

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

**PROCEDIMENTO PARA PROSPECÇÃO DE ÁREAS DE
IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA PRODUTOR DE
ÁGUA, DA AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E
SANEAMENTO BÁSICO, NO DISTRITO FEDERAL.**

KLALBERT JÁCOME DE LIMA

ORIENTADOR: RICARDO TEZINI MINOTI

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA
AMBIENTAL**

BRASÍLIA/DF: OUTUBRO/2021

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

**PROCEDIMENTO PARA PROSPECÇÃO DE ÁREAS DE
IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA PRODUTOR DE
ÁGUA, DA AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E
SANEAMENTO BÁSICO, NO DISTRITO FEDERAL.**

KLALBERT JÁCOME DE LIMA

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:

(ORIENTADOR)

(EXAMINADOR INTERNO)

(EXAMINADOR EXTERNO)

BRASÍLIA/DF, OUTUBRO DE 2021.

FICHA CATALOGRÁFICA

LIMA, KLALBERT JÁCOME

Procedimento para Prospecção de Áreas de Implementação do Programa Produtor de Água, da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, no Distrito Federal

xi, 81p., 210x297mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2021)

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

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

- | | |
|------------------------------|---------------------|
| 1. Programa Produtor de Água | 2. Distrito Federal |
| 3. Hidrologia | 4. Geoprocessamento |
| I. ENC/FT/UnB | |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

LIMA, K. J. (2021). Procedimento para Prospecção de Áreas de Implementação do Programa Produtor de Água, da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, no Distrito Federal. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 83 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Klalbert Jácome de Lima¹

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Procedimento para Prospecção de Áreas de Implementação do Programa Produtor de Água, da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 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.

Klalbert Jácome de Lima
Condomínio Rio Negro, MD 04, Casa 58, Setor Habitacional Contagem
73.093-900 – Sobradinho/DF - Brasil

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, agradeço a Deus por todas as oportunidades que me deu, além do discernimento para as decisões difíceis que se apresentaram na graduação e da determinação para conquistar o meu sonho e da minha família.

A minha mãe, Maria Abadia, por todo o carinho e amor, e por sempre me apoiar em todas as etapas da minha vida. Ao meu pai, José Ricardo, que, embora não esteja presente fisicamente, sei que cuidou e intercedeu por mim de todas as formas no céu.

As minhas irmãs, Karolyne e Katyucia, por todos os conselhos e todo o suporte que me deram na minha caminhada. Aos meus avós paternos, Jackson e Sebastiana, que sempre me colocaram em suas orações.

A minha namorada, Laura, que foi um alicerce na minha caminhada para conclusão do curso, me ajudando de todas as maneiras com paciência e compaixão.

Aos grandes amigos e amigas que fiz durante o curso, que colaboraram que a graduação fosse um dos momentos mais extraordinários da minha vida, em especial ao meu semestre: Gabriel, Paulo, Lucas, Matheus, Vinicius, Gabriela, Marina, Júlia entre outros que sempre estiveram presente em todos os momentos.

Ao Fernando, Márcia, Daniel, Fabrício, Letícia e Adriana, integrantes da Coordenação de Águas Subterrâneas, COSUB, da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, que me ensinaram muito e sempre me capacitaram para que eu pudesse atingir voos maiores, além de contribuir tanto para minha evolução profissional como pessoal.

A toda Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA) por compartilhar os dados, que corroboraram para conclusão do projeto final.

Ao Luís Preto e Sérgio Koide por participarem da banca do projeto final no primeiro e segundo momento compartilhando conhecimentos e fazendo análises críticas a fim de ajudar a finalizar este trabalho.

Por fim, agradeço ao meu orientador Ricardo Tezini Minoti por toda ajuda, paciência e conhecimento ao longo dessa jornada, além de todo tempo disponibilizado para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

Com o crescimento populacional, alguns problemas tanto ambientais quanto sociais emergiram de forma acentuada, e dentre essas adversidades está a escassez hídrica. Pode-se dizer que a escassez hídrica no mundo é agravada por diversos fatores como a distribuição desigual de água, situação que ocorre no Brasil. A título de exemplo pode-se citar o Distrito Federal (DF), localizado em regiões de nascentes, que apresenta rios com baixas vazões, isso acarreta adversidades hídricas na cidade, além da grande população aumentar esse problema. Portanto, com intuito de mitigar essa situação, o Estado Brasileiro desenvolve programas e projetos constantemente, como exemplo pode-se destacar o Programa Produtor de Água (PPA), desenvolvido pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, uma política da esfera federal, importantíssima para o DF. O programa tem como objetivo realizar diversos tipos de ações de revitalização ambiental de bacias hidrográficas, com vistas a favorecer a infiltração de água e a recarga aquífera. Diante disso, o presente trabalho teve como propósito desenvolver um método que agregasse os conhecimentos bibliográficos e empíricos para identificar quais são as áreas que apresentam aptidão para a implementação do Programa Produtor de Água, em específico, as práticas conservacionistas. A metodologia foi criada como forma de auxílio à gestão pública do país, em especial, do Distrito Federal, unidade da federação na qual, a depender do regime de precipitação, pode vir a sofrer com a falta de disponibilidade hídrica. Cabe ressaltar que o trabalho tem a intenção de após a caracterização das áreas e realização das ações presentes no escopo do PPA, ocorra a regularização natural do fluxo basal, ou seja, uma melhor distribuição da quantidade de água disponível ao longo do ano, principalmente nos períodos de estiagem. Portanto, o resultado foi apresentado por meio de um mapa de aptidão, vale destacar que se utilizou quatro temas para sua produção, com auxílio do *software* ArcGis. O resultado encontrado foi que o Distrito Federal, na maior parte de sua extensão territorial, apresenta valores favoráveis, ou seja, regiões aptas no ponto de vista hidrológico para infiltrar a água e conseqüentemente recarregar os aquíferos. Porém, um ponto importante foi que grande parte dessa região apta, se encontra no ponto central do DF, área na qual está quase em sua totalidade urbanizada, em outros termos, com elevadas taxas de impermeabilização. De toda forma, ainda se tem uma região bastante extensa, propícia para a implementação do programa, na região leste e nordeste do DF. Por fim, cabe ressaltar que as regiões que foram caracterizadas no trabalho, como não sendo favoráveis quanto a questão de recarga aquífera, podem apresentar características vantajosas a outro tipo de ação do PPA.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. OBJETIVO GERAL.....	3
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1. CRISE HÍDRICA NO BRASIL	4
3.2. PLANEJAMENTO E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS.....	5
3.2.1. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico	6
3.2.2. Programas da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico	8
3.2.1. Programa Produtor de Água	9
3.2.1.1. Implementação do Programa Produtor de Água.....	10
3.2.1.2. Ações Técnicas	10
3.3. RECARGA DOS AQUÍFEROS.....	13
3.3.1. Recarga Natural dos Aquíferos	14
3.3.2. Recarga Artificial dos Aquíferos.....	15
3.3.3. Técnicas de Recarga Artificial usadas no Programa Produtor de Água.....	16
3.3.3.1. Terraceamento	16
3.3.3.2. Barraginhas	18
3.4. GEOPROCESSAMENTO	19
3.4.1. Sistema de Informações Geográficas – SIG.....	20
3.4.2. Uso do SIG na Gestão e Planejamento Ambiental.....	21
3.5. ANÁLISE ESPACIAL MULTICRITÉRIO DE SUPORTE A DECISÃO	23
3.5.1. Método Booleano	24
3.5.2. Método <i>Fuzzy</i>	25
3.5.3. Método da Média Ponderada.....	25
3.5.4. Técnica AHP – Processo Analítico Hierárquico	26
4. METODOLOGIA.....	28
4.1. ÁREA DE ESTUDO	29
4.1.1. Avaliação e Análise dos Estudos Hidrogeológicos Realizados no DF	29
4.2. LEVANTAMENTO DE DADOS FÍSICOS	30

4.2.1 Declividade.....	31
4.2.2 Hidrologia dos Solos	33
4.2.3 Geologia	36
4.2.4 Escoamento de Base.....	37
4.3 MÉTODO AHP	38
4.4 MAPA DE APTIDÃO PARA IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA PRODUTOR DE ÁGUA	38
4.5 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O MAPA DE ÁREAS PROPÍCIAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA COM A BACIA DO PIPIRIPAU-DF	40
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
5.1. DECLIVIDADE.....	41
5.2. HIDROLOGIA DOS SOLOS	45
5.3. GEOLOGIA	53
5.4. ESCOAMENTO DE BASE	59
5.5. MÉTODO AHP	71
5.6. ANÁLISE DO MAPA FINAL DE APTIDÃO	72
5.6.1 Análise Comparativa do Mapa Final com a Bacia do Pípiripau – DF.....	75
6. CONCLUSÕES.....	78
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Organização do Escopo Institucional, segundo a Lei n 9.433/97.....	5
Figura 3.2: Uso da Água em Porcentagem.....	7
Figura 1.3: Ciclo Hidrológico.....	14
Figura 3.4: Terraceamento em Barra do Rio Azul.....	16
Figura 3.5: Barragem localizada em Tocantins.....	18
Figura 3.6: Representação esquemática geral de utilização do SIG.....	20
Figura 3.7: Sobreposição de Informações no SIG.....	21
Figura 3.8: Processo de tomada de decisão.....	23
Figura 3.9: Diagrama de Venn com resultados de aplicação dos operadores lógicos.....	24
Figura 3.9.1: Diagrama de Venn Diferença entre as bordas do método Fuzzy e Booleano..	25
Figura 4.1: Fluxograma de Etapas.....	28
Figura 4.2: Mapa do DF.....	29
Figura 4.3 - Valores dos pesos referentes à reclassificação.....	30
Figura 5.1 – Mapa de Declividade do Distrito Federal.....	42
Figura 5.2 – Mapa de Declividade do Distrito Federal com seus Pesos Relativos.....	44
Figura 5.3 – Mapa Pedológico do Distrito Federal.....	47
Figura 5.4 – Mapa de Solos do DF classificados em função dos Agrupamentos Hidrológicos.....	51
Figura 5.5 – Mapa de Solos do DF Reclassificado com seus respectivos pesos.....	52
Figura 5.6 - Aquíferos Aflorantes no Distrito Federal.....	54
Figura 5.7 – Grupos Geológicos no Distrito Federal.....	55
Figura 5.8 - Reclassificação do Mapa Geológico do Distrito Federa.....	58
Figura 5.9 - Distribuição das estações de acordo com anos de dados nas séries.....	59
Figura 5.10 - Estações fluviométricas do DF e entorno cadastradas no banco de dados da ANA.....	60
Figura 5.11 - Estações fluviométricas do DF e entorno com registros de dados na ANA.....	61

Figura 5.12 - Distribuição das estações de acordo com a relação Q90/Q50.....	62
Figura 5.13 - Áreas de contribuição das estações fluviométricas com 5 ou mais anos de dados.....	63
Figura 5.14 - Estações fluviométricas com formações geológicas predominantes em suas áreas de contribuição.....	65
Figura 5.15 - Distribuição das estações fluviométricas com geologias predominantes de acordo com a relação Q90/Q50.....	66
Figura 5.16 - Curvas de permanência de estações representativas da Unidade Paranoá 2 Siltico-ardosiana.....	66
Figura 5.17 - Curvas de permanência de estações representativas da Unidade Rítmica pelito-carbonatada.....	67
Figura 5.18 - Curvas de permanência de estações representativas das Coberturas detritolateríticas ferruginosas.....	67
Figura 5.19 - Curvas de permanência de estações representativas do Subgrupo Paraopeba.....	68
Figura 5.20 - Curva de permanência de estação representativa da Formação Serra do Landim.....	68
Figura 5.21 - Curva de permanência de estação representativa da Unidade Araxá (Unid.B).....	69
Figura 5.22 – escoamento de Base Reclássificado em função dos Pesos.....	70
Figura 5.23 – Mapa de Aptidão para Implementação do Programa Produtor de Água sem o método AHP.....	73
Figura 5.24 - Mapa de Aptidão para Implementação do Programa Produtor de Água com o método AHP.....	74
Figura 5.25 - Aplicação da Metodologia à Bacia do Pípiripau-DF.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Escala de comparadores (Saaty).....	26
Tabela 3.2 - Valores de IR em função de matrizes de ordem n (Santos et al., 2010).....	27
Tabela 4.1 – Faixas de Declividade com seus pesos relativos.....	32
Tabela 4.2 – Parâmetros para cálculos do tempo de concentração.....	34
Tabela 4.3 - Critérios propostos para classificação hidrológica de solos tropicais brasileiro, Sartori (2010).....	36
Tabela 4.4 - Faixas de Análise (Hidrologia dos Solos).....	37
Tabela 4.5 – Faixas de Classificação do Mapa Final.....	40
Tabela 5.1 – Áreas das Faixas de Declividade.....	41
Tabela 5.2 – Resultado dos Tempos de Concentração.....	43
Tabela 5.3 – Pesos relativos aos respectivos intervalos.....	43
Tabela 5.4 – Ordem e Subordem dos Solos do DF.....	45
Tabela 5.5 - Solos do Distrito Federal, classificados até a quarta ordem.....	46
Tabela 5.6 – Porcentagem Relativa aos Solos do DF.....	48
Tabela 5.7 – Classificação dos Solos quanto ao Grupo Hidrológico e Peso.....	49
Tabela 5.8 - Distribuição dos Aquíferos Aflorantes no Distrito Federal.....	53
Tabela 5.9 - Nome das geologias presentes no Distrito Federal.....	56
Tabela 5.10 - Litotipos das geologias.....	56
Tabela 5.11 - Pesos atribuídos as geologias.....	57
Tabela 5.12 - Estações representativas de geologias com 70% ou mais de predominância.....	64
Tabela 5.13 - Unidades geológicas com relações Q90/Q50 características e seus respectivos pesos.....	69
Tabela 5.14 - Matriz de Comparação Pareada.....	71
Tabela 5.15 - Matriz Normalizada com os respectivos Pesos.....	71
Tabela 5.16 - Pesos dos Critérios.....	72
Tabela 5.17 - Análise da Metodologia na Bacia do Pípiripau – DF.....	75

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 3.1: Fórmula da Razão de Consistência.....	25
Equação 3.2: Fórmula do Índice de Consistência.....	25
Equação 3.3: Fórmula do Autovetor.....	25
Equação 4.1: Método de Culvets Practica.....	33
Equação 4.2: Equação de Dooge.....	33

LISTA DE ABREVIACÕES, SIGLAS E SÍMBOLOS

ADASA	Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
AHP	<i>Analytical Hierarchy Process</i>
COIMP	Coordenação de Implementação de Programas
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COSUB	Coordenação de Água Subterrâneas
MNT	Modelo Numérico de Terreno
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PPA	Programa Produtor de Água
PSA	Pagamento por Serviços Ambientais
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
SICAD	Sistema Cartográfico do Distrito Federal
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento Hídricos

1. INTRODUÇÃO

A água sempre foi, além de vital, um elemento extremamente valioso para a organização das sociedades, sendo um dos recursos naturais mais importantes para o desenvolvimento de uma comunidade.

