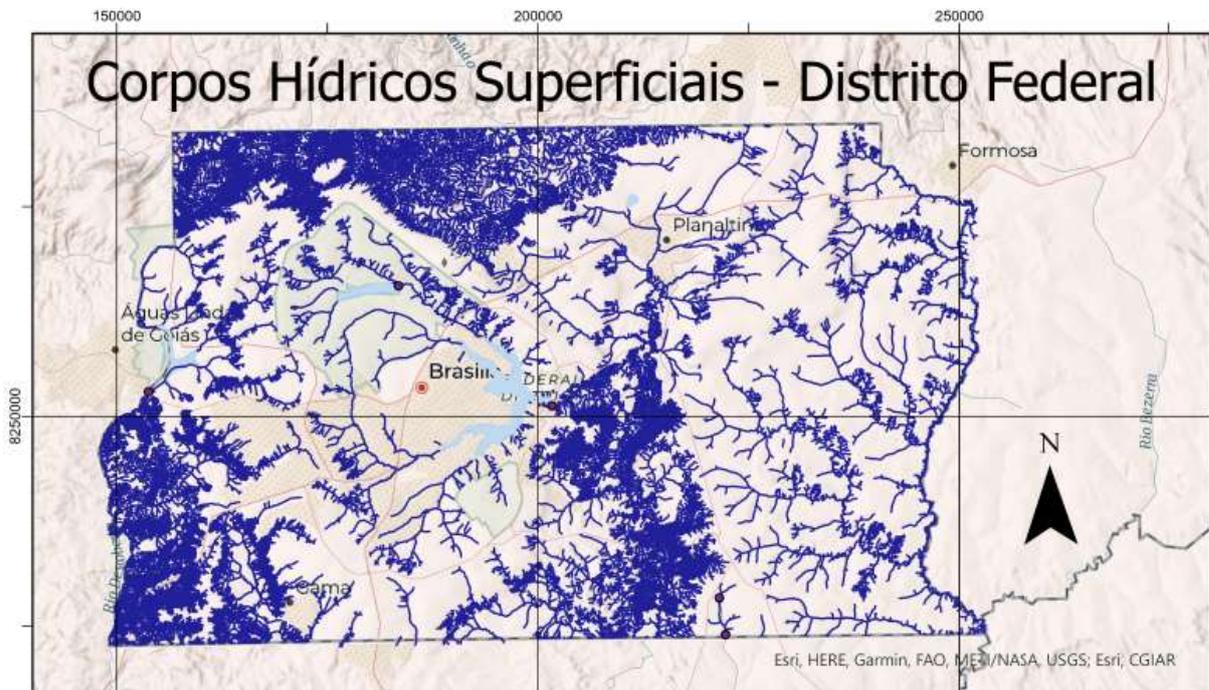


Figura 5.7 - Mapa Geomorfológico do Distrito Federal.



Dados Cartográficos

Fonte: Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação (SEDUH - DF)
 Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
 Datum: WGS 1984 - Zona 23S
 Elaboração: Bruna Soares do Nascimento
 Ano de elaboração: 2021



Legenda

- UF, DF
- Barragens
- Rios e Córregos
- Lagos e Reservatórios

Figura 5.8 - Mapa de corpos hídricos superficiais do Distrito Federal.

O quinto mapa, mostrado na Figura 5.9, trata-se do Mapa de Uso e Ocupação do Solo do Distrito Federal do ano de 2020, criado a partir de dados disponibilizados pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Distrito Federal (SEMA/DF) em escala 1:25.000. Os dados de uso e ocupação foram separados em níveis de classificação pela SEMA. Para esse mapa, foram utilizados os dados constantes no Nível 2 dessa classificação, com adaptações.

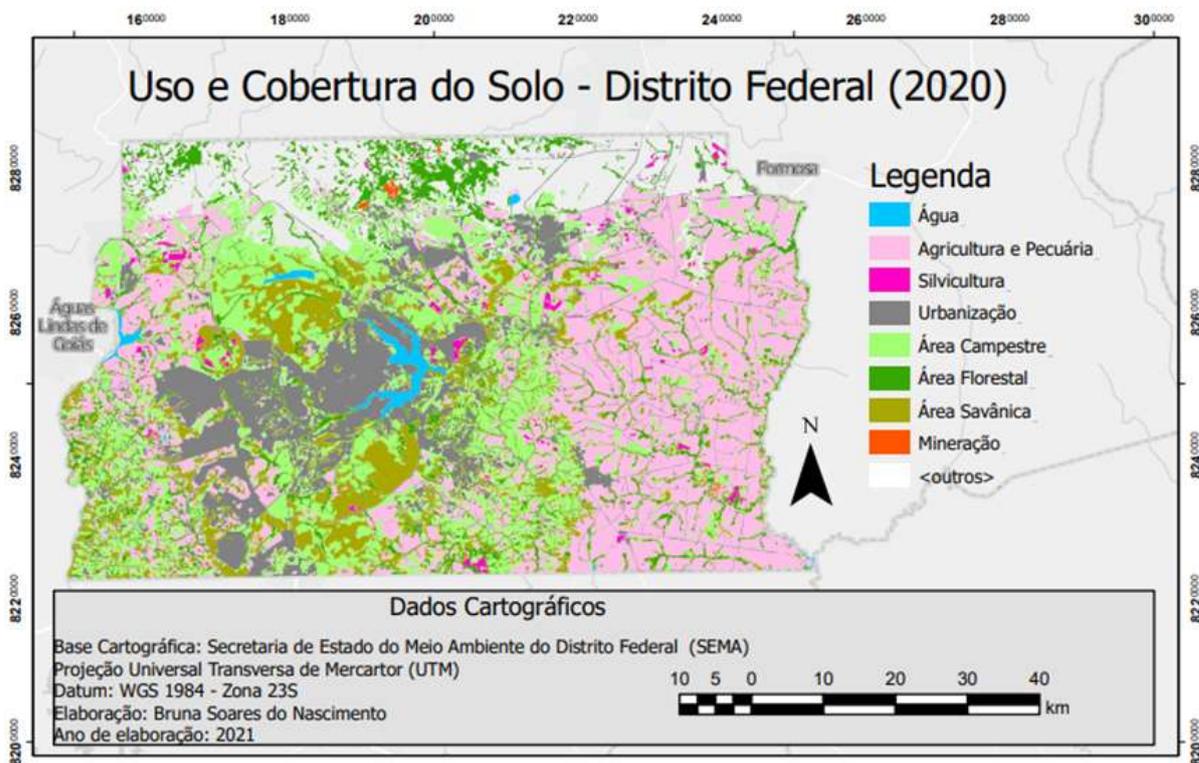


Figura 5.9 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo do Distrito Federal do ano de 2020.

A Figura 5.10 mostra os pontos de captação superficial para abastecimento humano no DF. Os dados foram compilados como resultado de um cruzamento de informações fornecidas pela Adasa e pela Caesb no ano de 2019.

A Figura 5.11 mostra as vias e rodovias do Distrito Federal no ano de 2019, a partir de dados disponibilizados pelo IBGE.

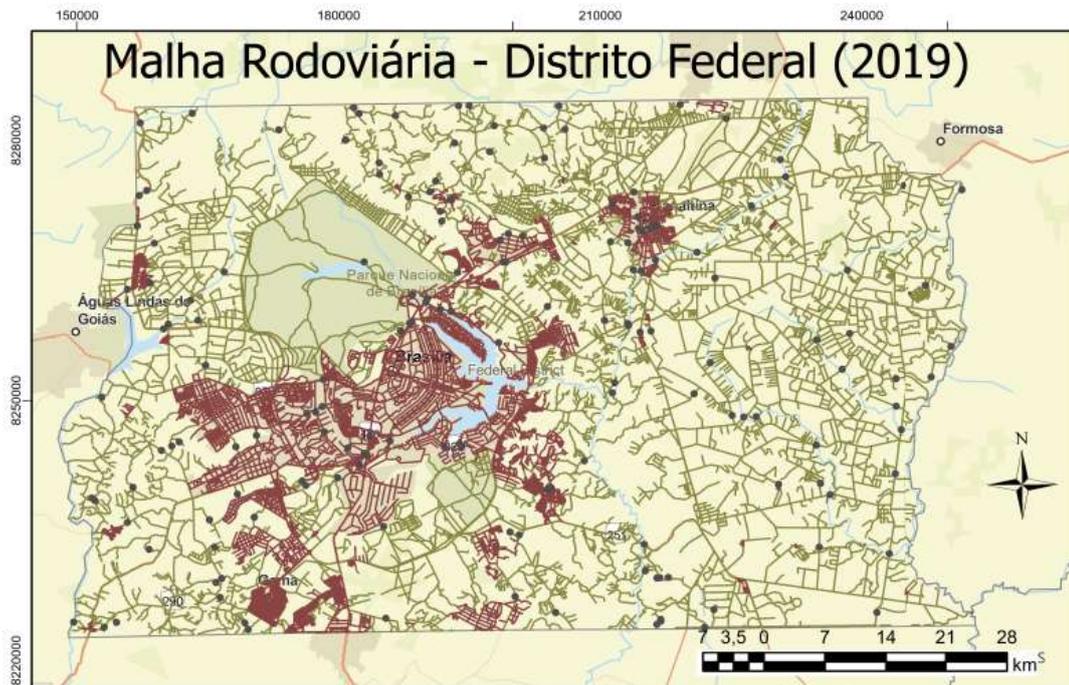


Dados Cartográficos
 Fontes: Agência Reguladora de águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal (Adasa) e Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (Caesb)
 Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
 Datum: WGS 1984 - Zona 23S
 Elaboração: Bruna Soares do Nascimento
 Ano de elaboração: 2021

Legenda
 □ UF_DF
 ● Captação Superficial

0 5 10 20 30 40 km

Figura 5.10 - Pontos de captação superficial para abastecimento humano no DF.