Com o crescimento populacional e a urbanização acelerada, a demanda por água aumentou de forma alarmante. Especialistas afirmam que a quantidade, em volume, de água disponível atualmente é a mesma de bilhões de anos atrás. Porém, é fato que a qualidade da mesma não se encontra intacta, para corroborar com isso os dados mostram que atualmente 26% das águas residuárias não são coletadas e não dispõem de nenhum tratamento. Não se pode negar os avanços quanto a gestão dos recursos hídricos, entretanto tem um grande caminho a ser trilhado.

A urbanização trouxe outro problema, a impermeabilização do solo, um processo bastante comum que faz parte da contínua evolução denominada, crescimento urbano, este fato faz com que a água proveniente da chuva não seja devidamente absorvida pelo solo, portanto aumenta a possibilidade de ocorrência de enchentes nas cidades e também ocasiona problema na recarga de aquífero que, por sua vez, age diretamente como repositores de água do rio, por meio do fluxo basal.

No que tange o uso múltiplo da água, a situação não é diferente, pois os interesses de diversos segmentos fazem com que a exploração aumente, além de contribuir para uma divisão desigual, tanto quantitativamente quanto financeiramente dos recursos hídricos.

Grande parcela da água é destinada à agricultura, na qual é usada majoritariamente na irrigação. Isso ocasiona problemas, propiciando uma difícil gestão dos órgãos envolvidos em fiscalizar, planejar e difundir o uso sustentável da água.

Devido a esses elementos citados, a discussão sobre como maximizar a disponibilidade hídrica e contornar tais problemas, vem sendo a principal pauta de diversos fóruns, encontros políticos e estudos acadêmicos. Exemplo disso foi a Lei n 9.433 de 8 de janeiro de 1997, que ficou conhecida como Lei das Águas, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), nela se concebeu instrumentos para a gestão dos recursos hídricos. Ficou conhecida por seu caráter descentralizador, sendo um novo sistema de integração e participação.

Em 2000, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) foi criada com intuito de cumprir os objetivos e diretrizes da Lei das Águas, conduzindo diferentes frentes para realizá-la, como o planejamento e a gestão integrada, construindo dessa forma um grande arcabouço de atuação, elaboração e participação de estudos estratégicos, como por exemplo os Planos de Bacias Hidrográficas, Relatórios entre outros.

A ANA possui uma Superintendência de Implementação de Programas e Projetos, que hoje exerce papel importantíssimo na concepção de novos produtos que possam ajudar o território nacional com seus problemas hídricos. Um desses projetos é o Programa Produtor de Água (PPA) que remunera os produtores rurais pelos serviços ambientais prestados, dentre esses serviços pode-se citar a aplicação de práticas conservacionistas de água e solo, na qual visa a minimização das erosões hídricas que, por sua vez, acarreta o aumento da infiltração da água no solo.

A poluição proveniente das grandes cidades, a escassez de água em períodos de estiagem, os conflitos do uso da água, todos esses aspectos estão presentes no cenário brasileiro. Portanto, formas de solucionar tais problemas devem ser prioridade das políticas públicas. Com isso, programas como o Produtor de Água e planos estratégicos, da ANA, contribuem para amenizar os impactos sentidos pela sociedade.

Porém, um problema apresentado no Programa, é que os diagnósticos socioambientais geralmente não indicam áreas com os melhores potenciais de recarga, dessa forma, atualmente, a escolha das áreas, na maioria das vezes, é realizada por uma pesquisa institucional na região para verificar a viabilidade econômica e política para se implementar o programa.

Pretendendo reduzir a falta desse suporte técnico no embasamento das escolhas, a Coordenação de Águas Subterrâneas, COSUB, apresentou uma proposta para indicação de áreas que tenham uma maior prospecção para a retenção da água pluvial, utilizando-se de uma visão macro e micro das características físicas das áreas, visando a maximização da recarga dos aquíferos. Portanto, esse trabalho aspira realizar um mapa de aptidão para implementação do programa em função de áreas que possuam a maior recarga de aquífero, que posteriormente resultará em um acréscimo significativo no fluxo basal, e nas vazões dos rios.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Estruturar um procedimento técnico que contribua no processo de caracterização e identificação de áreas com um melhor potencial de recarga aquífera, auxiliando a implementação das ações de conservação de água e solo realizadas pelo Programa Produtor de Água da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) no Distrito Federal.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar as características físicas que mais influenciam na recarga de aquíferos gerada pela adoção de práticas conservacionistas a partir do estabelecimento de critérios e de ponderação;
- Elaborar um mapa das áreas mais propícias para implementação do Programa Produtor de Água no DF a partir de método multicritério;
- Realizar análise comparativa entre o mapa de áreas mais propícias para a implementação do Produtor de Água no DF com a Bacia do Pípiripau-DF, área preexistente de atuação do Programa.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. CRISE HÍDRICA NO BRASIL

A crise ambiental já é realidade para a sociedade, em um mundo no qual todos os recursos naturais estão no embate entre o modelo de produção capitalista, que tem como mantra, o uso indiscriminado de todos esses elementos (MÉSZARÓS, 2002). A água, mesmo sendo um bem comum, um benefício que todos devem ter direito, passou a ter um valor econômico, o que resultou na cobrança pelo seu uso, instrumento no qual é usado para promover o uso racional, e conseqüentemente gerar vantagens e investimentos tanto direto e indireto para a própria bacia hidrográfica em que foram captados os recursos (MORAIS et al., 2018).

Segundo Tundisi (2008) o Brasil detém de cerca de 14% da água do planeta, porém possui uma distribuição desigual de volume e disponibilidade de recursos hídricos, enquanto a Amazônia tem 700.000 m³ de água por ano disponível, a região metropolitana de São Paulo tem 280 m³ por ano. Já Tucci (2000) mostra que o Brasil na maior parte de seu território apresenta condições favoráveis em relação à disponibilidade x demanda, não apresentando déficit de recursos hídricos. Entretanto, nos períodos de estiagem e em regiões onde o uso da água é intenso, como metrópoles e cidades vizinhas este elemento preocupante surge. Dentre todas as condições que corroboram para a situação citada acima, um dos maiores problemas quando se fala em disponibilidade hídrica é a irrigação, principalmente em regiões de forte demanda agrícola.

	Agricultura	Indústria	Humano
Mundo	69	23	8
Brasil	68	14	18

Figura 3.1 Uso da Água em Porcentagem. Fonte: Tucci

Segundo Tucci (2000) “A falta de água em anos mais secos, que ocorre em algumas regiões tanto para a agricultura como para o abastecimento, é muitas vezes fruto da falta de regularização e de programas preventivos para redução dos impactos das secas ocasionais”.

Ao longo do século a demanda por água aumentou seis vezes, enquanto a população cresceu metade, apenas três vezes. Refutando que o maior consumidor é a agricultura,

trazendo assim um risco quantitativo. Sempre se buscou o controle do volume disponível por meio de obras hidráulicas, tais obras que visam reduzir essa redução de volume por meio da regularização das vazões, estendendo assim a disponibilidade ao longo do tempo. Tucci (2017)

3.2. PLANEJAMENTO E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

De acordo com Tucci et al., (2000) o desenvolvimento dos países em expansão econômica, como os da América do Sul, no setor de gestão de recursos hídricos seguiu a mesma tendência já aplicada em países desenvolvidos, porém em épocas distintas.

No início dos anos 90, as políticas brasileiras sobre recursos hídricos tiveram uma mudança considerável. Antigamente cada âmbito da política, tanto ambiental, de energia como outros eram fragmentados, não havia nenhum tipo de integração. Em 1991 o governo federal junto ao Congresso Nacional encaminhou a proposta para criação do Sistema Nacional de Gerenciamento Hídricos – SINGREH, onde só foi sancionado em 1997 (Novaes, 2006). De acordo com Morais et al. (2018), apenas no final da década de 90 que a Lei nº 9433/97 trouxe uma nova face para a gestão de recursos hídricos no país, sendo assim, estabeleceu instrumentos, níveis, atores e organismos envolvidos em toda a cadeia, um marco para as questões hídricas, como mostrado em seu artigo 33.

Segundo Tucci (2001), a Lei nº 9433/97 foi um longo processo de considerações e avaliações das experiências de gestão de recursos hídricos, formulando assim propostas para a melhoria dessa gestão no país. E complementa abordando o fato de que o sistema criado pela lei se sobrepõe ao antigo, mas não se opõe em nenhum momento. Tal Lei mantém as competências de todos os organismos existentes e potencializa suas atuações, criando outras estruturas para atingir uma maior quantidade de atividades, na qual os órgãos já existentes não conseguiriam abranger.

A importância dos recursos hídricos em todas as atividades humanas é notória, o que pode ser visto com a criação de algumas políticas públicas já implementadas, e outras em processo de sanção, além é claro da preocupação global com o assunto. Porém seu desenvolvimento e a conservação dos sistemas naturais é um imenso desafio, tanto para a esfera pública, governo, quanto para a sociedade. É uma temática que leva em conta diversos fatores para atingir sua máxima eficiência e abrangência, fatores esses como as condições sociais e econômicas do País. (TUCCI et al., 2000)

3.2.1. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

O gerenciamento federal das águas ficou para a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), no nível estadual as ações, por sua vez, variam muito, porém é indubitável que em todos os níveis, federal ou estadual, o estabelecimento do comitê das bacias e das agências operativas, que sustentam a participação pública no planejamento das ações. (TUCCI, 2000)

A ANA é um órgão da administração pública indireta, criada através de uma lei específica (Lei N 9.984/2000), sendo ela uma agência reguladora que tem o dever de cumprir os objetivos da Lei das Águas do Brasil, a lei N 9.433 de 1997. Seguindo basicamente quatro linhas de atuação: Regulação, Monitoramento, Aplicação da lei e Planejamento. (ANA, 2019)

Na regulação, a Agência regula o acesso e o uso dos recursos hídricos de domínio da União, como também os serviços públicos de irrigação e adução de água bruta. Tem o papel de emitir e fiscalizar o cumprimento de normas, em especial as outorgas. Já no monitoramento é responsável por acompanhar toda a situação dos recursos hídricos do Brasil, coordenando a Rede Hidrometeorológica Nacional que com apoio dos estados e de parceiros pontuais, capta informações importantes para a melhor administração, planejamento e uso da água no território nacional como, nível, vazão e sedimentos dos rios ou quantidade de chuvas. Além de, em conjunto com o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), defini as regras de operação dos reservatórios das usinas hidrelétricas, de maneira a garantir que todos os setores tenham acesso a água represada. No papel de aplicador da lei, coordena a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelecendo, realizando e apoiando programas e projetos que visem a melhora da disponibilidade hídrica. A ANA estimula uma gestão participativa e democrática, que englobe todos os representantes do governo, usuários e das comunidades. A última linha de ação, planejamento, elabora ou participa de estudos estratégicos, exemplos são os Planos de Bacia Hidrográfica e os Relatórios de Conjuntura (ANA, 2019).

A Lei N 9984/2000 instituiu também a sua estrutura organizativa. A Agência possui uma Diretoria Colegiada dividida em quatro áreas: hidrologia, gestão, planejamento e

regulação que, por sua vez, recebem suporte de nove superintendências, dentre elas a Superintendência de Implementação de Programas e Projetos.