Dados Cartográficos
 Base Cartográfica: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)
 Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
 Datum: WGS 1984 - Zona 23S
 Elaboração: Bruna Soares do Nascimento
 Ano de elaboração: 2021

Legenda
 ● Ponte
 — Arruamento
 — Trecho_Ponte
 — Trecho_Rodoviario

0 3,5 7 14 21 28 km^S

Figura 5.11 - Malha Rodoviária do Distrito Federal no ano de 2019.

O mapa da Figura 5.12 mostra os locais com contaminação ambiental em monitoramento desde 2008 até 2021 e foi realizado com base em dados disponibilizados pelo Brasília Ambiental.



Figura 5.12 - Mapa de contaminação ambiental no DF monitorados de 2008 a 2021.

A Figura 5.13 mostra o histórico de acidentes ambientais no Distrito Federal com base em dados disponibilizados pelo Brasília Ambiental, desde o ano 2008 até 2021.

A Figura 5.14 mostra a localização das unidades de resposta do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal. Os dados para a criação desse mapa foram retirados do site do CBMDF, no qual contém o endereço de todas as unidades atualizados até 2021. A partir disso, foi realizado o georreferenciamento dessas unidades.



Figura 5.13 - Mapa de acidentes ambientais ocorridos no DF de 2008 a 2021.

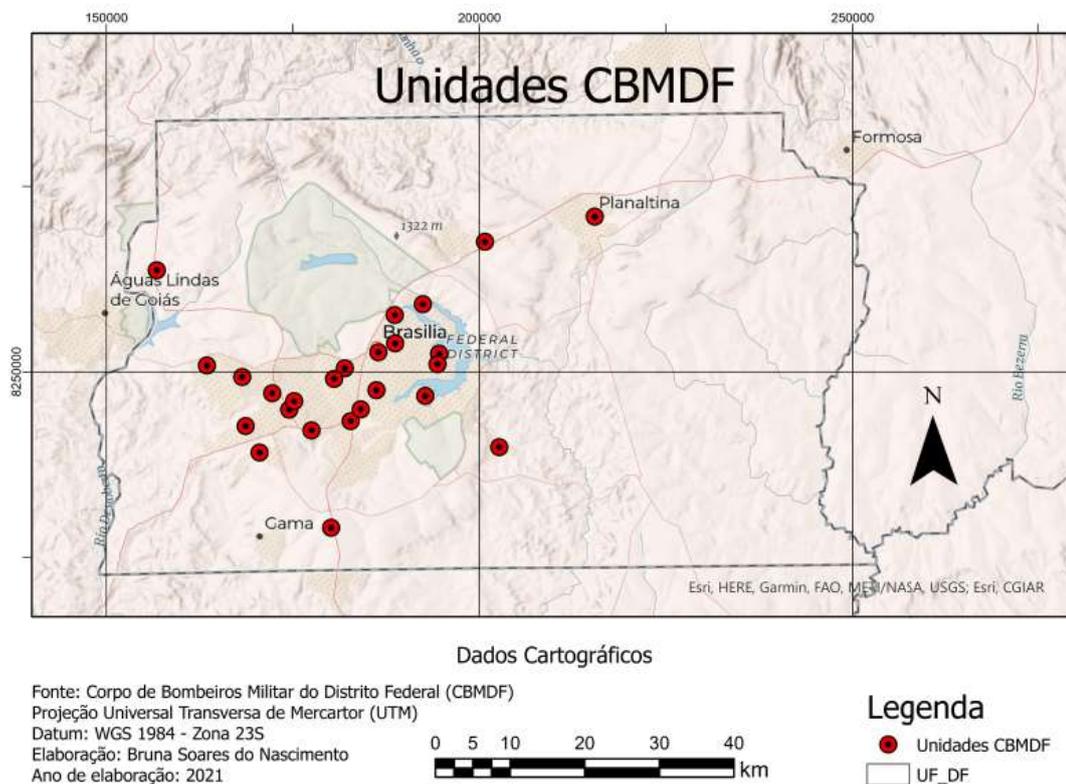


Figura 5.14 - Unidades de Resposta Rápida do Distrito Federal.

5.3.3. Definição dos critérios

A princípio, decidiu-se que os critérios relevantes a este estudo seriam os presentes nos mapas mostrados no tópico anterior, sendo eles: pontos de captação de água superficial para consumo humano, vias e rodovias, corpos hídricos superficiais, histórico de acidentes, áreas contaminadas, declividade, uso e cobertura do solo, unidades do CBMDF, pedologia e geomorfologia.

Ao longo do processo de definição e refinamento, observou-se redundância em questões de maior relevância para esse estudo entre os critérios de Geomorfologia e de Declividade. Além disso, houveram dificuldades em separar essas questões relevantes no mapa de Geomorfologia. Por isso, decidiu-se retirar esse critério e manter somente o de Declividade.

O critério de áreas que já sofreram contaminação no DF não se mostrou de maior relevância para esse estudo, uma vez que se tratavam de diferentes formas de contaminação, que possuíam graus diferentes de espalhamento, e que as contaminações por combustíveis existentes advinham de derramamentos de postos de combustíveis e de outras fontes, que não eram representativos para esse estudo, portanto, foi retirado também.

Quanto ao critério de histórico de acidentes ambientais, fez-se um refinamento dos dados, separando somente os acidentes que envolvessem o transporte de combustíveis líquidos em vias e rodovias do DF. Como pode ser visto na Figura 5.15, de oitenta acidentes ambientais monitorados pelo Brasília Ambiental de 2008 a 2021, dezessete ocorreram em vias ou rodovias e com derramamento de combustível líquido. É um dado muito representativo, quando se percebe que 21% dos acidentes ambientais do DF se enquadram no escopo desse estudo.

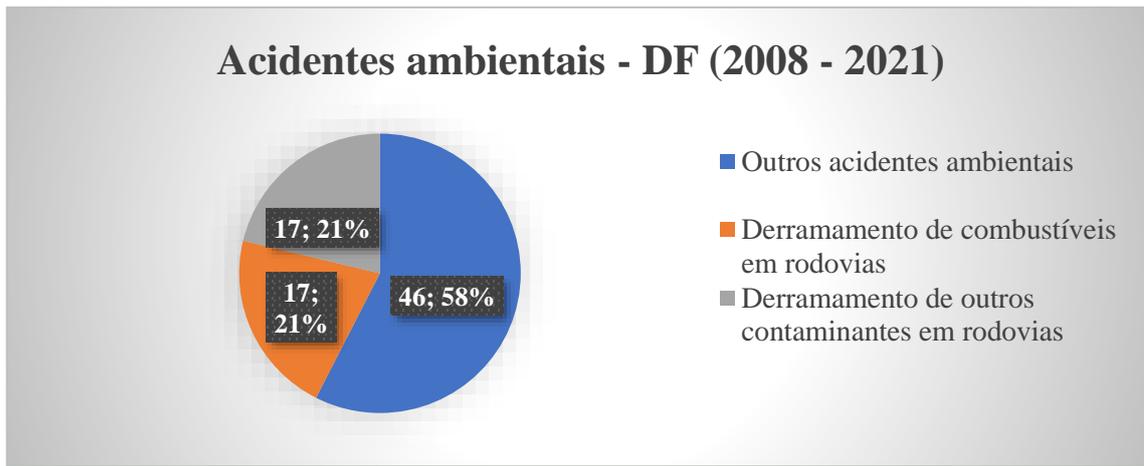


Figura 5.15 - Distribuição dos Acidentes Ambientais no DF.

Esse critério trouxe algumas reflexões quanto a como analisa-lo. Realizar um Buffer em torno dos pontos em que houveram esses acidentes não seria representativo para esse estudo, porque formar-se-iam círculos ao redor desses pontos que abrangeriam não somente rodovias, o que não indica muito sobre o padrão de acidentes. Esse padrão deve ter a tendência de ocorrer em uma rodovia específica, como é o caso da BR 020, em que ocorreram três acidentes com esse perfil, como mostrado na Figura 5.16.

Percebeu-se, então, que o mais correto seria atribuir peso maior às rodovias em que já ocorreram acidentes desse tipo, ou seja, o critério “Histórico de Acidentes” estará contido no critério “Vias e Rodovias”, indicando atividade potencialmente impactante ao meio.



Figura 5.16 - Foco nos três acidentes com transporte de combustíveis líquidos ocorridos na BR 020.

Decidiu-se, com base na experiência e na vivência de profissionais da área, que os critérios de maior relevância para esse estudo seriam os mostrados na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 - Prioridades dos Critérios.

Critério	Descrição	Prioridade
C1	Distância aos pontos de captação	Mais alta
C2	Presença de Vias e Rodovias	
C3	Presença Recursos Hidricos	
C4	Declividade	
C5	Uso e cobertura Solo	
C6	Distância à unidade de resposta	
C7	Pedologia	Mais baixa

As maiores prioridades correspondem aos critérios que podem levar à maior vulnerabilidade do abastecimento humano no DF decorrente de acidentes ambientais envolvendo transporte de combustíveis líquidos, e as menores prioridades correspondem aos critérios que são relevantes ao estudo, mas que apresentam menor relevância que os demais.

Considerou-se a distância aos pontos de captação de água superficial para abastecimento humano como o critério mais importante de todos devido a esse estudo estar focado em analisar a vulnerabilidade do abastecimento a partir desses pontos no DF. A princípio considerou-se retirar os pontos de captação que estivessem à montante das vias ou rodovias pelo fato de um ponto de captação a montante não estar sob vulnerabilidade de ocorrência do tipo de acidente ambiental estudado.

Contudo, ao analisar o mapa, percebeu-se que haviam poucos casos em que a captação ocorria à montante, pelo menos em zonas menos urbanizadas. Essas captações ocorrem em pontos mais baixos, enquanto que as rodovias passam por pontos mais altos. Havia maiores ocorrências de pontos de captação à montante de vias em áreas mais urbanizadas. Porém, devido à grande concentração de vias, o ponto de captação que estava à montante de uma via, estava à jusante de outra, e essa análise se mostrou pouco relevante.