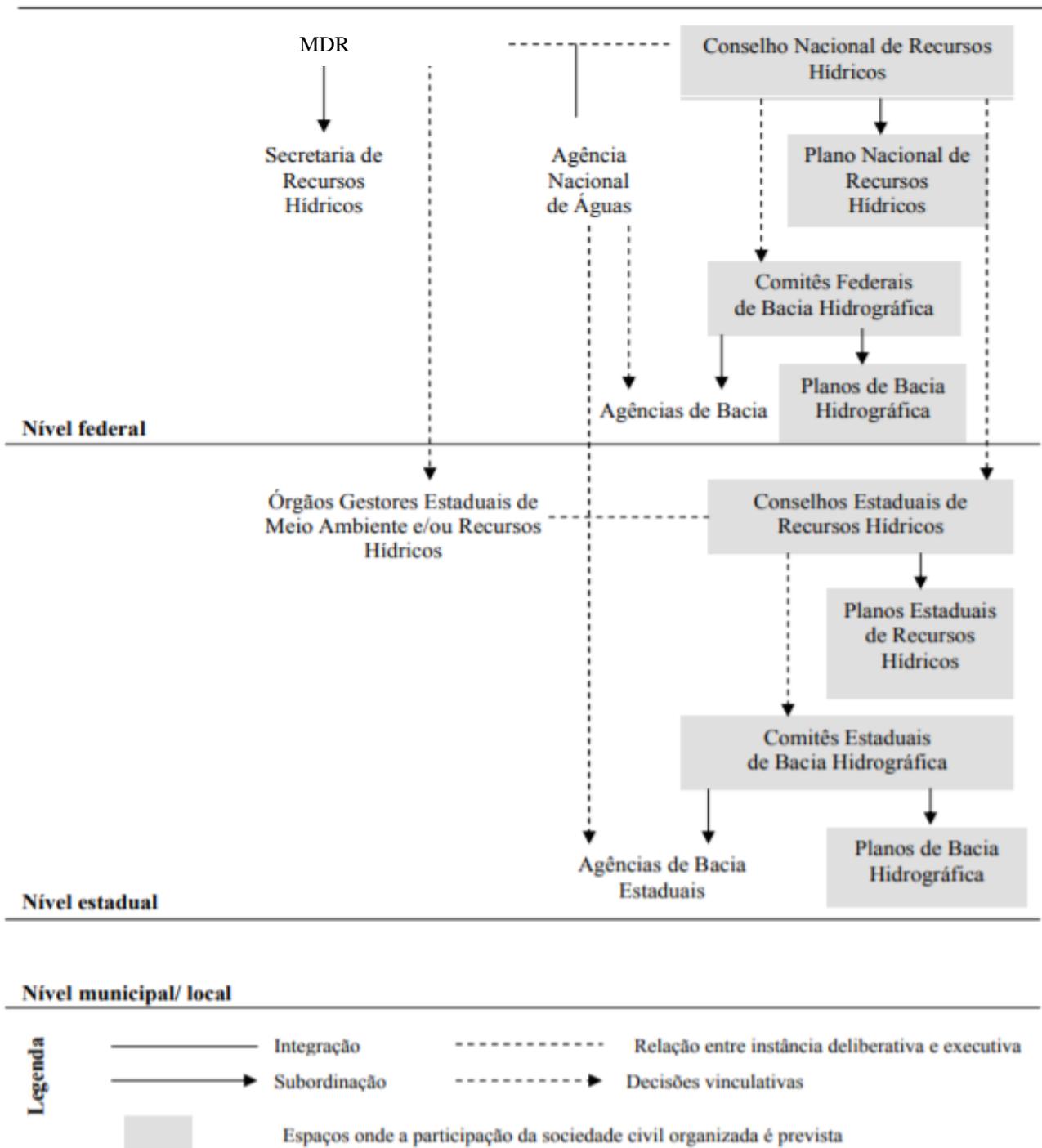


Figura 3.2 Organização do Escopo Institucional. Fonte: Veiga

A Superintendência de Implementação de Programas e Projetos está também subdividida em coordenações, dentre essas, destacam-se a Coordenação de Implementação de Projetos Indutores (COIMP), que se encarrega dos projetos indutores, como o Programa Produtor de Água (PPA), desde a liberação de editais até a supervisão dos projetos selecionados. Já a Coordenação de Águas Subterrâneas (COSUB), no âmbito da implementação dos projetos indutores, tem demonstrado o seu papel fundamental no estudo de toda a cadeia de implementação, para melhor eficiência, estabelecendo estudos técnicos para ele.

3.2.2 Programas da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

A ANA é a entidade responsável pela efetivação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), desenvolvendo uma série de ações voltadas à gestão dos recursos hídricos como a implementação dos instrumentos de gestão e desenvolvimento de programas e projetos com vistas à conservação e ao uso eficiente e racional da água. Foi então, no ano de 2001, com o início das discussões relacionadas a implementação da cobrança pelo uso da água, vislumbrou-se na ANA a necessidade de desenvolver programas de aplicação dos recursos que pudessem fazer com que os usuários entendessem o que consistia na aplicação do instrumento. O ponto inicial foi o desenvolvimento do Programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas (PRODES), que se fundava no estímulo financeiro aos prestadores de serviços de saneamento que investiam na implementação e operação de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE). (ANA, 2012)

O comitê de bacia hidrográfica é a instituição que representa a sociedade e tem a prerrogativa de estabelecer mecanismos de cobrança pelo uso de recursos hídricos, bem como sua aplicação, sempre visando o menor impacto social causado pelo uso da água. As Agências de Bacias, ou Agências de Água, são as entidades criadas para dar apoio administrativo, técnico e financeiro a esses comitês de bacias hidrográficas. Cabe às agências colocar em prática as ações, planos e projetos previamente aprovados pelo Comitê, inclusive a cobrança pelo uso da água. (MORAIS et al.,2018)

Se, por um lado, o princípio do “usuário-pagador” prevê a necessidade da cobrança daquele que utiliza o recurso, raciocínio semelhante pode ser aplicado àquele que contribui com a manutenção ou melhoria da disponibilidade de água. Dessa forma, surge o princípio do “provedor–recebedor”, que defende que quem contribui para melhorar a disponibilidade quali-quantitativa de água, adotando práticas sustentáveis, deve receber por esse serviço prestado à bacia hidrográfica. Toda vez que

um ou mais produtor rural adota práticas sustentáveis, gera benefícios sociais na medida em que os usuários da bacia hidrográfica passam a dispor de água em qualidade e quantidade mais adequadas às suas demandas. (ANA,2012, p.11)

Seguindo a base desses princípios, a ANA desenvolveu o Programa Produtor de Água, que é um elo importante entre Agência, usuários e o setor rural, visando um único objetivo que é a fomentação de práticas sustentáveis a partir do pagamento por serviços ambientais.

3.2.1 Programa Produtor de Água

O Manual Operativo do Programa Produtor de Água (PPA) expressa que atualmente, com o crescimento exacerbado da população mundial a pressão sobre os recursos naturais cresce, sendo assim a manutenção dos serviços ecossistêmicos, a capacidade de resiliência do meio ambiente, acaba sendo dependente da implementação de práticas humanas que minimizem os impactos negativos deste desenvolvimento desequilibrado.

O PPA é “um instrumento pelo qual a União apoia a melhoria, a recuperação e a proteção de recursos hídricos em bacias hidrográficas estratégicas, tendo como base ações executadas no meio rural voltadas à redução da erosão e do assoreamento de mananciais, de forma a proporcionar o aumento da qualidade e a tornar mais regular a oferta da água” (ANA, 2012)

O Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) se torna cada vez mais popular como uma maneira de gerenciar ecossistemas usando contraprestação de serviços. (FARLEY et al., 2010). Essa crescente aplicação na gestão, não é apenas uma estratégia de valoração dos serviços provenientes dos ecossistemas, mas também um incentivo à sua provisão por agentes locais. (ENGEL, 2016)

Pode-se observar que os esquemas de PSA, não é algo recente, sendo conceitos abordados na história desde o início do século XX. Porém, somente nas últimas décadas os pagamentos por serviços ambientais vêm ganhando espaço em publicações em todo mundo, além de ser uma base extremamente forte para experiências práticas de políticas públicas. (ANA, 2012)

3.2.1.1 Implementação do Programa Produtor de Água

O Programa se baseia nas articulações e parcerias entre instituições das esferas municipal, estadual, federal e privada, tendo o enfoque no desenvolvimento da política de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) como um instrumento de incentivo aos produtores rurais que adotarem, de forma voluntária, práticas que corroborem à conservação de água e solo. (ANA, 2012). A atuação do PPA, se baseia no princípio de que existam pessoas interessadas no produto água e estão dispostas a contribuir para a conservação da água, que por sua vez gera uma melhora no solo, nas propriedades rurais. O uso de práticas conservacionistas tem um aumento significativo na conservação do solo em propriedades rurais, e isso é um fator que auxilia no ingresso, voluntário, dos produtores rurais ao Programa, que muitas das vezes não conseguem entender o benefício que gera em termos hídricos, a infiltração da água no solo. (ANA, 2018)

Em termos práticos, os produtores irão ingressar nos projetos, por meio de editais lançados pela própria Agência, possibilitando então a atuação de um conjunto de instituições que executam ações para assim possibilitar a adequação de sua propriedade para o programa. As ações consistem no manejo correto da propriedade por meio de práticas de conservação de solo e água, que visam principalmente a redução da erosão, característica importante para o entendimento do produtor rural e fomenta a adoção das práticas em outros, e também o aumento do volume de água disponível para a sociedade. Muitas das vezes os produtores não detêm de capital para realizar as ações em suas propriedades, sendo assim tais intervenções são apoiadas pelo projeto. (ANA, 2018)

3.2.1.2 Ações Técnicas

O solo é uns dos itens mais importantes, no quesito recursos naturais. O principal objetivo, quando se fala em planejamento de uso das terras, é obter um maior aproveitamento da água da chuva, evitando a perda excessiva por escoamento superficial. (EMBRAPA, 2012) O escoamento superficial ou escoamento direto é uma variável fundamental em relação a sua influência com regime hidrológico, se mostra como um dos principais modeladores do relevo, influenciando diretamente na produção de sedimentos em uma bacia hidrográfica. O conhecimento acerca de todas suas características traz a possibilidade de uma melhor gestão hídrica do meio. (SANTOS et al., 2013)

O manejo correto do solo traz benefícios não só para os produtores rurais que utilizam de forma direta o solo com as práticas de cultivo, pecuária, entre outras atividades, mas também para os usuários que apenas usufruem da água. Pois quando se evita e minimiza o escoamento superficial, cria-se uma condição mais adequada para que a água pluvial se infiltre no solo, conseqüentemente recarregando os aquíferos, promovendo um maior volume na vazão do rio.

Segundo Ribeiro (2007), a erosão acarreta diversos problemas e prejuízos para o meio ambiente, devido à perda de áreas agricultáveis e à conseqüente degradação dos recursos hídricos. Yu et al. (1998) ressalta que cerca de 2 bilhões de hectares, o que equivale a aproximadamente 13% da superfície terrestre, já sofreu algum tipo de degradação induzida pelo homem. A erosão é um dos principais fatores causadores da degradação e deterioração da qualidade ambiental, que obviamente está ligada ao manejo inadequado do solo. Como pode ser visto a principal causa da degradação das terras agrícolas é a erosão hídrica, que de acordo com a Embrapa (2012) tal erosão hídrica consiste no desprendimento e arraste de partículas do solo.

O processo erosivo, resumidamente, é descrito segunda a Embrapa (2012) da seguinte forma:

Com o início das chuvas, parte do volume precipitado é retido pela vegetação e parte atinge a superfície do solo. O volume que atinge o solo é responsável pelo aumento da umidade e pela diminuição das forças coesivas dos agregados. Com a continuidade da chuva, por causa do impacto direto das gotas, ocorre a quebra dos agregados em partículas menores e deposição nas camadas superficiais, havendo uma tendência à compactação, levando à formação do encrostamento superficial. A formação dessa camada tem como conseqüência a diminuição da capacidade de infiltração de água no solo. Assim, o empoçamento da água nas depressões da superfície do solo começa a ocorrer quando a intensidade da precipitação excede a capacidade de infiltração ou quando a capacidade de armazenamento de água no solo for excedida. Quando esgotada a capacidade de retenção superficial do solo, se iniciam o escoamento superficial e o processo erosivo.

Com a grande demanda por uma solução para tais problemas citados acima e crise hídrica que a cada ano que se passa se agrava mais, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) por meio do Programa Produtor de Água (PPA), utilizou-se de ambas as necessidades para implementar as práticas conservacionistas de solo e água nas propriedades rurais.

As ações técnicas operadas pelo PPA, presentes na nota informativa da ANA, estão listadas abaixo, todavia outras ações podem ser executadas conforme características de cada região e da propriedade rural.

1. Manutenção de áreas de recarga hídrica;
2. Conservação de vegetação natural;
3. Plantios de vegetação arbórea;
4. Culturas perenes;
5. Proteção de nascentes
6. Proteção de margens de cursos d'água
7. Conservação de solos mediante construção de terraços em curva de nível, construção de barragens ou caixas de acúmulo e infiltração de água;
8. Plantio direto para culturas anuais;
9. Reforma e bom manejo de pastagens;
10. Descompactação de solos;
11. Sistemas agrosilvipastoris.

Sem desconsiderar todas as ações dos programas, as que estão ligadas em maior grau de influência com o objetivo de aumento de infiltração da água pluvial no solo são os pontos 1,7 e 10. As práticas conservacionistas são divididas em: edáficas, vegetativas e mecânicas. A primeira é aquela que, com modificações no sistema de cultivo, mantém ou melhoram a fertilidade do solo. A segunda tem o objetivo da manutenção de cobertura adequada no solo, evitando assim a ação direta da precipitação. E por último a de caráter mecânico que por meio de estruturas artificiais, visam a interceptação do escoamento superficial.

Segundo Assis (2017), as práticas de caráter mecânico têm como papel fundamental a interferência na velocidade do escoamento superficial, dessa forma ajuda a reduzi-la e consequentemente tem um menor carreamento do solo, a ponto de ocasionar perdas de solo acima dos limites toleráveis. E também ressalta que a práticas que tem uma maior difusão dentre as outras, são os terraços, canais escoadouros, bacias de captação de águas pluviais e barraginhas.

Portanto, toda prática que possibilite a redução de energia cinética da chuva aplicada a superfície do solo, proporciona a minimização do processo erosivo, aumentando também a capacidade de infiltração e armazenamento de água no solo. (PRUSKI, 2006)

3.3 RECARGA DOS AQUÍFEROS

Sabe-se que a quantidade total de água disponível na Terra está distribuída em três formas (sólida, líquida e gasosa), além de apresentar uma constância ao longo desses séculos. Essa quantidade está em constante fluxo entre os grandes “reservatórios” que são, os oceanos, a atmosfera e os continentes. O ciclo hidrológico é um resumo dessa circulação da água, sendo uma consequência do princípio da conservação da água na Terra. (ROSA, 2002).