Outra análise foi necessária: as Áreas de Proteção Permanente do DF não foram contabilizadas no critério de Pontos de Captação, com vista a reduzir seu peso perante os demais locais. O motivo é que não há vias com transporte de contaminantes passando por dentro dessas APPs.

As Vias e Rodovias do DF foram consideradas com essa importância por que a análise feita nesse estudo está diretamente ligada aos acidentes rodoviários e a distância dessas vias e rodovias aos pontos de captação de água. Não há acidente rodoviário sem vias ou rodovias. As condições de manutenção das vias, a via ser de mão única ou dupla, ou com mais mãos, a sinalização da via, tudo isso e outros fatores determinam se uma via é mais ou menos propícia a acidentes.

O histórico de acidentes ambientais nas vias do DF sinaliza vias que podem ser mais propícias a esses acidentes, tanto pelos motivos acima, quanto pela maior ocorrência de transporte de combustíveis nessas vias. Serão utilizados os dados de histórico de acidentes ambientais nas vias e rodovias para auxiliar nos subcritérios que serão explicados posteriormente.

A proximidade dos recursos hídricos é um critério que teve essa relevância devido ao fato de que corpos hídricos tanto podem ser os pontos de captação de água, quanto podem ser veículos de transporte do contaminante até os pontos de captação de água para consumo humano. Esse transporte em ambientes lóticos ocorre de forma muito rápida e pode ser grande agravante no abastecimento de água do DF.

Além disso, existe toda a problemática de contaminação de água para outros usos, que também é de grande relevância para a sociedade.

O critério Declividade é de grande importância para esse estudo, dado que, a depender da declividade do terreno, o contaminante escoar mais lentamente ou mais rapidamente sobre a superfície do solo. Se ele tende a escoar mais rapidamente por que o terreno é mais íngreme,

o Corpo de Bombeiros tem menos tempo para chegar ao local do acidente e evitar que o contaminante chegue ao corpo d'água ou ao ponto de captação de água.

O Uso e Cobertura do Solo tem relevância para esse estudo, uma vez que a cobertura do solo pode retardar ou não o escoamento do contaminante. Por exemplo, em áreas urbanas, onde o terreno geralmente é asfaltado ou concretado, o escoamento ocorre de forma mais livre, enquanto que em áreas com vegetação, a cobertura do solo retarda esse escoamento.

Além disso, áreas urbanizadas têm o agravante de ter sistema de drenagem urbana, e caso ocorra um acidente com derramamento de combustível, esse líquido pode escoar para o sistema de drenagem e rapidamente chegar a um corpo receptor, podendo contaminar um manancial de abastecimento e comprometer o abastecimento do DF.

A Distância à Unidade de Resposta é um critério importante para esse estudo porque quando não é possível evitar o acidente, o trabalho de evitar que chegue a um corpo d'água é do corpo de bombeiros, e o tempo que eles levam para chegar ao acidente é determinante para evitar a contaminação.

Sobre o critério Pedologia, os tipos de solo presentes no DF podem ser mais ou menos percoláveis, e essa característica pode fazer os contaminantes serem transportados mais livremente ou com maior dificuldade por eles.

Solos com maior teor de argila tendem a ser menos permeáveis, e, portanto, transportam contaminantes mais rapidamente sobre eles. O contrário dessa característica são solos com maior teor de silte ou areia, que tendem a ser mais permeáveis e podem levar a contaminação de águas subterrâneas, mas o foco do estudo são as águas superficiais, portanto, maior relevância para solos menos permeáveis.

5.3.4. Definição dos pesos dos critérios a partir do método AHP

A Tabela 5.8 indica a importância atribuída a cada critério escolhido com base nas definições de Saaty de grau de importância, somente como instrumento norteador para a montagem da matriz mostrada na Figura 5.17.

Tabela 5.8 - Graus de importância de cada critério.

Critério	Critérios	Descrição
C1	Distância aos pontos de captação	Muito muito forte importância
C2	Presença de Vias e Rodovias	Muito muito forte importância
C3	Presença de Corpos Hídricos	Muito forte importância
C4	Declividade	Mais do que forte importância
C5	Uso e cobertura do Solo	Forte importância
C6	Distância à unidade de resposta	Um pouco mais que moderada importância
C7	Pedologia	Moderada importância

A Figura 40 mostra como foram atribuídos os pesos aos critérios, sempre um com relação ao outro, em pares, baseando-se na definição de prioridades do método de Saaty.

Por exemplo, considerou-se que a Distância aos pontos de captação tem mesma prioridade nessa análise que a Presença de Vias e Rodovias. Assim como a Drenagem Urbana tem mesma prioridade que a Presença de Corpos Hídricos. Mas que os dois primeiros são um pouco mais importantes que o terceiro e o quarto. Assim como os dois primeiros critérios (C1 e C2) têm forte importância sobre a Pedologia. Sempre buscando coerência entre o que foi definido como prioridade na Tabela 5.8 e a correlação dos critérios.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
C1	1	1	2	2	3	4	4	5
C2	1	1	2	2	3	4	4	5
C3	1/2	1/2	1	1	11/6	12/5	13/4	5
C4	1/2	1/2	1	1	11/6	12/5	13/4	2 1/3
C5	1/3	1/3	6/7	6/7	1	11/5	11/2	2
C6	1/4	1/4	5/7	5/7	5/6	1	11/4	1 2/3
C7	1/4	1/4	4/7	4/7	2/3	4/5	1	1 1/3
C8	1/5	1/5	1/5	3/7	1/2	3/5	3/4	1
Soma	4,0	4,0	8,3	8,6	11,3	14,4	16,0	23,3

Figura 5.17 - Matriz de comparação dos Critérios.

Após a Normalização da Tabela de Critérios mostrada na Figura 40 acima, obteve-se a Tabela 5.9 com os pesos adequados para os critérios.

Tabela 5.9 - Pesos dos critérios.

Critério	Peso do Critério
Pedologia	0,06
Uso e Cobertura	0,09
Declividade	0,12
Distância Corpos d'água	0,13
Vias e Rodovias	0,26
Distância Pontos de Captação	0,26
Distância CBMDF	0,07
Soma	1,00

Chegou-se a uma Razão de Consistência de 0,02: totalmente dentro do intervalo aceitável, que é de 0 a 0,1. E pôde-se, então, seguir com as análises.

5.3.5. Definição dos subcritérios

A aplicação do método AHP nesse projeto não se limita aos critérios, mas também foram realizados com os subcritérios contidos nos critérios.

Sobre a Distância aos Pontos de Captação: elas foram separadas em quatro faixas; dado que essas faixas de distâncias correspondem a Buffers, com raios a partir dos pontos de captação, realizou-se medições para verificar as maiores distâncias entre os pontos de captação às vias ou rodovias mais próximas, considerando também a posição desses pontos com relação ao ponto mais alto mais próximo, a fim de evitar superestimar essa distância e contabilizar pontos de captação que estivessem do outro lado de um morro, por exemplo. Chegou-se a uma média máxima de cerca de 5 km e a partir desse valor os demais foram definidos. Por fim, chegou-se as seguintes distâncias: de 0 a 1 km, considerada a mais crítica; de 1 a 2 km, a segunda faixa mais crítica; de 2 a 5 km, a terceira faixa mais crítica e maiores de 5 km, a quarta mais crítica.

Sobre Vias e Rodovias: Com base no histórico de acidentes ambientais no DF, definiu-se que vias ou rodovias com histórico de três acidentes teriam maior peso, seguido de vias ou rodovias com histórico de um acidente (não havia com dois acidentes). O próximo subcritério de maior relevância são as rodovias, devido a maior velocidade da via, devido a maior possibilidade de o motorista estar desatento, devido a possibilidade de haver pouca sinalização na via, devido a possibilidade de haver más condições de manutenção na rodovia, e diversos outros fatores que tornam as rodovias mais propícias a acidentes envolvendo caminhões. E o último subcritério, o das vias urbanas.

Sobre a Presença de Recursos Hídricos: definiu-se um buffer de quinhentos metros que somente passar sobre esse buffer seria contabilizado como maior vulnerabilidade, por isso, o peso para todos os subcritérios será igual. Essa distância de buffer foi definida a partir da indicação de profissionais que atuam na área e perceberam esse padrão, além de reduzir dados na junção das camadas de critérios. A junção de polígonos pequenos faz com que haja mais polígonos para o software analisar, e houveram limitações com relação a máquina usada para rodar as análises: a redução de dados foi muito importante.

Sobre a Declividade: com base na subdivisão de declividade da EMBRAPA, com modificações devido ao terreno do DF ser mais plano, chegou-se as subdivisões de 0% a 3%, de 3% a 8%, de 8% a 20% e de 20% a 45%. Definindo como mais crítica a maior declividade e menos crítica a menor declividade.

Sobre o Uso e Cobertura do Solo: a divisão foi baseada na classificação do SEMA/DF, com o segundo nível de classificação adaptado, chegando aos sete seguintes subcritérios, seguindo a ordem de prioridade de o primeiro ser o mais crítico e o último ser o menos crítico: Urbanização, Mineração, Agricultura e pecuária, Área Campestre, Área Savânica, Silvicultura e Área Florestal.

A ordem foi definida com base na premissa de que, a depender do uso do solo, o contaminante pode ser seu escoamento dificultado ou não.

Sobre a Distância à Unidade de Resposta: baseado na extensão do território do DF e das localizações dos Corpos de Bombeiros do DF, concluiu-se que estar a mais de vinte quilômetros de distância dessas unidades já seria uma situação de maior criticidade. A partir desse valor, os demais subcritérios foram definidos, chegando as seguintes faixas de distância: mais de 20 km, entre 10 km e 20 km, entre 5 km e 10 km, entre 2 km e 5 km e entre 0 km e 2km.