Toda a água está em constante movimentação através do ciclo hidrológico. Como citado acima sobre o fluxo entre os “reservatórios”, esse ciclo pode ser subdividido em porção atmosférica-superficial e superficial-subterrânea, a primeira forma supracitada em que a velocidade da movimentação é rápida, sendo dias ou meses, já a segunda muito lenta, podendo levar anos a milhares de anos. (FETTER, 1994)

De toda a água presente no globo terrestre, estima-se que 97,5% é salgada e, portanto, não adequada ao consumo humano. Dos 2,5% de água doce, a sua maior parte é de difícil acesso ou impossível de ser utilizada, pois está concentrada nas geleiras, 30% são águas subterrâneas (armazenadas em aquíferos) e 1% encontra-se nos rios. Observando que o seu uso deve ser regado, sem prejudicar nenhum dos diferentes usos existentes. (ANA, 2016)

Como já citado, o crescimento urbano desenfreado e outros problemas, faz com que a disponibilidade hídrica diminua drasticamente. Um dos fatores que colaboram para tal diminuição é devido ao fato da grande impermeabilização do solo, acarretando assim uma diminuição da recarga natural dos aquíferos.

Barbosa & Mattos (2008) explica que mesmo que haja o consenso da importância dos recursos hídricos subterrâneos, principalmente quando se aborda o abastecimento urbano e agrícola ainda existem atividades humanas que causam impactos negativos sobre eles. E a falta de políticas públicas causam a degradação das áreas de recarga natural, maximizando o escoamento superficial gerando problemas de enchentes e inundações. A falta de recarga não é o único fator da crise, a super-exploração da água subterrânea associada causa o esgotamento desse recurso.

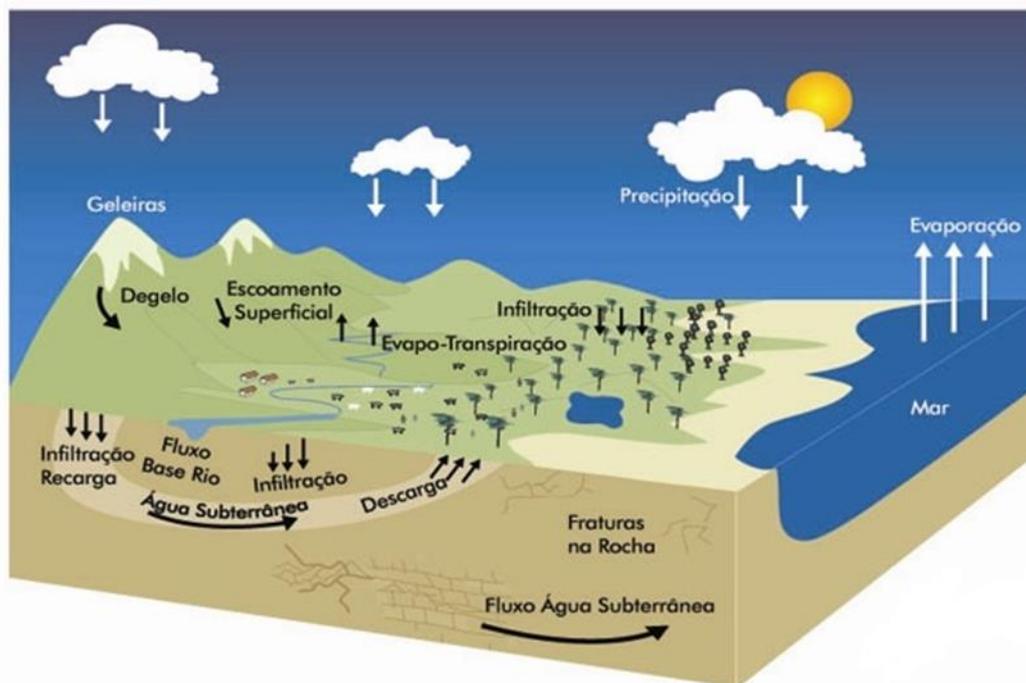


Figura 3.3 Ciclo Hidrológico. Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2016)

3.3.1 Recarga Natural dos Aquíferos

A recarga natural inclui a água proveniente da precipitação que depois de infiltrada nos solos alcance a zona saturada dos aquíferos. O relatório da ADASA (2015) afirma que alterações nas áreas de recarga como redução da permeabilidade, compactação dos solos e desmatamento afetam o processo de recarga natural e assim influencia negativamente no ciclo hidrológico.

No ciclo hidrológico, a água da chuva tem dois destinos quando encontra o solo, pode escoar pela superfície ou infiltrar. Após a infiltração, fica sujeita à evaporação, absorção pelas plantas subsequentemente evapotranspirada, ou pode escoar horizontalmente em direção à zona saturada sub-superficial; sendo esta última denominada como água de recarga. (ROSEIRO, 2009)

A recarga natural do aquífero é influenciada diretamente por alguns fatores fundamentais, sendo eles: a disponibilidade de água, podendo ser oriunda de precipitação pluviométrica ou de corpos d'água superficiais; como também, a presença de formações geológicas que permitam a infiltração. (Moura, 2004)

Moura (2004), Fetter (1994) citam que a velocidade da água em aquíferos subterrâneos é, em sua grande maioria, lenta e pode levar meses ou anos para se deslocar dentro aquífero,

onde o fluxo em águas subterrâneas pode ser dividido em saturado e insaturado. E Moura (2004) reforça que esse fluxo depende de vários fatores, sendo que sua velocidade pode ser elevada quando o sistema aquífero apresenta ocorrências geológicas como fraturas, exemplo é o basalto, e solos com permeabilidade elevada, nesta situação a redução de tempo entre o deslocamento do ponto inicial até a zona de recarga é considerável.

De acordo com Roseiro (2009) a recarga natural é responsável direta pela formação e manutenção dos recursos hídricos subterrâneos, sendo a diferença entre as entradas de água para o meio subterrâneo e as saídas de água do meio subterrâneo.

3.3.2 Recarga Artificial dos Aquíferos

A demanda por água é crescente em qualquer parte do mundo, exigindo a aplicação de novas técnicas para tentar suprir esta necessidade, é sabido por todos a indispensabilidade de implementar metodologias que preservem o aquífero, recuperem seus níveis e então reponha gradualmente os volumes retirados nos últimos anos.

Diamantino (2005) aponta que uma das técnicas de gestão de aquíferos, aplicada a nível internacional, consiste na recarga artificial, definindo com a introdução de água de forma artificial para o interior de um aquífero, com o propósito de aumentar a disponibilidade dos recursos hídricos subterrâneos e/ou melhorar a sua qualidade. Sempre visando a forma mais racional e econômica de aplicação.

Barbosa & Mattos (2008) corroboram afirmando que práticas que aumentem a recarga do aquífero tendem a aliviar problemas de drenagem urbana. Chuvas com altas velocidades causam erosão em regiões agrícolas, como também apresentando volume excessivo geram alagamentos. Ela conduz parte destes volumes que seriam perdidos para integração no sistema aquífero.

O processo que induza infiltração ou injeção de água nos aquíferos, planejada ou não, denominasse recarga artificial. (ROSEIRO, 2009)

Um dos principais objetivos da recarga artificial é o aumento da disponibilidade hídrica, porém apresenta outros tipos de utilização, como: controle da intrusão salina em aquíferos costeiros, armazenamento de água, redução da subsidência dos solos, melhoria da qualidade da água através da remoção de sólidos suspensos pela filtração pelo solo ou através da diluição por mistura com as águas subterrâneas existentes. (ADASA, 2015)

3.3.3 Técnicas de Recarga Artificial usadas no Programa Produtor de Água

A metodologia para escolha do método de recarga artificial mais adequado para determinado local está relacionada ao conhecimento do mecanismo de recarga natural. Além de outros aspectos importantes como tipo de solo e rocha, índices pluviométricos, relevo, origem da água entre outros. Em relação aos tipos de aquíferos a serem recarregados, a forma de aplicação pode variar, sendo a recarga direta por infiltração no solo, mais adequada para aquíferos livres ou indireta por meio de poços, mais adequada para os confinados profundos. (ADASA, 2015)

Para Fetter (1994) a recarga artificial pode ser realizada através de caixas ou barragens de infiltração, sulcos paralelos às curvas de nível, poços, dentre outros.

Existem diversos métodos de recarga artificial, nos quais consistem essencialmente em permitir a infiltração da água através de uma extensa superfície de contato entre a água e o solo. Diamantino (2005) fala que normalmente são utilizados em aquíferos freáticos, que não possuem níveis de baixa permeabilidade à superfície do solo ou zona não saturada do aquífero.

No Programa Produtor de Água alguns métodos são utilizados para aumentar a infiltração, aumentando, portanto, a disponibilidade hídrica, e a diminuição das erosões. Exemplo, são as práticas conservacionistas, como o terraceamento e bacias de infiltração (barraginhas).

Com as terras desprovidas de cobertura vegetal mínima, a água proveniente das chuvas não consegue a infiltração com facilidade. Com isso, há um aumento do volume do escoamento superficial. Ele, na forma de enxurrada, provoca vários problemas, como: erosão do solo, danos às estradas, assoreamento de baixadas, rios. (EMATER, 2005)

A erosão hídrica está entre os mais relevantes processos da degradação das terras agrícolas na agricultura brasileira, fazendo com que as práticas adequadas para seu controle sejam indispensáveis, sendo um grande desafio para a sustentabilidade da produção no Brasil.

3.3.3.1 Terraceamento

O terraceamento é uma prática de combate à erosão, consiste na construção de terraços com o propósito de diminuir a velocidade de escoamento das águas das chuvas, sendo mais

eficaz quando associada a outras práticas edáficas, como por exemplo a cobertura do solo com palhada, calagem e adubação, e com práticas vegetativas, como o cultivo em nível. Pruski (2009) fala que essa prática em terras agrícolas é uma das mais difundidas entre os agricultores em relação ao controle de erosão hídrica.

O terraceamento consiste na construção de uma estrutura transversal ao sentido do maior declive do terreno. Apresentando uma estrutura composta de um dique e um canal e tem a finalidade de reter e infiltrar, como também escoar lentamente para áreas adjacentes as águas das chuvas. (MACHADO & WADT, 2017)

A função se resume na redução do comprimento da rampa em que a água teria disponível para adquirir energia cinética e ocasionar as erosões. Com a diminuição da velocidade do escoamento da água superficial tem-se a ampliação da infiltração.

Os terraços são distribuídos de acordo com as características da chuva (quantidade, duração, intensidade) associados a algumas características como rugosidade do terreno. O terraço é dividido em duas partes: canal coletor, que é a parte da retirada da massa de solo e o dique, construído com o volume de solo retirado no primeiro citado. (MACHADO & WADT, 2017)



Figura 3.4 – Terraceamento em Barra do Rio Azul, RS. Fonte: Emater/RS, 2016.

O uso da prática de terraceamento reduz as perdas de solo e água consideravelmente, entre 70 a 80%, sendo que a perda de água pode ser reduzida em 100%. A eficácia de um sistema como esse está associado com outras práticas de conservação.

Porém, Pruski (2009) salienta que uma área com terraços mal dimensionados pode apresentar maiores problemas de erosão que outra região que não teve nenhuma prática implementada. Uma dessas razões que influenciam neste tipo de ocorrência, é o uso do terraço como prática conservacionista isolada.

3.3.3.2 Barraginhas

Como já abordado sobre os problemas causados pela chuva, uma das soluções que podem ser adotadas é a implementação de bacias de infiltração ou popularmente conhecida como barraginhas. São reservatórios que retêm a enxurrada proveniente por muitas das vezes em propriedades rurais, em forma de bacia.

Tem sua função, resumidamente, na interceptação das enxurradas por meio da retenção da água em excesso. O acúmulo desta água em bacias, propicia além da retenção dos sedimentos por ela transportados, a sua infiltração. Portanto, a finalidade de sua implantação é, portanto, o aproveitamento racional das águas de chuva, minimizando suas perdas, e, ao mesmo tempo, possibilita uma segurança para os produtores rurais quanto a preservação de suas áreas cultiváveis. (EMATER, 2005)

Além da diminuição da erosão do solo, as barraginhas agem como uma bomba para reabastecer os aquíferos. A Emater (2005) enfatiza essa contribuição, além de abordar sobre o favorecimento a manutenção de nascentes e a revitalização de mananciais. Esse sistema proporciona a elevação do nível de água no interior do solo, podendo ser percebido pelo aumento da quantidade de água nas cisternas, umedecimento de baixadas e aparecimento de minadouros.