Sobre a Pedologia: a partir de características como a quantidade de argila na composição do solo, a permeabilidade do solo, a disponibilidade desse solo no território do DF e o solo estar predominantemente presente na superfície ou no subsolo, definiu-se os seis seguintes subcritérios, nessa mesma ordem de criticidade: Afloramento rochoso e Áreas Urbanas, Argissolo, Plintossolo, Latossolo, Cambissolo e Neossolo.

Áreas urbanas está na classificação de solos porque é muito difícil identificar o solo predominante nessa região, uma vez que ela foi toda modificada - havendo, em sua maioria uma cobertura de concreto e asfalto. Essa superfície mais impermeável das áreas urbanas leva esse subcritério a estar em primeiro lugar com relação a facilitação de escoamento de contaminantes, assim como afloramentos rochosos.

Os pesos dos demais solos foram definidos principalmente com base no seu teor de argila, sendo com maior teor de argila os que propiciam maior vulnerabilidade e os com menor teor de argila dificultam o escoamento superficial.

5.3.6. Pesos dos Subcritérios

Após a atribuição dos graus de importância aos subcritérios, com base no que já foi discutido, realizou-se a normalização de todas as tabelas de todos os subcritérios, chegando aos pesos mostrados na Tabela 5.10. Todos os subcritérios obtiveram RC entre 0 e 0,1, como deveria ocorrer para garantir a consistência dos pesos. O peso absoluto, mostrado na coluna 6 é o produto do peso do subcritério pelo peso do critério correspondente. Percebe-se que o peso absoluto fica muito pequeno, devido a grande quantidade de dados e para facilitar a inserção

desses dados no ArcGis, optou-se por multiplicar todos os pesos absolutos por 1000, obtendo a Tabela 5.11.

Tabela 5.10 - Resultado final dos pesos atribuídos a cada Critério e Subcritério, bem como sua união, como visto na última coluna.

Critério	Peso Critério	Subcritério	Peso Subcritério	Peso absoluto
Pedologia	0,06	Afloramento rochoso e Áreas Urbanas	0,30	0,02
		Argissolo	0,24	0,01
		Plintossolo	0,19	0,01
		Latossolo	0,13	0,01
		Cambissolo	0,09	0,01
		Neossolo	0,04	0,00
Uso e Cobertura	0,09	Urbanização	0,37	0,03
		Mineração	0,19	0,02
		Agricultura e pecuária	0,12	0,01
		Área Campestre	0,10	0,01
		Área Savânica	0,10	0,01
		Silvicultura	0,08	0,01
		Área Florestal	0,03	0,00
Declividade	0,1	20-45	0,49	0,06
		8-20	0,40	0,05
		0-8	0,11	0,01
Distância Corpos d'água	0,13	passar sobre	1,00	0,13
Vias e Rodovias	0,26	3 acidentes	0,33	0,09
		1 acidente	0,28	0,07
		Rodovias (outras)	0,22	0,06
		Vias urbanas	0,17	0,04
Distância Pontos de Captação	0,26	0-1 km	0,38	0,10
		1-2 km	0,30	0,08
		2-5 km	0,20	0,05
		5-10 km	0,13	0,03
Distância CBMDF	0,07	>20km	0,40	0,03
		10-20 km	0,31	0,02
		5-10 km	0,14	0,01
		2-5 km	0,10	0,01
		0-2 km	0,05	0,00
			Soma	1,00

Tabela 5.11 - Pesos absolutos adequados para aplicação no SIG.

Critério	Subcritério	Peso absoluto x 1000
Pedologia	Afloramento rochoso e Áreas Urbanas	18
	Argissolo	14
	Plintossolo	11
	Latossolo	8
	Cambissolo	5
	Neossolo	3
Uso e Cobertura	Urbanização	35
	Mineração	17
	Agricultura e pecuária	11
	Área Campestre	9
	Área Savânica	9
	Silvicultura	7
	Área Florestal	3
Declividade	20-45	58
	8-20	32
	0-8	13
Distância Corpos d'água	passar sobre	132
Vias e Rodovias	3 acidentes	95
	1 acidente	75
	Rodovias (outras)	57
	Vias urbanas	44
Distância Pontos de Captação	0-1 km	100
	1-2 km	80
	2-5 km	56
	5-10 km	33
Distância CBMDF	>20km	29
	10-20 km	23
	5-10 km	10
	2-5 km	8
	0-2 km	3
	Soma	1000

Os maiores pesos estão atribuído a regiões em que há via que passa por um corpo d'água, ou passa a menos de um quilômetro de um ponto de captação de água para abastecimento humano, está em área urbana, tem declividade alta, há vias vias em que ocorreram acidentes, e está longe do CBMDF. Enquanto que os menores pesos estão em regiões com predominância de Neossolo, com cobertura de Área Florestal, sem presença de corpos d'água superficiais, com baixa declividade, sem vias, longe de pontos de captação de água e a menos de dois quilômetros de distância de uma unidade de resposta.

5.3.7. AHP Aplicado ao SIG

Essas etapas de AHP e SIG no presente trabalho seguiram o fluxo apresentado na Figura 41. Cada peso, constantes na terceira coluna da Tabela 15, foi atribuído a seus respectivos atributos no ArcGis Pro, como mostrado na Figura 5.18.

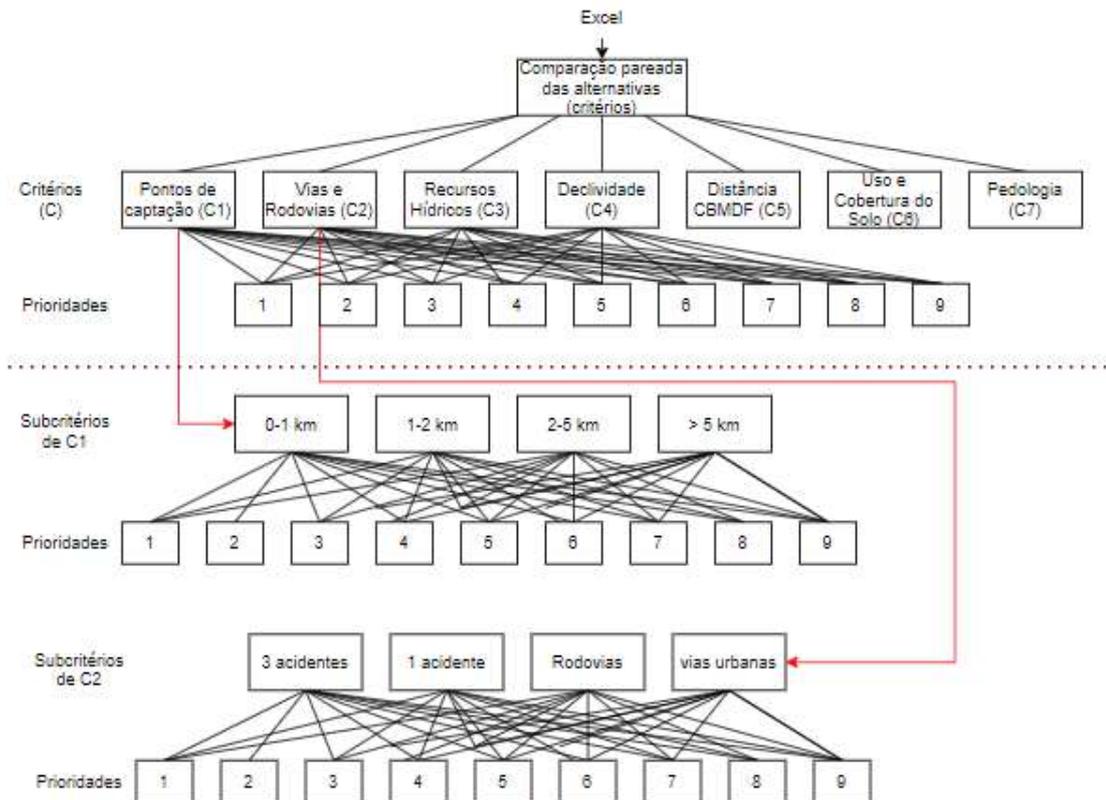


Figura 5.18 - Fluxograma da aplicação da metodologia AHP dos pesos no nível II e III de hierarquia no *software* de GIS.

A aplicação dos pesos no ArcGIS Pro foi feita em etapas. Ela poderia ser aplicada de várias formas, mas buscou-se a que melhor se encaixava no equipamento disponível para compilar os dados.

Ao invés de aplicar o AHP nos Subcritérios e depois atribuir peso aos Critérios e soma-los, optou-se por utilizar o peso absoluto obtido na Tabela 41, aplicando o AHP diretamente nos Subcritérios e refletindo nos Critérios.

Para que fosse possível unir essas informações (pesos do excel e arquivo em shp), foi necessário criar uma coluna a mais na tabela de atributos de cada critério. Dentro dessa coluna, adicionou-se os pesos correspondentes a cada subcritério. Mas antes de adicionar esses pesos, de modo a facilitar, uniu-se todos os subcritérios que teriam mesmo peso.

Dentre outros, foram utilizadas as seguintes ferramentas do ArcGis Pro no refinamento e tratamento dos dados: *Buffer, Spatial Join, Union, Intersect, Clip, Pairwise Dissolve, Merge, Calculate Field, Add Field*.

Fez-se uma “limpeza” na tabela de atributos, para que tivesse somente os dados necessários e facilitasse a análise para o *software*. Posteriormente, realizou-se a união das camadas dos critérios, resultando no mapa final deste projeto.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação de tudo que foi proposto até o momento, com relação ao método AHP e a aplicação no SIG, foi feita seguindo o fluxo apresentado na Figura 6.1. Partindo da criação dos mapas iniciais, seguido pela determinação dos critérios a serem utilizados, verificando quais fariam mais sentido para a análise, e atribuindo graus de prioridade entre eles. Esse fluxograma é resultado de tentativas e erros, e expõe o caminho que, por fim, melhor se adequou a esse projeto.