Um passo essencial para alocação da bacia de infiltração é a análise da situação da área, focando em características como relevo, cobertura vegetal e ao tipo de solo, qualquer fator pode prejudicar à implantação. As bacias são dimensionadas e locadas, em função do volume de água, volume no qual é estimado com os índices pluviométricos da região. Seu número, em quantidade, e quanto em tamanho pode variar de acordos com os diferentes aspectos, um desses aspectos é o tempo gasto para infiltração da água no solo. (EMATER, 2005)



Figura 3.5 - Barraginha localizada em Tocantins. Fonte: Alves, Fernando. 2017

3.4 GEOPROCESSAMENTO

O Geoprocessamento, hoje em dia, é uma poderosa ferramenta computacional, que tem como função o processamento de dados geograficamente referenciados e tem um papel útil na abordagem integrada para o gerenciamento dos recursos naturais. A Agenda 21, em seu Capítulo 10, salienta que:

“As crescentes necessidades humanas e a expansão das atividades econômicas estão exercendo uma pressão cada vez maior sobre os recursos terrestres, criando competição e conflitos e tendo como resultado um uso impróprio tanto da terra como dos recursos terrestres. Caso queiramos, no futuro, atender às necessidades humanas de maneira sustentável, é essencial resolver hoje esses conflitos e avançar para um uso mais eficaz e eficiente da terra e de seus recursos naturais. A abordagem integrada do planejamento e do gerenciamento físico e do uso da terra é uma maneira eminentemente prática de fazê-lo. Examinando todos os usos da terra de forma integrada é possível reduzir os conflitos ao mínimo, fazer as alternâncias mais eficientes e vincular o desenvolvimento social e econômico à proteção e melhoria do meio ambiente, contribuindo assim para atingir os objetivos do desenvolvimento sustentável. A essência dessa abordagem integrada se expressa na coordenação de planejamento setorial e atividades de gerenciamento relacionadas aos diversos aspectos do uso da terra e dos recursos terrestres”.

De acordo com Câmara e Davis (2001), Geoprocessamento é o conjunto de tecnologias voltadas à coleta e tratamento de informações espaciais com um intuito em específico de gerar um resultado. Todos os processos do Geoprocessamento são executados através de sistemas, chamados de Sistemas de Informações Geográficas – SIGs.

3.4.1 Sistema de Informações Geográficas – SIG

Casanova et al. (2005) define que o Sistemas de Informações Geográficas (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos. Além de enfatizar que a diferença entre SIG para um sistema convencional é a grande capacidade de armazenar tanto os atributos descritivos como as geometrias.

De acordo com Hamada (2007) existem diversas definições de SIG na literatura, que pode ser separado em três categorias: ferramenta, base de dados espacial e organização da informação espacial. Concluindo que o sistema está diretamente ligado à sua forma de utilização.

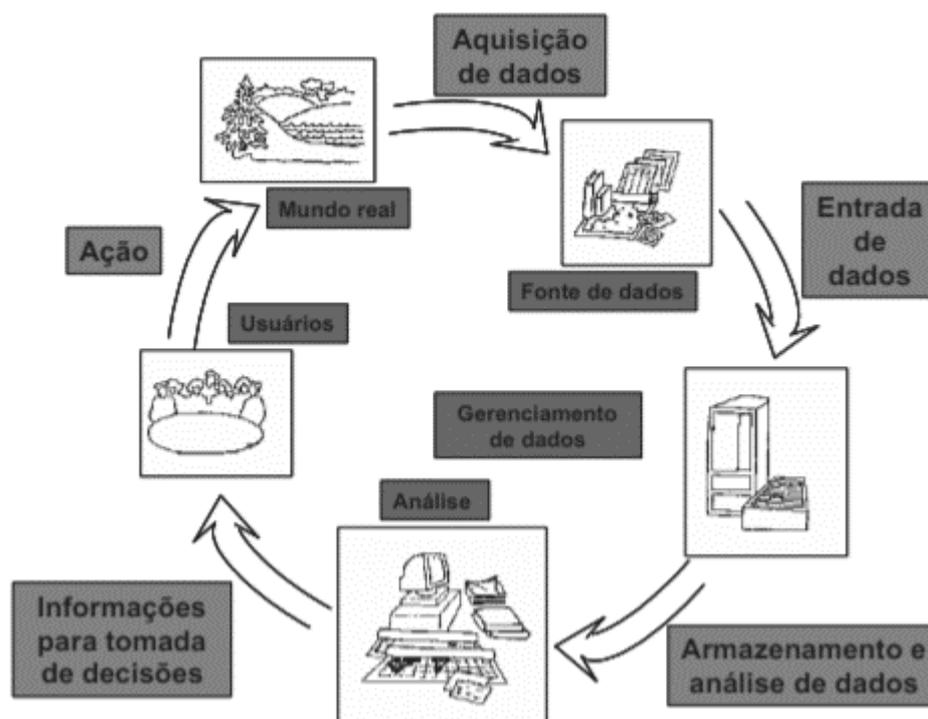


Figura 3.6 - Representação esquemática geral de utilização do SIG. (HAMADA, 2007)

A quantidade de opções que o SIG trouxe para o desenvolvimento e gerenciamento de estudos, principalmente no contexto ambiental, fez com que a sua utilização crescesse de forma exponencial. Seu uso, no presente momento, é tido como essencial para elaboração de projetos e estudos acadêmicos para se obter uma maior assertividade nos resultados pretendidos. Aronoff (1989) corrobora afirmando que o uso do SIG tem uma forma mais compacta dos dados, ao invés de apresentar as mesmas informações em mapas de papel, tem-se uma grande quantidade de dados que pode ser mantida e recuperada com facilidade, promovendo análises espaciais complexas rapidamente, como: cenários de planejamento, detecção e análise de mudança e outros tipos de planos.

3.4.2 Uso do SIG na Gestão e Planejamento Ambiental

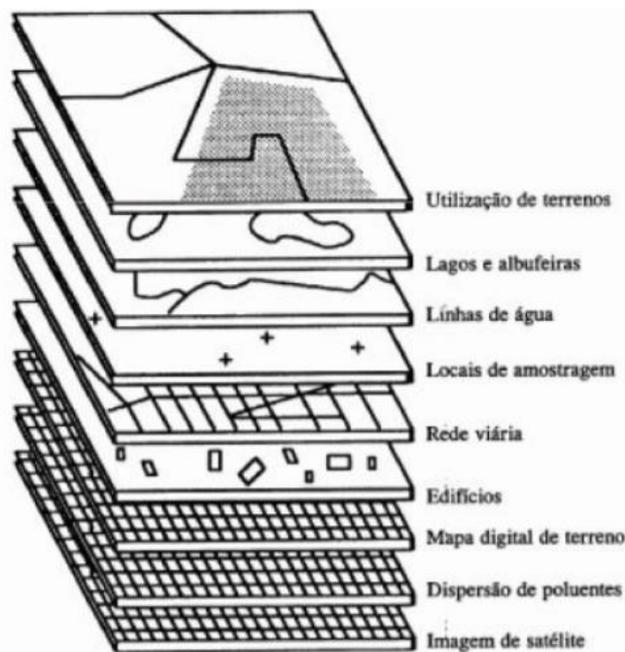


Figura 3.7 - Sobreposição de Informações no SIG. (PINTO, 2009)

O desenvolvimento urbano desenfreado tem provocado significativas alterações sobre o meio ambiente. Sempre que há um problema, há necessidade de encontrar soluções. Devido a esse fato, o planejamento ambiental tem adquirido destaque nos últimos anos. (ROCHA, 2003)

O uso, não só do Sistema de Informações Geográficas (SIG), como também da tecnologia como um todo, está cada vez mais presente nos planejamentos ambientais. O SIG é essencial para um excelente planejamento urbano e ambiental, servindo de complemento

para as ferramentas de geoprocessamento. É uma forma de melhorar a decisão e consequentemente a eficiência do projeto. No SIG, as informações podem ser obtidas das mais diversas áreas de conhecimento, geralmente os dados são armazenados de forma separada, atribuindo valores diferentes para representar o grau de importância. Com suas diversas ferramentas é possível agregar todos os dados e gerar uma única informação, que por muitas das vezes no planejamento ambiental é o estabelecimento de um mapa, produzido pela sobreposição de informações, possibilitando a ajuda na análise, no gerenciamento, planejamento e pode se traçar cenários futuros. De acordo com Burrough (1986) é um “poderoso elenco de ferramentas para colecionar, armazenar, recuperar, transformar e exibir dados espaciais referenciados ao mundo real”.

Com todos esses aspectos apresentados, Rocha (2003) ratifica sobre a importância do SIG para uma melhor análise espacial do meio em que se deseja ser estudado. Além disso fala do grande potencial da utilização pelos Comitês de Bacias Hidrográficas que, como órgãos coordenadores da gestão integrada destas bacias, devem manipular, coordenar e disponibilizar as informações, necessitando então de ferramentas computacionais.

Segundo Câmara et al. (2001) o Geoprocessamento possui cinco tipos de dados, são eles: Dados temáticos, dados cadastrais, dados de redes, dados de modelos numéricos de terreno (MNT) e dados de imagens. Cada um tem sua característica específica, abaixo estão os atributos de cada um respectivamente;

1. Elementos obtidos a partir de levantamento de campo e inseridos no sistema;
2. Dados que todos seus elementos são um objeto geográfico que possui atributos e pode estar associado a representações gráficas;
3. Cada objeto possui uma localização geográfica exata e está sempre associado a atributos descritivos exibido no banco de dados;
4. Um MNT é um modelo matemático que representa a superfície de um local, por meio de algoritmos e de um conjunto de pontos referenciais;
5. São imagens que representam formas indiretas de informação espacial, armazenadas como matrizes.

Porém a implementação de sistemas deste tipo deve-se também levar em consideração requerimentos específicos e necessidades reais dos planejadores. Todas essas especificações requerem pesquisa, além de averiguar a disponibilidade dos dados e o possível estabelecimento das bases faltantes. Todas essas informações são manipuladas por diferentes

usuários, com diferentes conceitos de aplicação, por isso o estabelecimento de uma metodologia apropriada é essencial. (ROCHA, 2003)

3.5 ANÁLISE ESPACIAL MULTICRITÉRIO DE SUPORTE A DECISÃO

Moreira (2001) cita sobre as diferentes técnicas de análise geográfica, falando a respeito da produção de novos mapas a partir de dados já existentes. Contemplando diversos métodos de inferência espacial para a integração dos dados.

A capacidade de comparar e avaliar diferentes itens para a geração de mapas que possam auxiliar na tomada de decisão, ainda é um grande desafio. A gestão integrada sempre busca novas ferramentas que ajudem na melhor decisão possível, por isso a utilização do SIG é importante, por dispor de um imenso leque de funções de Álgebra de Mapas. (Moreira et al., 2001)

O processo de manipulação de dados num sistema de informação geográfica é uma forma de produzir diversas hipóteses sobre o tema estudado. Aliado à análise multicritério, na qual pode ser compreendida como uma ferramenta matemática que permite comparar diferentes alternativas (ou cenários). Essa integração foi um avanço na metodologia de sobreposição de mapas para realização dos estudos.

Importante salientar que para uma boa tomada de decisão deve-se ter racionalidade no momento de escolha entre as alternativas, nas quais devem ser baseadas em critérios definidos, sempre tendo uma metodologia lógica e coesa.



Figura 3.8 - Processo de tomada de decisão.

Existem diversos métodos de análise espacial no contexto da produção de novos mapas a partir de dados já existentes, no qual pode-se destacar os seguintes métodos: booleano, fuzzy, combinação linear ponderada e AHP. Também pode-se apontar algumas diferenças entre os métodos, no booleano é gerado dados no formato temático sendo a potencialidade expressa espacialmente em forma de polígonos que representam classes (apta e inapta), já os demais métodos geram dados em formato numérico, sendo a potencialidade expressa de forma numérica. (Moreira *et al.*, 2001).

3.5.1 Método Booleano

Moreira *et al.* (2001) traz uma definição sucinta sobre o método booleano, caracterizando-o como uma combinação lógica de mapas binários através de operadores lógicos. Essa modelagem em SIG é análoga à sobreposição de mapas em formato analógico (overlay), que são tradicionalmente usados em estudo geológicos.

O resultado é expresso de forma binária 0 e 1, onde o número 0 representa uma área sem aptidão, que não satisfaz a condição, já o número 1, uma área que tem aptidão. Moreira *et al.* (2001) salienta que apesar de ser prático o modelo, não é sempre o mais adequado, pois o ideal é que o mapa apresente uma gradação de importâncias, recebam pesos diferentes, é dessa forma possam ser mais condizentes com a realidade.

Além disso, a álgebra booleana utiliza os ponderadores lógicos “E”, “OU”, EXCLUSIVO OU (XOR” e “NÃO” para determinar se uma hipótese satisfaz ou não uma condição particular.

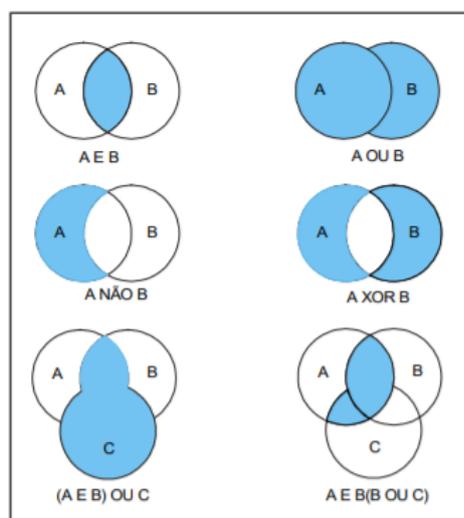


Figura 2.9 - Diagrama de Venn com resultados de aplicação dos operadores lógicos.

3.5.2 Método *Fuzzy*

O conjunto *Fuzzy* é uma metodologia de caracterização de classes, que por várias razões não tem ou não pode definir limites rígidos entre classes. Pode-se colocar que a modelagem *Fuzzy*, também conhecida como lógica nebulosa, tem como características predominantes a indefinição de fronteiras ou limiares entre as classes. (Burrough e McDonnel,1998) Essas classes definidas de maneira inexata são chamadas de conjunto *Fuzzy*. A utilização desse método é indicada quando está diante de situações que apresentam ambiguidade e abstrações. A figura 3.9 exemplifica a diferença de bordas entre os conjuntos booleano e conjuntos *fuzzy*.

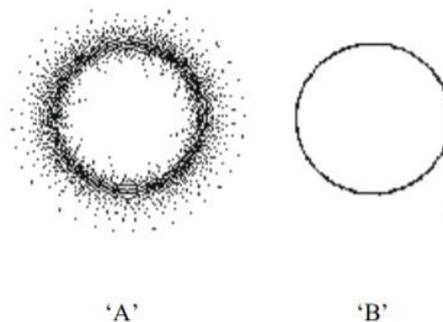


Figura 3.9.1 - Diagrama de Venn. (Diferença entre as bordas do método Fuzzy e Booleano)
Fonte: Burrough (1998)

3.5.3 Método da Média Ponderada

Moreira et.al (2001) cita no capítulo sobre técnicas de inferências geográficas que dentre os métodos de análise multicritério, a técnica mais utilizada em projetos que envolvam análise espacial. Neste método cada mapa (Layer) é utilizado como uma evidência que receberá um peso diferente dependendo da importância para com a hipótese sobre consideração. Assim, cada plano (Layer) receberá pesos diferentes, bem com as respectivas classes de cada plano, resultando em um mapa com áreas que expressam um grau de importância relativa através de valores numéricos.

O método de Média Ponderada permite uma maior flexibilidade na combinação de mapas do que o método Booleano. O mapa ponderado pode ser ajustado para refletir o julgamento de um especialista, segundo os pesos de importância definidos para cada critério.

A maior desvantagem deste método, entretanto, recai provavelmente no caráter linear de adição das evidências.

3.5.4 Técnica AHP – Processo Analítico Hierárquico

Thomas Saaty propôs uma técnica de escolha baseada na lógica da comparação pareada. Neste procedimento cada fator que tem influência na tomada de decisão é comparado par a par com outro fator. Um critério de importância é atribuído conforme uma escala pré-definida. A AHP é uma teoria com base matemática que permite a organização e avaliação da importância relativa entre critérios e medir a consistência dos julgamentos. (Moreira et al., 2001)

Saaty em 1997 propôs uma escala de comparação bastante eficaz entre os pares de critérios que contêm nove pontos. (A Tabela 3.1 apresentada abaixo)

Tabela 3.1 - Escala de comparadores (Saaty)

VALORES	IMPORTÂNCIA MÚTUA
1/9	Extremamente menos importante que
1/7	Muito fortemente menos importante que
1/5	Fortemente menos importante que
1/3	Moderadamente menos importante que
1	Igualmente importante a
3	Moderadamente mais importante que
5	Fortemente mais importante que
7	Muito fortemente mais importante que
9	Extremamente mais importante que

Com o estabelecimento de critérios de comparação para cada combinação de fatores, é possível gerar um conjunto ótimo de pesos que podem ser utilizados para a composição dos mapas (Moreira et al., 2001).

De acordo com Santos et al. (2010), a determinação dos valores, com base na escala de comparadores, é um dos processos mais importantes. Portanto, seguir um ou mais procedimentos dos descritos abaixo, é necessário.

- Após comparar um critério com o outro, tem-se a liberdade de definir a escala de importância com base em experiência e visitas de campo;
- O levantamento bibliográfico pode ser usado como embasamento para comprovar a relevância entre critérios;
- Uma equipe multidisciplinar, com experiência no assunto, pode definir a escala que mais aproxima da realidade.

A matriz é estabelecida em função da razão de consistência (RC) e dos pesos de compensação que melhor representam as ordens de importância dos critérios. A RC indica a probabilidade de os valores de comparação terem sido gerados aleatoriamente, sendo que sempre o valor calculado deve estar abaixo de 0,10. Entretanto, se apresentar valores acima de 0,10, a matriz deve ser reorganizada, alterando os valores de comparação entre os critérios. O cálculo da RC segue a Equação 3.1 (Santos et al., 2010)

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (\text{Equação 3.1})$$

Onde, IR é o índice randômico de consistência, que pode ser encontrado na Tabela 3.2; IC é o índice de consistência, calculado pela Equação 3.2

Tabela 3.2 - Valores de IR em função de matrizes de ordem n. (Santos et al., 2010)

n	2	3	4	5	6	7
IR	0,0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32

$$IC = \frac{(\lambda \max - n)}{(n-1)} \quad (\text{Equação 3.2})$$

Em que, n é o número de variáveis testadas, correspondendo ao número de colunas ou de linhas; e $\lambda \max$, o autovetor, calculado por:

$$\lambda \max = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[Aw]i}{wi} \quad (\text{Equação 3.3})$$

Sendo que, [Aw]i é a matriz resultante do produto da matriz recíproca pela matriz dos pesos calculados (wi); e wi é o peso de cada critério.

4. METODOLOGIA

O objeto de estudo visa o estabelecimento de uma análise para a identificação de áreas prioritárias nas quais tenham um maior potencial de recarga aquífera, proveniente das águas pluviais, que sirva de suporte e auxílio na implementação de algumas ações do Programa Produtor de Água (PPA). A metodologia foi baseada em uma série de referências bibliográficas para que se tivesse um resultado satisfatório, preliminarmente houve a seleção dos seguintes temas para realização do mapa de aptidão: Declividade, Hidrologia dos Solos, Escoamento de Base e Geologia. A Figura 9, apresenta as etapas que foram seguidas para obtenção do produto final.

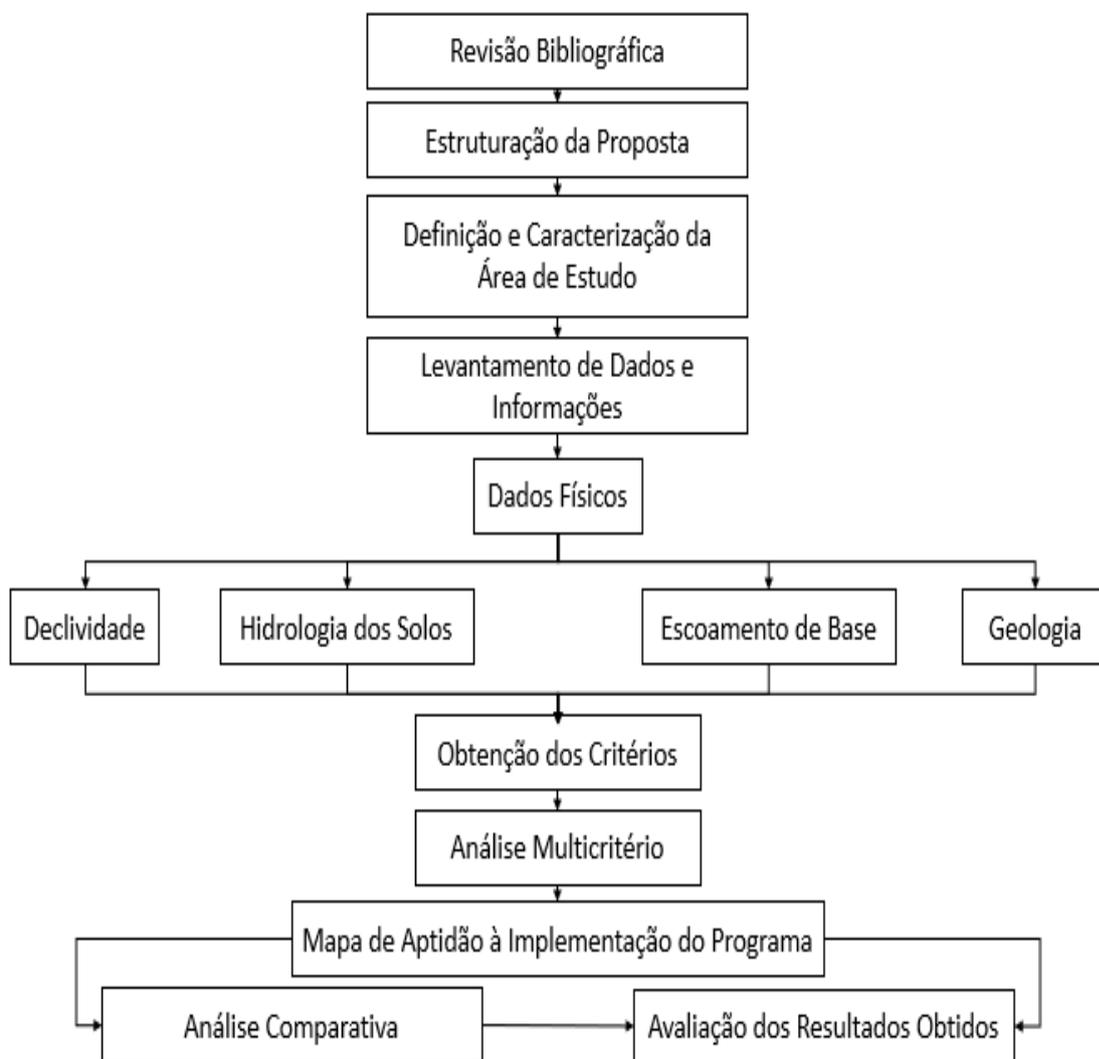


Figura 4.1 - Fluxograma de Etapas.

4.1. ÁREA DE ESTUDO

O Distrito Federal (DF), de acordo com projeção do IBGE (2021) tem uma população de 3.100.058 habitantes, possuindo uma área total de 5.760.783 Km². Vale salientar que o DF sofreu um processo de rápido crescimento urbano, sendo hoje a quarta cidade mais populosa do país (IBGE, CODEPLAN). Outro ponto a se destacar é que entre os anos de 2016 a 2018 o DF sofreu com os períodos de estiagem prolongados, acarretando alguns problemas nas regiões administrativas, como o racionamento d'água.

A capital federal é uma área que apresenta acelerado crescimento populacional, com isso, busca alternativas de suprir a demanda de água, exemplo dessa ação é a busca por novas fontes d'água no Estado de Goiás.

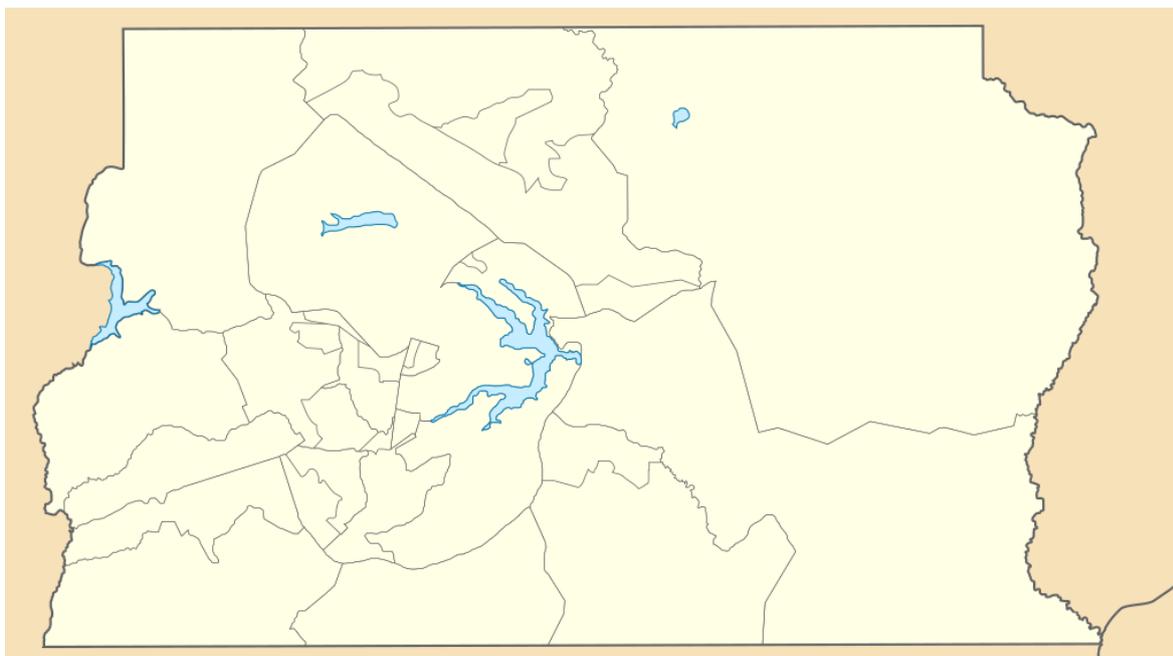


Figura 4.2 - Mapa do DF. Fonte: WikiCommons

4.1.1 Avaliação e Análise dos Estudos Hidrogeológicos Realizados no DF

De acordo com Campos (2004) a utilização de água subterrânea no Distrito Federal teve um crescimento na última década, advindo da urbanização, principalmente em consequência da criação dos condomínios. Atualmente, os novos aglomerados urbanos, como as Áreas de Regularização de Interesse Social – ARIS, denominação introduzida pelo PDOT, corroboram para esse aumento. Além disso, Campos (2004) apresenta propostas para

a gestão das águas subterrâneas do DF, além de retratar aspectos de geologia, hidrogeologia, geomorfologia, clima e solos da região. Ressalta sobre a importância da implementação de sistemas de recarga artificial, como forma de estabilização do rebaixamento regional do nível estático, tal rebaixando proveniente essencialmente pela impermeabilização do solo.

Santos e Koide (2016) realizaram um estudo da avaliação da recarga de águas subterrâneas em ambiente de cerrado, sendo a área de estudo a bacia do córrego Capão Comprido, localizada na porção oeste do Distrito Federal. Reconhecem acerca da importância das informações sobre recarga natural de águas subterrâneas como ferramenta chave para a gestão integrada dos recursos hídricos. Salientam também que as propriedades hidráulicas do meio poroso foram determinantes no estudo do processo. Porém, o uso e a ocupação da terra foram considerados um importante fator regulador da recarga na região.

4.2. LEVANTAMENTO DE DADOS FÍSICOS

Com base nas referências teóricas e estudos realizados no Distrito Federal, foram selecionados temas, dados geográficos, para compor o mapa de aptidão. A seleção dos layers (temas) foi baseada em pesquisas acadêmicas, além de discussões realizadas com especialistas das coordenações de águas subterrâneas e de implementação de programas da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Dessa forma, foram pré-definidos quatro temas: declividade, hidrologia dos solos, escoamento de base e geologia.