Posteriormente, foi feita a separação dos subcritérios, identificando como eles estariam classificados e como seriam as prioridades entre eles.

Depois disso, com ajuda de especialistas, foram atribuídos pesos aos Critérios e Subcritérios em pauta. Em seguida, aplicou-se esses critérios no SIG. Fez-se um refinamento de dados no SIG para facilitar o processamento, e foram feitas as uniões dos *Shapes*, sempre fazendo as facilitações de processamento para que fosse possível a geração do mapa em tempo hábil.

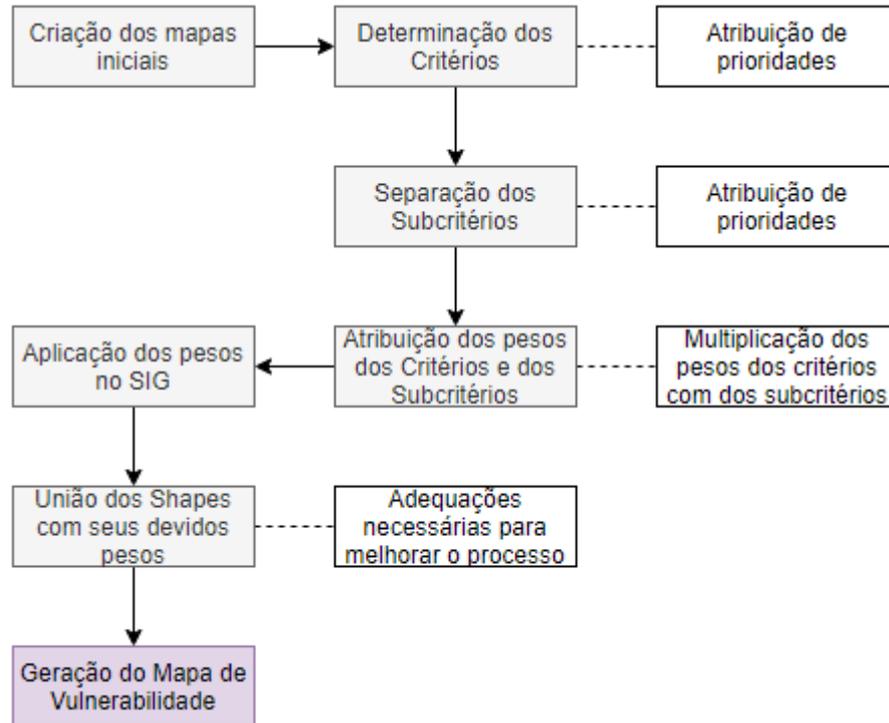


Figura 6.1 - Fluxograma de processos para a geração do Mapa de Vulnerabilidade (AHP + SIG).

A Figura 6.2 mostra as camadas que foram unidas como critérios, nas quais têm-se os subcritérios com seus respectivos pesos. Como citado anteriormente, alguns refinamentos foram necessários, e um deles foi a criação de *buffers* com vista a reduzir a quantidade de polígonos gerados na união das camadas.

Na Figura 6.2: em (A), trata-se da distância ao CBMDF, que quanto mais longe, maior o peso; em (B), trata-se das distâncias aos pontos de captação de águas superficiais, que quanto menor, maior o peso; em (C), trata-se dos corpos d'água superficiais, que têm igual peso; em (D), trata-se de uso e cobertura do solo, que varia conforme o uso; em (E), trata-se das vias e rodovias, com peso com base no que foi descrito em Metodologia; em (F), trata-se da Pedologia, com pesos baseados no tipo de solo e em (G), trata-se da declividade, que quanto maior, maior o peso.

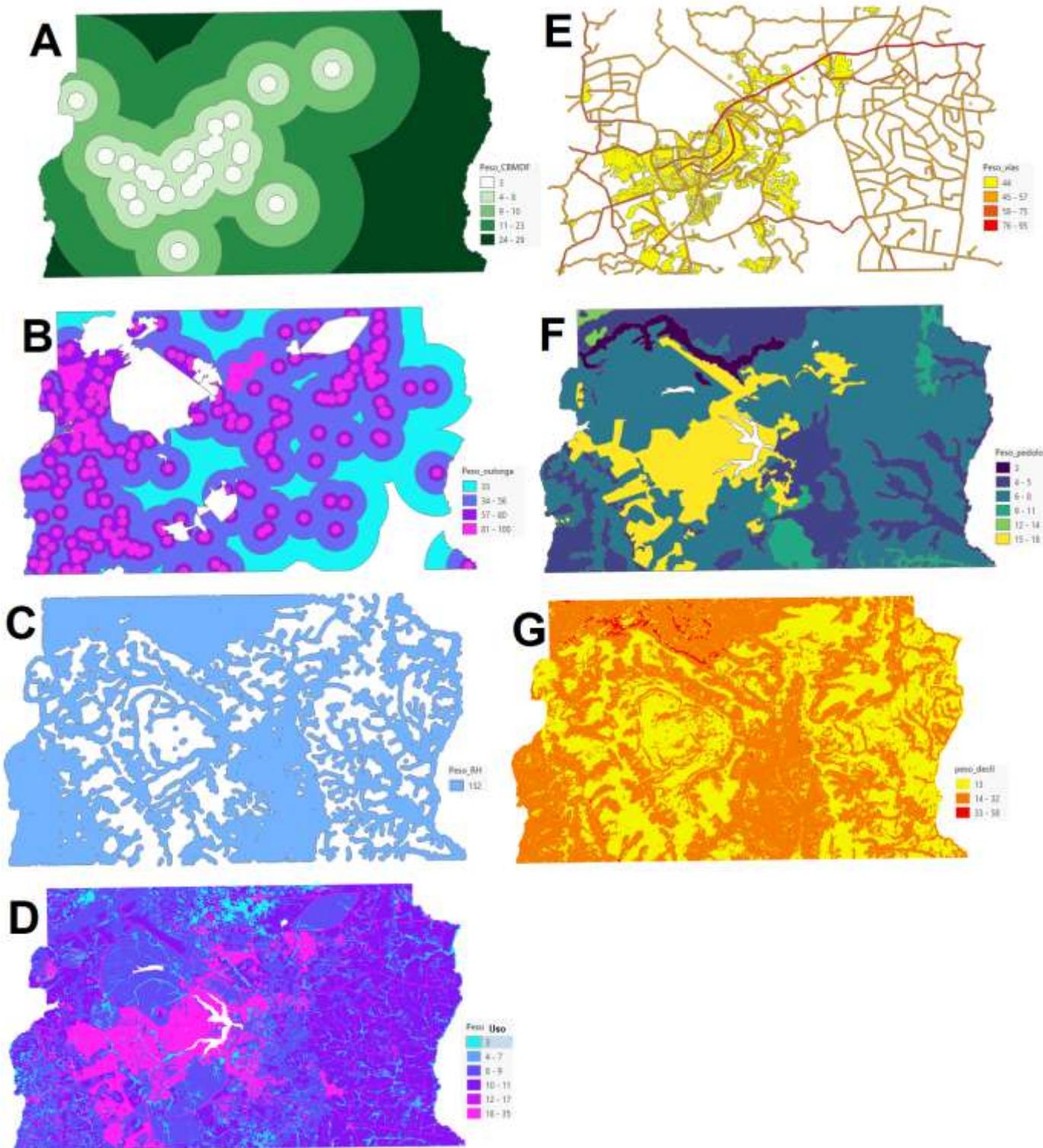


Figura 6.2 – Camadas de Critérios utilizadas para a geração do Mapa Final.

Após todas as ponderações, análises e adequações, chegou-se ao Mapa de Vulnerabilidade apresentado na Figura 6.3.

Percebe-se que o mapa gerado representa bem o que foi proposto e o resultado da Tabela 5.11. Nota-se que trechos em que há presença de vias que cruzam corpos d'água estão em vermelho escuro, como era esperado, devido ao seu alto grau de vulnerabilidade.

Regiões mais próximas a pontos de captação de água e que têm certa proximidade a vias ou rodovias também apresentam vulnerabilidade alta, como era esperado.