Após a seleção dos temas, foi realizada a classificação do mapa em função das suas respectivas faixas, sendo que cada tema apresenta um intervalo específico. Os intervalos dos layers foram reclassificados com pesos, que variaram de 3 a 0. Neste item, é válido explicar que os pesos mais próximos do valor 3 são melhores para o resultado pretendido pela metodologia, ou seja, apresentam melhores condições para a identificação de áreas prioritárias nas quais tenham um maior potencial de recarga aquífera. Já os pesos próximos a 0 são os que apresentaram piores condições.

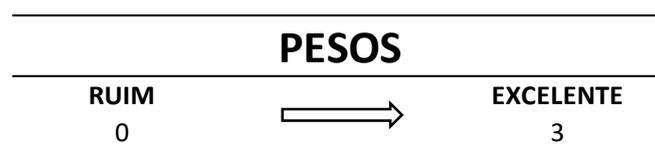


Figura 3.3 - Valores dos pesos referentes à reclassificação.

É importante explicar que o processo de decisão do PPA é feito por meio de editais focados em regiões rurais, além disso, as práticas conservacionistas são aplicadas em locais específicos das áreas rurais.

Outro fator significativo, que foi levado em consideração na estruturação do método, é a fácil execução e replicação do mesmo, pois o intuito é que seja uma ferramenta aplicável em todo o território nacional, visto que o programa já se encontra em diversas regiões do Brasil. Destaca-se também que a escolha dos dados seguiu algumas características essenciais, sendo elas: disponibilidade em grande parte do território nacional, fácil manuseio, temas consolidados e qualidade dos dados.

4.2.1 Declividade

A declividade se mostrou como um importante influenciador nas taxas de infiltração da água no solo, onde as maiores taxas de recarga, em geral, ocorrem em regiões planas, devido a água ter um maior tempo para penetrar o solo. Portanto, apresenta um tc (tempo de concentração) maior quando comparado com um relevo mais acentuado, o qual privilegia o escoamento superficial em detrimento da infiltração.

Como complemento, pode-se definir tempo de concentração (tc) como sendo o tempo em que leva para que toda a bacia hidrográfica considerada na análise contribua para o escoamento na seção observada, ou também, é o tempo para que a gota de água que cai no ponto mais distante do exutório chegue até ele.

O mapa utilizado na elaboração do estudo foi derivado dos rasters produzidos pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM, que teve como referência a classificação da declividade adotada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e Embrapa, na qual apresenta os seguintes valores percentuais: Plano (0 a 3%), suave ondulado (3 a 8%), ondulado (8 a 20%), forte ondulado (20 a 45%), montanhoso (45 a 75%) e escarpado (>75%).

Entretanto, a temática não considerou relevos acima a 45%, por ser um intervalo extremo, o qual não colabora para a infiltração, além de não ser possível aplicar as práticas conservacionistas em locais muito íngremes. Portanto, as faixas de análise para o método foram os mesmos estabelecidos na classificação do IBGE e Embrapa.

Outro ponto importante é que o mapa produzido pela CPRM, o qual fez parte do trabalho, se encontra na escala 1:1.000.000, sendo um quesito de extrema relevância, pois

sempre se busca uma melhor escala na elaboração de qualquer estudo, resultando na melhora do refinamento dos dados analisados, pois quando os temas/mapas são sobrepostos, a pior escala prevalece em relação às melhores.

Prosseguindo com a metodologia, após a classificação do mapa de declividade com os valores de referência, estabelecidos pelo IBGE, em plano (0 a 3%), suave ondulado (3 a 8%), ondulado (8 a 20%), forte ondulado (20 a 45%), montanhoso (45 a 75%) e escarpado (>75%), foi realizada a reclassificação com os respectivos pesos, variando entre 3 e 0, como explicado anteriormente. A metodologia seguiu a reclassificação que está ilustrada abaixo, na Tabela 4.1:

Tabela 4.1 – Faixas de Declividade com seus pesos relativos.

FAIXAS DE DECLIVIDADE	PESOS
> 45%	0
45% - 20%	1,3
20% - 8%	1,7
8% - 3%	2,1
3% - 0%	3

Vale ressaltar que atribuir o peso a uma determinada faixa de declividade deve-se ter a priori uma fundamentação teórica que sirva de base para essa quantificação. Devido a isso, foram usadas fórmulas de tempo de concentração (t_c), para mensurar a resposta de uma bacia em função da sua declividade, e, conseqüentemente, estimar a proporção de melhoria entre os intervalos.

Para seleção do método levou-se em consideração as fórmulas usadas em bacias rurais, pois o Programa Produtor de Água é implementado nessas áreas. Portanto, o método e a equação utilizados para calcular o tempo de concentração foram: Método de Culverts Practice (Equação 4.1) e a equação de Dooge (Equação 4.2)

$$t_c = 57. L^{1,155}, H^{-0,385} \quad \text{Equação 4.1}$$

Onde, L é o comprimento do Talvegue (km) e H é a diferença de cotas entre a saída da bacia e o ponto mais alto do talvegue (m).

$$t_c = 21,88. A^{0,41}. i^{-0,17} \quad \text{Equação 4.2}$$

Em que A é área da bacia em (km^2) e i é a declividade da bacia.

A fórmula de Califórnia Culverts Practice é geralmente aplicada em bacias rurais, com áreas maiores que 1 km^2 . Já a fórmula de Dooge foi determinada com dados de 10 bacias rurais com áreas na faixa de 140 a 930 km^2 , portanto, supõe-se que os parâmetros reflitam melhor o comportamento de bacias rurais médias.

A utilização dessas fórmulas visou abarcar as bacias rurais com tamanhos de áreas indistintas, nesse caso o método California Culverts Practice, e áreas médias, que geralmente são o foco do PPA, portanto, a equação de Dooge.

A partir da definição das equações foram calculados os tempos de concentração para cada faixa de declividade, usando como parâmetros os valores abaixo, tabela 4.3:

Tabela 4.2 – Parâmetros para cálculos do tempo de concentração.

Parâmetros	Culverts Practice Rural	Dooge - Rural
L (km)	2,5	-
H (m)	Variável em função da declividade	
i(%)		
A (km^2)	-	150

Importante destacar que o valor de declividade usado nos cálculos foi a mediana de cada intervalo. Para exemplificar, a primeira faixa que varia de 0 a 3%, o valor utilizado foi de 1,5%.

Dessa forma, após obter os resultados das duas fórmulas (Método de Culverts Practice e a equação de Dooge) foi feita a média dos valores para cada faixa, e este resultado atribuído para elas. E por fim, foi atribuído o valor de peso 3 à faixa que apresentou o maior tempo de concentração, caracterizando-a como sendo 100%, ou seja, a que apresenta a melhor condição para infiltração da água, com isso, as outras médias foram usadas para calcular os demais pesos referentes aos quatro intervalos faltantes.

4.2.2 Hidrologia dos Solos

O processo de infiltração é influenciado por diferentes tipos de aspectos, portanto, quando se analisa o percurso pelo qual a água passa até chegar aos lençóis freáticos, pode-se dizer que este caminho compreende várias camadas, sendo uma delas, os solos. Tais faixas

corroboram para que a água proveniente da chuva possa atingir os níveis mais profundos, e então, realizar a recarga efetiva do aquífero.

Como explanado, a primeira camada em que a água tem contato é o solo, por isso qualquer alteração pode ser um fator determinante na infiltração, como, por exemplo, se houver adensamento da superfície o processo de recarga será comprometido, com base nisso e nas referências e estudos já realizados neste âmbito, a pedologia se torna item primordial na elaboração do presente trabalho.

A classificação do tema, pedologia, teve como base o método do Soil Conservation Services (SCS), no qual permite estimar o escoamento superficial da bacia por intermédio de um sistema que distingue quatro grandes agrupamentos hidrológicos de solo, conforme a sua capacidade de gerar escoamento.

A presente metodologia fez uso do estudo de Sartori (2005), no qual trouxe aspectos para classificar os solos brasileiros, baseado no método SCS. Esse tipo de estudo específico para readequar os solos brasileiros em suas respectivas classificações ocorre, pois, a classificação hidrológica da metodologia SCS foi realizada para os solos dos Estados Unidos em 1952, portanto, os solos brasileiros apresentam peculiaridades em relação ao norte americano, por se tratar de solos tropicais.

Diante disso, foi utilizada a tese do Sartori para agrupar os solos do Distrito Federal em seus respectivos grupos hidrológicos. Os solos foram enquadrados em grupos hidrológicos, que são representados com as letras A, B, C e D, onde o grupo D apresenta as piores condições para infiltração de água no solo e o grupo A, as melhores condições.

Para o enquadramento foram usadas, além de outros aspectos, as seguintes características dos grupos hidrológicos:

Grupo Hidrológico A:

- Solos com alta taxa de infiltração;
- Solos de textura média;
- Solos de textura argilosa ou muito argilosa que a estrutura proporcione alta macroporosidade em todo o perfil;
- Solos com argila de atividade baixa (Tb);
- Textura dos horizontes superficial: média/media, argilosa/argilosa e muito argilosa/muito argilosa.

Grupo Hidrológico B:

- Solos com moderada taxa de infiltração;
- Solos de textura arenosa ao longo do perfil;
- Solos de textura argilosa ou muito argilosa;
- Solos com argila de atividade baixa (Tb);
- Textura dos horizontes superficial: arenosa/arenosa, arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa e argilosa/muito argilosa.

Grupo Hidrológico C:

- Solos com baixa taxa de infiltração;
- Solos com mudança textura abrupta;
- Solos com argila de atividade baixa (Tb);
- Textura dos horizontes superficial: arenosa/média e média/argilosa.

Grupo Hidrológico D:

- Solos com taxa de infiltração muito baixa;
- Solos com mudança textural abrupta;
- Solos argilosos associados à argila de atividade alta (Ta);
- Solos Orgânicos.

Com base nisso, as premissas para reclassificação dos solos do Distrito Federal seguiram as definições gerais de cada agrupamento hidrológico, além da classificação estabelecida por Sartori (2010), na qual se baseou em 18 critérios, tabela 4.4:

Tabela 4.3 - Critérios propostos para classificação hidrológica de solos tropicais brasileiro. Sartori (2010)

Lençol d'água	Camada restritiva forte	Camada restritiva moderada	Demais características diagnósticas	GHS	Critério	
> 100 cm	> 100 cm	> 100 cm	- textura arenosa em todo o perfil	A	1	
			- textura arenosa ou média (< 20% de argila) até a camada restritiva	A	2	
			- textura média, argilosa ou muito argilosa, T < 17 cmol _c /kg de argila, elevado teor de óxidos de ferro e/ou propriedades ácidas	A	3	
			50 e 100 cm	- textura arenosa ou média até a camada restritiva moderada e Tb (T < 27 cmol _c /kg de argila)	B	4
				- textura média, argilosa ou muito argilosa, T < 17 cmol _c /kg de argila, elevado teor de óxidos de ferro e/ou propriedades ácidas	B	5
				- textura arenosa ou média até a camada restritiva moderada e Ta (T ≥ 27 cmol _c /kg de argila)	C	6

Tabela 4.4 - Critérios propostos para classificação hidrológica de solos tropicais brasileiro. Sartori (2010) (Continuação)

≤ 50 cm	- textura arenosa/média, arenosa/argilosa, arenosa/muito argilosa, média/argilosa, média/muito argilosa ou argilosa/muito argilosa e Tb	C	7	
	- textura média, argilosa ou muito argilosa até a camada restritiva moderada e T < 17 cmol _c /kg de argila	C	8	
	- textura arenosa/média, arenosa/argilosa, arenosa/muito argilosa, média/argilosa, média/muito argilosa ou argilosa/muito argilosa e Ta	D	9	
ausente	- textura argilosa/argilosa ou argilosa/muito argilosa, Tb e razão textural menor do que 1,5	B	10	
	- textura média/média, média/argilosa ou argilosa/muito argilosa e Tb	B	11	
	- textura argilosa ou muito argilosa, T < 17 cmol _c /kg de argila, baixo a médio teor de óxidos de ferro e sem propriedades ácricas	B	12	
	- horizonte B incipiente e caráter latossólico	B	13	
	- textura média/média, média/argilosa ou argilosa/muito argilosa e Ta	C	14	
	- textura média/argilosa, argilosa/argilosa ou argilosa/muito argilosa e horizonte vértico	D	15	
50 e 100 cm	---	- textura arenosa; textura média, argilosa ou muito argilosa e Tb; textura média (< 20 % de argila) e Ta	C	16
	---	- textura média (≥ 20% de argila), argilosa ou muito argilosa e Ta	D	17
≤ 50 cm	---	---	D	18
≤ 100 cm	---	---	D	19

Para realizar a classificação dos solos, os dados, da pedologia, foram retirados do mapa vetorizado da ANA (2017), que teve como base o da Embrapa (1:100.000) e do IBGE (1:250.000), com escala final de 1:250.000.

Como apresentado acima, as faixas do tema de hidrologia dos solos, Tabela 4.5, são:

Tabela 4.4 - Faixas de Análise (Hidrologia dos Solos).

FAIXAS DE HIDROLOGIA DOS SOLOS
Grupo Hidrológico A
Grupo Hidrológico B
Grupo Hidrológico C
Grupo Hidrológico D

Após a classificação dos solos do DF nos respectivos agrupamentos, houve a reclassificação em função dos pesos, que variou de 3 a 0,1. Com os seguintes pesos: Grupo A, 3, Grupo B, 1,5, Grupo C, 0,5 e Grupo D, 0,1. Essa definição teve como base as taxas mínimas de infiltração dos solos.