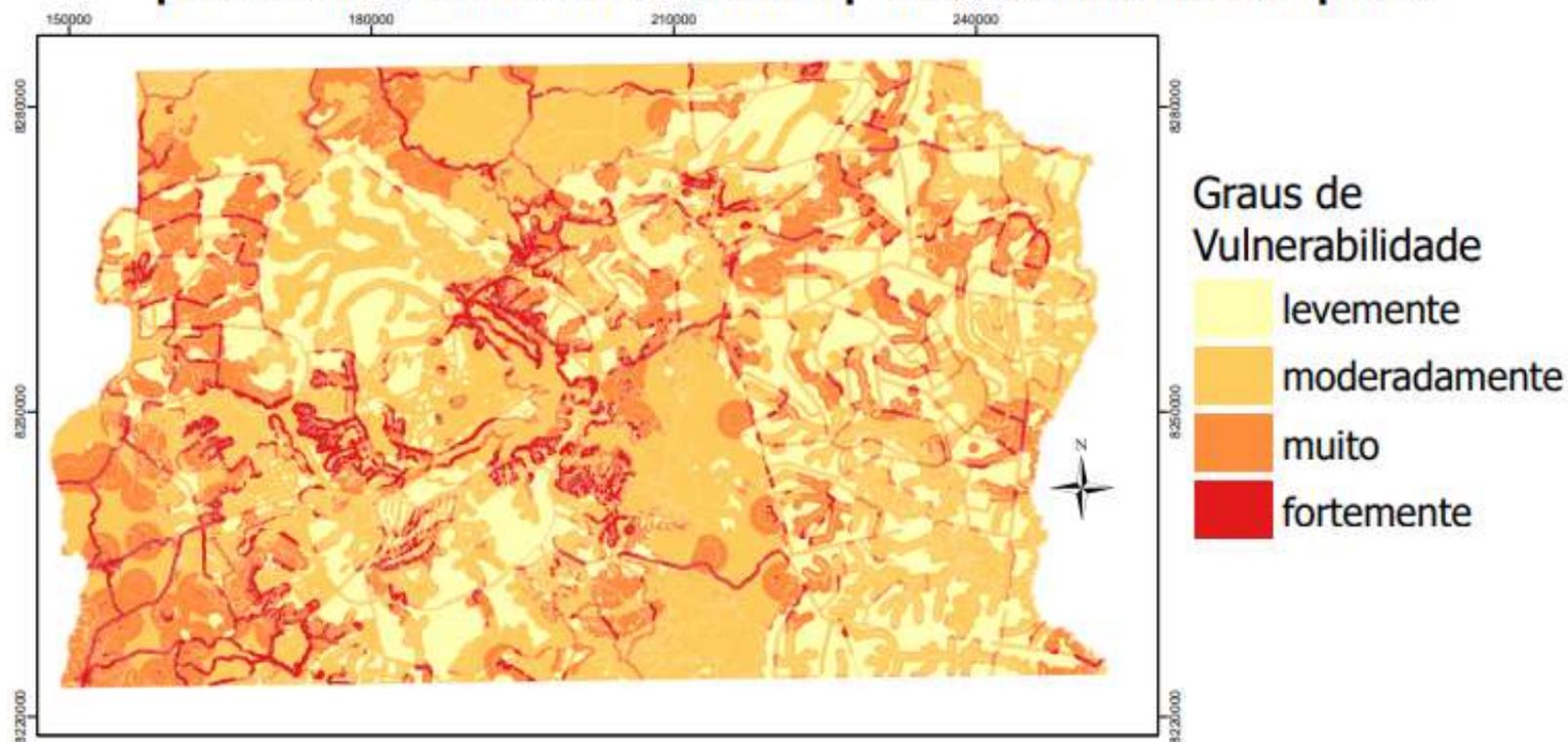
Se separado por bacia, as Bacias do Rio Descoberto, do Rio Corumbá e do Rio Paranoá e a parte mais a norte da Bacia do Rio São Bartolomeu apresentam muitas regiões fortemente vulneráveis.

Percebe-se também que regiões mais urbanizadas estão fortemente vulneráveis e muito vulneráveis, como esperado, uma vez que nessas regiões há grande fluxo de caminhões transportando combustíveis entre o centro de distribuição e os postos de distribuição. Além da vulnerabilidade causada pelo tipo de solo, pela ocorrência de acidentes anteriores, pela presença de corpos d'água, pelo cruzamento de vias com córregos da região, pelos múltiplos usos desses corpos d'água, pela presença de drenagem urbana.

Além dessas áreas mais vulneráveis, encontram-se áreas com agravantes menores, mas com sua devida importância, que são os casos de pontos de captação que não estão muito perto de vias, mas também não estão muito longe; que estão relativamente longe do corpo de bombeiros; que possuem declividade alta ou média e que possuem solo com maior facilidade de escoamento superficial; ou regiões que são muito próximas a corpos hídricos e que têm algumas das características citadas, resultando nas regiões moderadamente vulneráveis.

Por último, o mapa resulta em áreas levemente vulneráveis, que se encontram mais a leste do mapa, onde seria as Bacias do Rio Preto e do Rio São Marcos, e algumas partes das Áreas de Proteção Permanente, nas quais há vias com transporte de combustíveis passando por dentro.

Mapa de Vulnerabilidade ao Abastecimento de Água para Consumo Humano no Distrito Federal por Acidentes Rodoviários com Transporte de Combustíveis Líquidos



Dados Cartográficos

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)

Datum: WGS 1984 - Zona 23S

Elaboração: Bruna Soares do Nascimento

Ano de elaboração: 2021



Figura 6.3 - Mapa Final de Vulnerabilidade.

A Figura 6.4 mostra um comparativo dos resultados deste trabalho com os mapas obtidos por Godinho (2019). A diferença entre Risco e Vulnerabilidade já foi discutida, mas alguns aspectos foram considerados em ambos os trabalhos, e nota-se que houveram muitas diferenças com relação aos resultados.

Olhando para as bacias, percebe-se que há semelhanças entre os resultados obtidos: as bacias do Rio Descoberto, do Rio Corumbá e do Rio Paranoá são consideradas mais vulneráveis em ambos, assim como partes da Bacia do Rio São Bartolomeu.

Contudo, analisando por partes menores dos mapas, percebe-se que a forma de ponderação se fez presente nos resultados: no mapa de Godinho, as áreas mais próximas aos mananciais de abastecimento e mais próximas aos pontos de captação são as mais vulneráveis, enquanto que no mapa deste trabalho elas se encontram mais distribuídas, estando presentes nessas regiões, mas não somente nelas, estando presentes também em trechos de rodovias, trechos de vias, áreas urbanizadas, proximidades de corpos hídricos (mesmo não sendo mananciais de abastecimento).

Esperava-se que o resultado deste projeto seria um mapa mais segmentado, principalmente por haver mais critérios e pelos subcritérios terem recebido graus de relevância, o que ocorreu de forma mais simplificada no estudo anterior. E, apesar de ser mais difícil de identificar regiões de vulnerabilidade maior, como mostrado no mapa de Godinho, o resultado deste trabalho serve como instrumento para focar as ações de prevenção nos trechos em que, caso ocorra um acidente com transporte de combustíveis, os danos serão maiores.

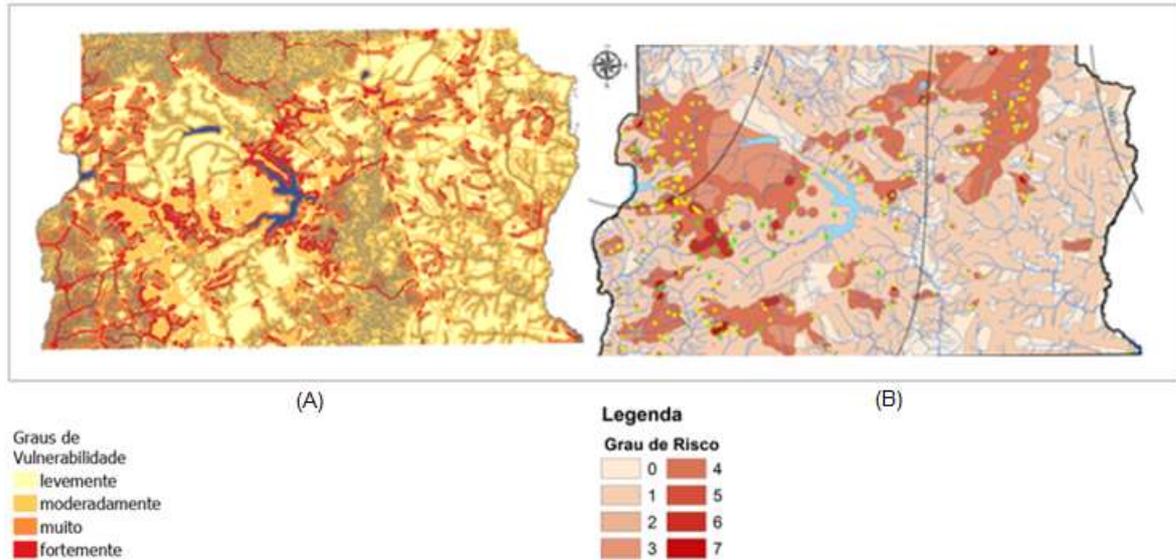


Figura 6.4 - Comparação de resultados obtidos no presente trabalho (A). com os resultados obtidos por Godinho (2019) (B).

A Figura 6.5 mostra as localizações das unidades de resposta dentro do contexto do mapa final, com todas as vias e graus de vulnerabilidade analisados, com o objetivo de auxiliar para o melhor atendimento em casos de acidentes ambientais desse tipo. Para que ele seja remediado rapidamente; ou para que este seja evitado, seja com sinalização melhor, seja com manutenção das vias e rodovias, seja com maior monitoramento, seja com melhor localização de unidades de resposta.

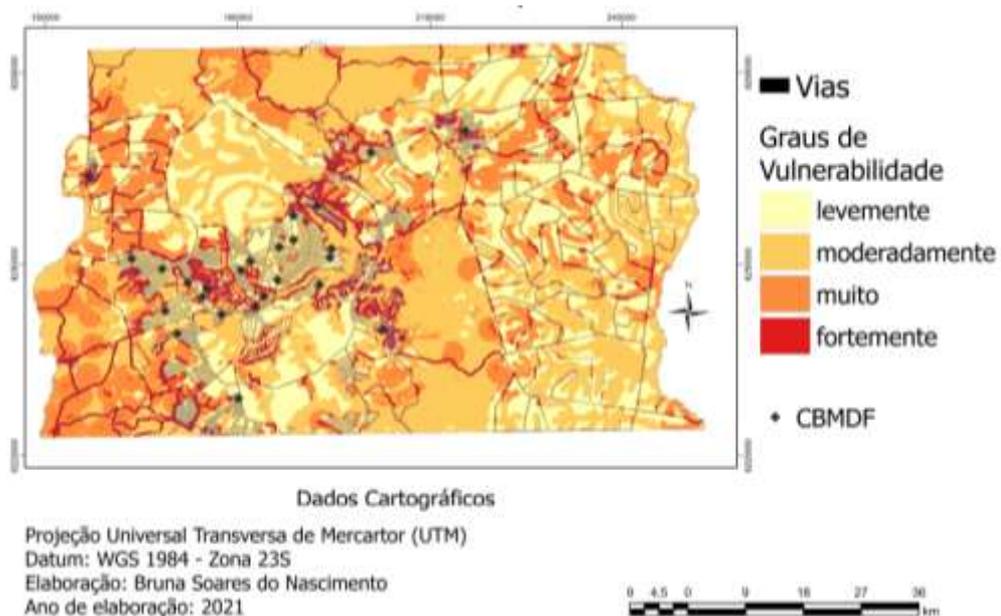


Figura 6.5 - Mapa de Vulnerabilidade Final e Unidades do Corpo de Bombeiros do Distrito Federal.

7 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Diante de todas as informações expostas e de tudo que foi discutido, conclui-se que o estudo e o mapeamento das regiões mais vulneráveis a contaminação por combustíveis líquidos em seu transporte é de extrema relevância para a segurança hídrica do Distrito Federal.

O DF tem seu território com muitos cursos d'água e muitos pontos de captação de água para consumo, tornando-o muito susceptível a quaisquer contaminações.

Percebe-se que a ocorrência desses acidentes é relativamente alta. Somente durante o desenvolvimento desse projeto, mais um acidente ambiental envolvendo transporte rodoviário e derramamento de combustível ocorreu no DF: no dia 01 de outubro de 2021 um caminhão tombou na Via Estrutural, causando derramamento de combustível na pista.

Este projeto chegou ao mapeamento de localizações vulneráveis, em que se houver derramamento de combustível, há muitas chances de o abastecimento de água no DF ser prejudicado – considerando não somente a vulnerabilidade da área, mas também os locais com maiores chances de ocorrência dos acidentes.

O mapa gerado é uma ferramenta de apoio à prevenção de acidentes e à remediação de derramamentos de combustíveis líquidos no transporte rodoviário. Podendo ser utilizada tanto pelo CBMDF quanto pelo Brasília Ambiental.

Como recomendação para estudos futuros, utilize uma máquina mais potente para compilar os dados no software de geoprocessamento para que se tenha mais faixas de áreas vulneráveis levando a maior precisão. Além disso, incluir o sistema de drenagem urbana como mais um critério, devido a sua importância no transporte de contaminantes com direção a corpos hídricos – não foi utilizado nesse projeto devido ao aumento de complexidade para a máquina utilizada, e incluir camada a partir do mapa de orientação de vertentes, para melhorar a qualidade dos resultados.

Realizar outras análises, como a tabulação cruzada com mapa de uso e cobertura e com mapas do Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal, como o Mapa 7 (Risco Ecológico de Contaminação do Subsolo no Distrito Federal) e com o Mapa 5 (Risco Ecológico de Perda de Área de Recarga de Aquífero no Distrito Federal), além de outros mapas que se fizerem pertinentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARTIGOS CIENTÍFICOS:

- Aquino, Afonso F. et al. **Vulnerabilidade Ambiental**. *Blucher Open Access*. São Paulo : Blucher, 2017. 112 p. il.
- Corseuil, Henry X. e Marins, Marcus D. M (1997). **Contaminação de Águas Subterrâneas por Derramamento de Gasolina: o Problema é Grave?**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. V.2, n.2, p.50-54, 1997.
- Costa, Fabiane H. S. (2006) – **Determinação da Vulnerabilidade Ambiental na Bacia Potiguar, Região de Macau (RN), Utilizando Sistemas de Informações Geográficas**. Revista Brasileira de Cartografia. Instituto de Geociências - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. v.58, n.1, agosto de 2006.
- Dias, Valdirene S. B. e Silva, Ardemírio B. - **AHP na Modelagem da Vulnerabilidade Ambiental do Mini Corredor Ecológico Serra Das Onças (BA)**. Revista Brasileira de Cartografia. Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS. Bahia. n. 66, v. 6, maio de 2014.
- EMBRAPA (2004a) – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mapa Pedológico Digital – SIG Atualizado do Distrito Federal Escala 1:100.000 e uma Síntese do Texto Explicativo**. Planaltina - DF, 2004. 29 f.
- EMBRAPA (2004b) – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Evolução Geomorfológica do Distrito Federal**. Planaltina - DF, 2004. 29 f.
- EMBRAPA (2018) – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, 5ª Edição**. Brasília, 2018. 355 f.
- FAPESP (2003) – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. **Revista FAPESP – Savanas e Florestas**. Edição 91. 2003.
- Júnior, José F. P. e Rodrigues, Silvio C. (2012). O Método de Análise Hierárquica – **AHP – como Auxílio da Vulnerabilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Piedade (MG)**. Revista do Departamento de Geografia – USP. Instituto de Geografia – Universidade Federal de Uberlândia. Minas Gerais, v.23, p. 4-26. 2012.
- Klais, Thalita B. A. (2012) – **Vulnerabilidade natural e ambiental do município de Ponta Porã, Mato Grosso do Sul, Brasil**. Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. Campo Grande, MS. Revista Ambiente e Água. V.7, n.2, 2012. Publicado em 2012.

- Parizzi, Maria G. (2014). **Desastres Naturais e Induzidos e o Risco Humano**. Instituto de Geociências – Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, v.22, n.1., p.1-9, 2014.
- Pedro, Fábio G. (2009). **Vulnerabilidade e Gravidade Ambiental Devido a Acidentes com Transporte Rodoviário de Combustíveis no Município de Campinas – SP**. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – Universidade Estadual de Campinas. Revista Brasileira de Cartografia, v.61, n.1, abril de 2009. Publicado em 2009.
- Saaty, Thomas L. (2008). *Decision making with the analytic hierarchy process*. University of Pittsburgh. *Int. J. Services Sciences*. vol.1, n.1, p. 83-98, 2008. Publicado em 2008.
- SABESP (2014) – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Em busca da gestão de recursos hídricos para a cidade resiliente**. Revista DAE N° 195, maio/agosto de 2014. Publicado em 2014.
- Venturoli, Fábio e sanquetta, Carlos R. (2019). **Alometria e biomassa em uma Savana Parque do Brasil**. In: *Scientia Florestalis*. Goiás (Goiânia). v. 47. n. 124. 2019. p. 708-713.

ACESSO A MATERIAIS ONLINE

- ADASA (2019) – Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. **Sistemas de Abastecimento de Água no Distrito Federal (SAA)**. 2019. Disponível em < <https://sway.office.com/estp7EElcQ6zUZwB>>. Acesso em 26 de abril de 2021.
- ADASA (2020) – Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. **Esri World Geocoder - Mapas**. 2020. Disponível em < <https://gis.adasa.df.gov.br/portal/apps/webappviewer/index.html?id=716687c019ec41aa892c8845b517da24>>. Acesso em 26 de abril de 2021.
- ADASA (2021a) – Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. **Sistema Descoberto**. 2021. Disponível em < <https://sway.office.com/s/clu9ss9llkgy6jbp/embed>>. Acesso em 26 de abril de 2021.

- ADASA (2021b) – Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. **Sistema Torto/Santa Maria**. 2021. Disponível em < <https://sway.office.com/s/rR45qCpvDC0ryFHe/embed>>. Acesso em 26 de abril de 2021.
- ADASA (2021c) – Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. **Sistema Sobradinho/Planaltina**. 2021. Disponível em < <https://sway.office.com/s/uXoacrjobuQny1BR/embed>>. Acesso em 26 de abril de 2021.
- ADASA (2021d) – Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. **Sistema Brazlândia**. 2021. Disponível em < <https://sway.office.com/s/IVF4IwjQ74LxOBnL/embed>>. Acesso em 26 de abril de 2021.
- ADASA (2021e) – Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. **Sistema São Sebastião**. 2021. Disponível em < <https://sway.office.com/Fjtk1mjIEAFXDrzb?ref=Link>>. Acesso em 26 de abril de 2021.
- ANP (2015) – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **fluxos logísticos de produção, transporte e armazenagem de gasolina A e de óleo diesel A no Brasil**. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em < <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/livros-e-revistas/arquivos/fluxos-logisticos-producao-transporte-armazenamento.pdf>>. Acesso em 26 de abril de 2021.
- ANP (2020) – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2020**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em < <http://www.anp.gov.br/arquivos/central-conteudos/anuario-estatistico/2020/anuario-2020.pdf>>. Acesso em 26 de abril de 2021.
- CBM/DF (2021) – Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal. **Serviços Emergenciais**. 2021. Disponível em < <https://www.cbm.df.gov.br/carta/servicos-emergenciais/>>. Acesso em 26 de abril de 2021.
- CODEPLAN (2017) – Companhia de Desenvolvimento do Distrito Federal. **Atlas do Distrito Federal 2017**. 2017. Disponível em < <http://www.codeplan.df.gov.br/wp->

- content/uploads/2018/05/Atlas-do-Distrito-Federal-2017.pdf>. Acesso em 26 de abril de 2021.
- CODEPLAN (2020a) – Companhia de Desenvolvimento do Distrito Federal. **Atlas do Distrito Federal 2020**. 2020. Disponível em < <http://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/05/Atlas-do-Distrito-Federal-2020-Apresenta%C3%A7%C3%A3o-e-Cap%C3%ADtulo-1.pdf>>. Acesso em 26 de abril de 2021.
- CODEPLAN (2021b) – Companhia de Desenvolvimento do Distrito Federal. **Atlas do Distrito Federal 2020**. 2020. Disponível em < <http://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/05/Atlas-do-Distrito-Federal-2020-Cap%C3%ADtulo-2.pdf>>. Acesso em 26 de abril de 2021.
- CODEPLAN (2021c) – Companhia de Desenvolvimento do Distrito Federal. **Atlas do Distrito Federal 2020**. 2020. Disponível em < <http://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/05/Atlas-do-Distrito-Federal-2020-Cap%C3%ADtulo-3.pdf>>. Acesso em 26 de abril de 2021.
- Domingos, Leandro G. e Brito, Luiz P. (2010). Utilização de SIG e AHP na Seleção de Área para Aterro Sanitário em Alguns Municípios do Oeste do Estado do **Rio Grande do Norte**. Disponível em < https://www.researchgate.net/publication/271829560_UTILIZACAO_DE_SIG_E_AHP_NA_SELECAO_DE_AREA_PARA_ATERRO_SANITARIO_EM_ALGUNS_MUNICIPIOS_DO_OESTE_DO_ESTADO_DO_RIO_GRANDE_DO_NORTE_THE_USE_OF_GIS_AND_AHP_FOR_LANDFILL_SITE_SELECTION_IN_SELECTED_AREAS_OF_> Acesso em 09 de maio de 2021.
- GIFEX (2021) – Mapas e Mapas Mundiais. **Distrito Federal, Mapa de Estradas Federais, Brasil**. Disponível em < https://www.gifex.com/brazil_maps/Distrito_Federal_Federal_Highway_Map_Brazil_2.htm>. Acesso em 26 de abril de 2021.
- G1 (2016) - **Mancha de óleo surge na manhã de sexta no Lago Paranoá, em Brasília**. Disponível em < <http://g1.globo.com/distrito-federal/noticia/2014/01/mancha-de-oleo-surge-na-manha-de-sexta-no-lago-paranoa-em-brasilia.html> >. Acesso em 08 de novembro de 2021.
- IBGE (2000) – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. XI Recenseamento Geral do Brasil: **Manual de Delimitação dos Setores de 2000**. 2000. Disponível em <

https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/instrumentos_de_coleta/doc0210.pdf. Acesso em 26 de abril de 2021.

BRASÍLIA AMBIENTAL (2017) – Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal. **Plano Integrado de Enfrentamento à Crise Hídrica**. Distrito Federal, 2017. Disponível em < <http://www.ibram.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/03/Plano-27%C2%AA-ciea.pdf>>. Acesso em 25 de abril de 2021.

BRASÍLIA AMBIENTAL (2020) – Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal. **A Comissão P2R2**. 2020. Disponível em < <http://www.ibram.df.gov.br/a-comissao/>>. Acesso em 26 de abril de 2021.

INMET (2021) – Instituto Nacional de Meteorologia. **Clima>DF>Brasília** (83377). 2021. Disponível em < <https://clima.inmet.gov.br/temp>>. Acesso em 26 de abril de 2021.

MINFRA (2018) – Ministério da Infraestrutura. **Anuário Estatístico de Transportes 2010 - 2018**. 2018. Disponível em <https://antigo.infraestrutura.gov.br/images/BIT_TESTE/Publica%C3%A7oes/suma_exec_aet_2010_2018.pdf>. Acesso em 07 de maio de 2021.

MMA (2012) – Ministério do Meio Ambiente. **Emergências Ambientais**. 2012. Disponível em <<https://antigo.mma.gov.br/seguranca-quimica/emergencias-ambientais/plano-nacional-de-prevencao-preparacao-e-resposta-rapida-a-emergencias-ambientais-com-produtos-quimicos-perigosos/itemlist/category/115-emergencias-ambientais.html#:~:text=O%20Plano%20Nacional%20de%20Preven%C3%A7%C3%A3o,o%20sistema%20de%20prepara%C3%A7%C3%A3o%20e>> . Acesso em 07 de maio de 2021.

MMA (2007) – Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Prevenção, Preparação e Resposta Rápida a Emergências Ambientais com Produtos Químicos Perigosos, P2R2**. Brasília, 2007. Disponível em < <https://www2.mppa.mp.br/sistemas/gcsubsites/upload/41/Plano%20Nacional%20de%20prevencao,%20preparacao%20e%20resposta%20rapida%20a%20emergencias%20ambientais%20com%20produtos%20quimicos%20perigosos.pdf>>. Acesso em 26 de abril de 2021.

MMA (2021a) – Ministério do Meio Ambiente. **Áreas contaminadas**. 2021. Disponível em < <https://antigo.mma.gov.br/agenda-ambiental-urbana/%C3%A1reas-contaminadas.html#:~:text=As%20%C3%A1reas%20contaminadas%20s%C3%A>

- 3o%20locais,ou%20a%20outros%20bens%20protegidos>. Acesso em 25 de abril de 2021.
- MMA (2021b) – Ministério do Meio Ambiente. **Mananciais**. 2021. Disponível em <<https://antigo.mma.gov.br/component/k2/item/8047-mananciais.html#:~:text=Manancial%20de%20abastecimento%20p%C3%BAblico%20%C3%A9,contemplando%20aspectos%20legais%20e%20gerenciais>>. Acesso em 25 de abril de 2021.
- MMA (2021c) – Ministério do Meio Ambiente. **Produtos Químicos Perigosos**. 2021. Disponível em <<https://antigo.mma.gov.br/perguntasfrequentes.html?catid=27#:~:text=Quando%20liberados%20no%20meio%20ambiente,podendo%20tornar%20se%20emerg%C3%Aancias%20ambientais.&text=%C3%89%20uma%20amea%C3%A7a%20s%C3%ABita%20ao,de%20alguma%20produto%20qu%C3%ADmico%20perigoso>>. Acesso em 25 de abril de 2021.
- MTPA - Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil. **Anuário Estatístico de Segurança Rodoviária 2010 - 2017**. 2017. Disponível em <<https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/centrais-de-conteudo/anuario-estatistico-de-seguranca-rodoviaria-pdf>>. Acesso em 07 de maio de 2021.
- SEMA (2016) – Secretaria do Estado do Meio Ambiente do Distrito Federal. **Mapa Hidrográfico do Distrito Federal – 2016**. 2016. Disponível em <<http://www.sema.df.gov.br/wp-conteudo/uploads/2017/09/Frente-do-Mapa-Hidrogr%C3%A1fico.pdf>>. Acesso em 26 de abril de 2021.
- WWF BRASIL (2016) – Fundo Mundial para a Natureza Brasil. **WWF-Brasil lança jogo ambientado no Cerrado**. 2016. Disponível em <[https://www.wwf.org.br/?54222#:~:text=Para%20se%20ter%20uma%20ideia,\(B A\)%20s%C3%A3o%20do%20Cerrado](https://www.wwf.org.br/?54222#:~:text=Para%20se%20ter%20uma%20ideia,(B A)%20s%C3%A3o%20do%20Cerrado)>. Acesso em 26 de abril de 2021.
- JORDÃO, Bruno M. e PEREIRA, Susete R. (2006). **A Análise Multicritério na Tomada de Decisão - O Método Analítico Hierárquico De T. L. Saaty**. 2006. Disponível em <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3795706/mod_folder/content/0/Tomada_de_decisao/AHP_exemplo.pdf?forcedownload=1>. Acesso em 27 de abril de 2021.

DISSERTAÇÕES, TESES E MONOGRAFIAS

- Andrade, S. P. B. (2020). **Escolha de áreas favoráveis para implantação de Aterro Sanitário em Planaltina – GO.** 2020. Monografia (Engenharia Ambiental) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Distrito Federal, Brasília, 2020.
- Godinho, Matheus Meinheim (2019). **Mapeamento de Áreas de Risco Ambiental no Distrito Federal: Influência dos Acidentes Ambientais do Transporte Rodoviário na Captação de Águas Superficiais para Abastecimento Humano.** 2019. 77 f. Monografia (Engenharia Ambiental) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Distrito Federal, Brasília, 2019.
- Vivian, Rafael Bitencourt (2015). **Análise de Contaminação em Solo e Água Subterrânea por Hidrocarbonetos derivados de Petróleo.** 2015. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Centro de Tecnologias, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2015.

NORMAS E LEGISLAÇÕES

- ANTT (2016) – Agência Nacional de Transportes Terrestres. **Resolução n° 5.232 de 14 de dezembro de 2016.** Aprova as Instruções Complementares ao Regulamento Terrestre do Transporte de Produtos Perigosos, e dá outras providências. Brasília, 2016.
- ANTT (2019) – Agência Nacional de Transportes Terrestres. **Resolução n° 5.848 de 25 de junho de 2019.** Atualiza o Regulamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos e dá outras providências. Brasília, 2019.
- BRASIL (2004). **Decreto N° 5.098, de 3 de junho de 2004.** Dispõe sobre a criação do Plano Nacional de Prevenção, Preparação e Resposta Rápida a Emergências Ambientais com Produtos Químicos Perigosos - P2R2, e dá outras providências. Brasília, 2004.
- BRASIL (2013). **Decreto N° 8.127, de 22 de outubro de 2013.** Institui o Plano Nacional de Contingência para Incidentes de Poluição por Óleo em Águas sob Jurisdição

Nacional, altera o Decreto nº 4.871, de 6 de novembro de 2003, e o Decreto nº 4.136, de 20 de fevereiro de 2002, e dá outras providências. Brasília, 2013.

CONAMA (2002) – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 306 de 05 de julho de 2002**. Estabelece os requisitos mínimos e o termo de referência para realização de auditorias ambientais. Brasília, 2002.

CONAMA (2009) – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 420 de 28 de dezembro de 2009**. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Brasília, 2009.

DISTRITO FEDERAL (2017). **Decreto Nº 38.528, de 03 de outubro de 2017**. Dispõe sobre a criação da Comissão Distrital do Plano Nacional de Prevenção, Preparação e Resposta Rápida a Emergências Ambientais com Produtos Químicos Perigosos - CD-P2R2 no âmbito do Distrito Federal, e dá outras providências. Brasília, 2017.

DISTRITO FEDERAL (2019). **Resolução Nº 1, de 21 de março de 2019**. Aprova o Regimento Interno da Comissão Distrital do Plano Nacional de Prevenção, Preparação e Resposta Rápida a Emergências Ambientais com Produtos Químicos Perigosos - CD-P2R2, no âmbito do Distrito Federal. Brasília, 2019.

IBAMA (2014) – Instituto Brasileiro do meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Instrução Normativa IBAMA Nº 15, de 6 de outubro de 2014**. Instituir o Sistema Nacional de Emergências Ambientais - Siema, ferramenta informatizada de comunicação de acidentes ambientais, visualização de mapas interativos e geração de dados estatísticos dos acidentes ambientais registrados pelo IBAMA. Brasília, 2014.

LIVROS

CÂMARA, Gilberto, DAVIS Clodoveu e MONTEIRO, Antônio M. V. (2001). Introdução à Ciência da Geoinformação, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE – 10506 – RPQ/249.