4.2.3 Geologia

De acordo com o Código Brasileiro de Nomenclatura Estratigráfica, a classe das unidades geológicas compreende as seguintes categorias de unidades formais: Supergrupo,

Grupo, Subgrupo, Formação, Membro, Camada, Complexo, Suíte e Corpo, sendo que cada definição dessa representa uma característica em específico.

Pois bem, seguindo um processo de hierarquização, a geologia é a segunda camada a receber a água após infiltração, portanto, se apresenta como um ator importante no processo de recepção, filtragem e armazenamento de água.

Diante disso, a geologia foi utilizada como um dos layers para produção da metodologia proposta por esse trabalho, sendo sua fonte oriunda das cartas geológicas de Brasília, Goiânia, Goiás e Belo Horizonte em escalas 1:1.000.000.

Entretanto, cabe ressaltar que foi feita uma análise preliminar dos aquíferos aflorantes do Distrito Federal como opção para a produção dessa metodologia, porém o tema geologia se mostrou mais adequado.

Após a produção do mapa geológico do Distrito Federal foram identificados os grupos, formações, unidades e litotipos da geologia presente na região, todos esses fatores auxiliaram para quantificar e classificá-los de acordo com sua contribuição para a recarga aquífera.

O processo de definição dos pesos para cada item foi baseado na literatura do livro de Hidrogeologia do Estado de Goiás (2006), no qual foi utilizado os valores de condutividade hidráulica (K) e porosidade efetiva (ne). Além disso, a análise dos valores citados foi realizada tanto para a unidade geológica quanto para as litologias.

4.2.4 Escoamento de Base

A temática, escoamento de base, visa mostrar a integração do aquífero com o rio, dado que a metodologia propende maximizar a disponibilidade hídrica dos rios em períodos de estiagem.

Existem rios que possuem uma quantidade significativa de seu volume proveniente do escoamento de base, por isso a proposta focou em locais que apresentaram os melhores valores de escoamento de base.

Com base nisso, foram avaliadas todas as estações fluviométricas do Distrito Federal e, posteriormente, selecionadas algumas, que tinham mais de 5 anos de dados disponíveis, para realizar as suas respectivas curvas de permanência e calcular o valor da Q90/Q50.

Após a identificação, foi realizada a delimitação das bacias hidrográficas para se quantificar as áreas de contribuição e aferir a sua composição geológica. O intuito dessa avaliação foi identificar bacias que continham mais de 70% de um único tipo geológico, a fim de estabelecer um valor de fluxo basal para aquela unidade, essas estações fluviométricas são chamadas de estações características.

Então, a partir da obtenção das estações características foram atribuídos seus valores de escoamento de base para as unidades geológicas presentes em sua extensão territorial, de forma com que o melhor valor de fluxo basal fosse definido com o peso 3, e os demais foram definidos tendo como base o valor máximo, de forma proporcional.

4.3 MÉTODO AHP

O Método AHP foi utilizado para ponderação dos pesos entre os temas selecionados, de forma que se quantificasse a influência no processo de recarga aquífera entre os temas, ou seja, identificar o tema que melhor representa o objetivo final da presente metodologia.

Primeiramente, foi estabelecido a matriz de comparação pareada, que teve como base de escolha os levantamentos bibliográficos do trabalho e a opinião dos especialistas de recursos hídricos da ANA.

Com os valores da matriz se prosseguiu para a normalização dela e, conseqüentemente, a identificação dos pesos de cada tema. Ressalta-se que foi calculado a Razão de Consistência (RC) para identificar se a matriz de comparação pareada está válida para uso e o seu modo de decisão foi adequado.

4.4 MAPA DE APTIDÃO PARA IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA PRODUTOR DE ÁGUA

O mapa final gerado com a aplicação da proposta metodológica deverá servir como um instrumento de auxílio técnico para a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico na identificação de áreas para implementação do Programa Produtor de Água (PPA), objetivando eleger regiões que contribuam, efetivamente, para recarga dos aquíferos.

Entretanto, o mapa de aptidão quanto à contribuição efetiva de recarga aquífera tem o intuito de auxiliar, não apenas a tomada de decisão para a implementação do Programa Produtor de Águas, mas também contribuir com a avaliação para a aplicação de outras políticas, tais como definição de áreas de proteção ambiental, entre outras.

Cabe ressaltar que a sua produção e escolha dos temas foram baseadas na literatura, conhecimentos prévios e adquiridos, além do suporte de especialistas de recursos hídricos.

Diante disso, o procedimento para confecção do mapa de aptidão começou com a seleção dos temas, já citados anteriormente, dos quais foram avaliados quanto a sua capacidade de representar a recarga aquífera da região. Portanto, ao final foram selecionados os temas de Pedologia, Escoamento de Base, Geologia e Declividade.

Posteriormente, foram definidos os pesos dentro de cada tema escolhido, e, conseqüentemente, foi gerando um raster referente a esse layer. Como já citado anteriormente os pesos foram normalizados, variando de 3 a 0, sendo que o valor máximo representa a condição ótima do mapa de aptidão.

A fim de exibir as áreas prioritárias para recarga aquífera, foi utilizada a análise multicritério, por meio da técnica AHP. Essa etapa foi realizada para estabelecer o peso entre os temas, ou seja, definir quais temas apresentam maior importância em função do objetivo do trabalho.

Em suma, a técnica AHP serviu como ferramenta para estipular o verdadeiro grau de significância entre eles. E após atribuídas as respectivas importâncias, foi calculada a razão de consistência (RC), Equação 3.1, para verificar se a matriz comparação foi estruturada corretamente e se os julgamentos foram consistentes em cada comparação.

Os mapas temáticos produzidos com auxílio do software ArcGis, por se encontrarem em formas de polígonos tiveram que ser transformados para o formato raster, possibilitando dessa forma a adição dos temas.

Por conseguinte, a ferramenta, *Raster Calculator*, presente no *Spatial Analyst Tools*, fez o somatório dos temas selecionados, resultando no mapa de aptidão para implementação do Programa Produtor de Água, com a seguinte reclassificação, tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Faixas de Classificação do Mapa Final.

FAIXAS
Excelente
Bom
Média
Ruim
Péssimo

Com o mapa final foi feita a análise da extensão do Distrito Federal que se encontra na faixa excelente, além de quantificar as demais. Para que dessa forma seja possível encontrar áreas que merecem maior atenção dos órgãos, por apresentarem grande importância na recarga dos aquíferos.

4.5 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O MAPA DE ÁREAS PROPÍCIAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA COM A BACIA DO PIPIRIPAU-DF

Por fim, foi realizada a busca de todos os PPAs presentes no Distrito Federal, cabe destacar que existem apenas dois desses programas em andamento atualmente que se encontra na Bacia do Pípiripau-DF e no Descoberto. Para a análise comparativa foi selecionada uma das bacias, a do Pípiripau-DF.

Essa bacia ocupa uma área total de 23.527 hectares, localizada na porção Nordeste do Distrito Federal na divisa com o município de Formosa/GO. A maior parte da área bacia localiza-se no Distrito Federal (90,3%), sendo que a região que abriga a nascente do curso principal localiza-se em Goiás.

Após a definição e caracterização da Bacia foi realizada a delimitação dela no mapa de aptidão final produzido pela presente metodologia.

Dessa forma foi feita uma análise da bacia, que compreendeu os seguintes aspectos:

- Contextualização histórica do Programa Produtor de Água na bacia;
- Quantificação das áreas em função da classificação final da metodologia, tabela 4.5;
- Conclusão acerca da sua aptidão ao Programa Produtor de Água, baseada na metodologia do trabalho

Essa avaliação é importante para se avaliar se os projetos atuais seguem a proposta deste trabalho.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo encontram-se a apresentação dos resultados obtidos relacionados à aplicação do procedimento metodológico desenvolvido, tal como suas respectivas discussões. Primeiramente, serão apresentados os resultados parciais de cada procedimento, o resultado relacionado ao mapeamento temático. Na sequência, serão apresentados os resultados da ponderação das características de cada critério, os mapas intermediários finais.

5.1. DECLIVIDADE

O primeiro resultado foi o mapa gerado pela composição no formato raster (folhas SD-22, SD-23, SE-22 e SE-23) criados pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM para a extensão do Distrito Federal que está apresentado na figura 5.1.

Com o mapa final pode-se inferir algumas informações, como, por exemplo, a declividade predominante no Distrito Federal se encontra no intervalo de 3 a 8%, denominado suave ondulado.

A tabela abaixo mostra a distribuição de todas as faixas de declividades na capital federal, tabela 5.1:

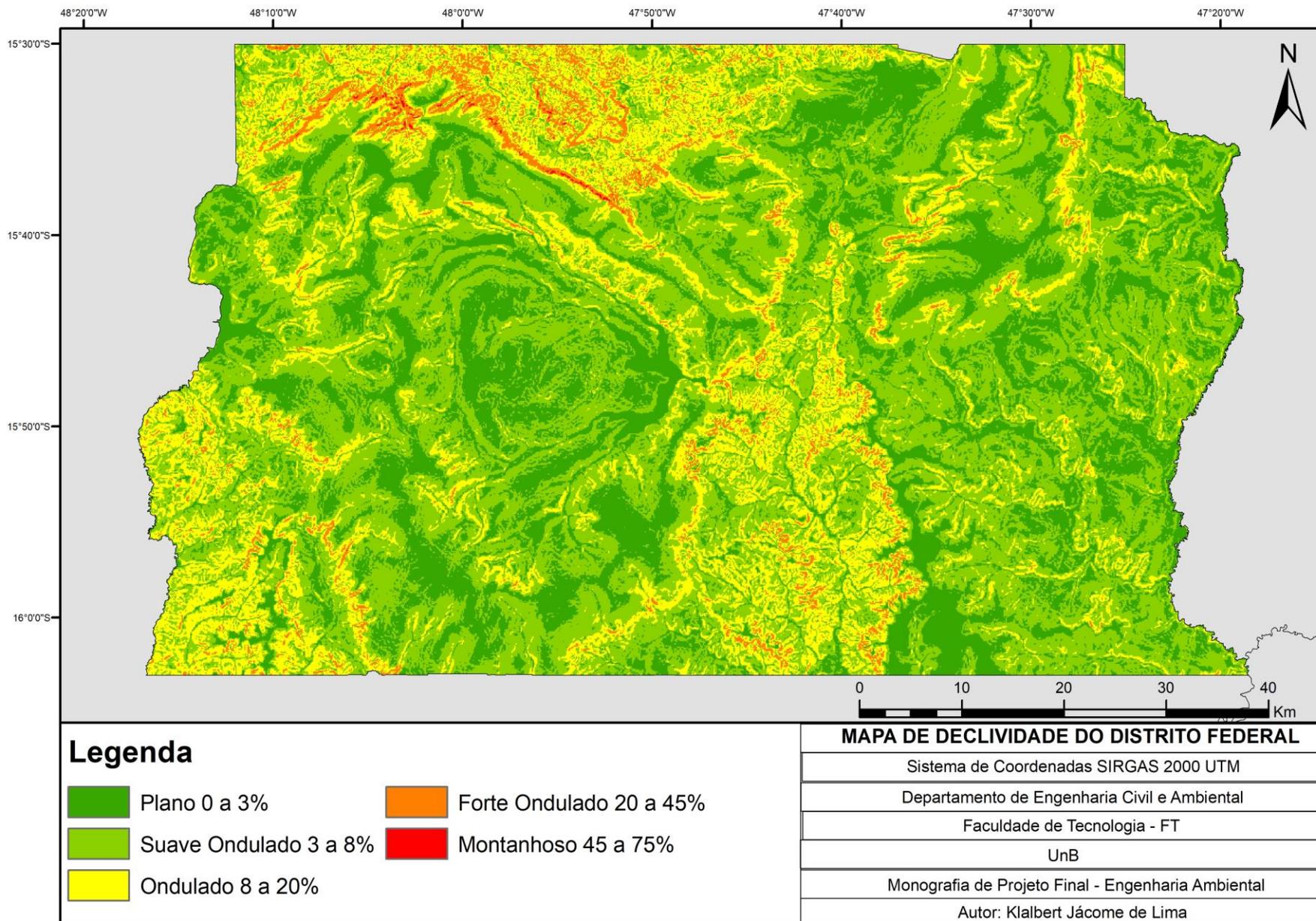
Tabela 5.1 – Áreas das Faixas de Declividade.

FAIXAS DE DECLIVIDADE	ÁREA (Km ²)	(%)
> 45%	3,3	0,06%
45% - 20%	184,9	3,19%
20% - 8%	1189,7	20,54%
8% - 3%	2886,2	49,83%
3% - 0%	1528,2	26,38%

Inferre-se, portanto, que a porção territorial, na qual a metodologia não considerou como sendo apta para a implementação do Programa Produtor de Água, corresponde a cerca de 3,3 km², ou, 0,06% da área total do Distrito Federal.

Outro ponto importante a ser destacado é que grande parte dessas áreas com valores superiores a 45% de declividade se encontram na porção norte do Distrito Federal, incluindo as regiões administrativas de Sobradinho II e Fercal. Dessa forma, em termos quantitativos, essa área representa uma extensão irrisória quando comparado com o total de 5793 km².

Figura 4.1 – Mapa de Declividade do Distrito Federal.



Posteriormente, deu-se a quantificação dos pesos entre os intervalos, tendo como base as fórmulas empíricas do tempo de concentração (tc). Usando os parâmetros estabelecidos, obteve-se os respectivos tempos para todas as faixas, tabela 5.2:

Tabela 5.2 – Resultado dos Tempos de Concentração.

Declividade	Tempo de Concentração (min)	
	Culverts Practice Rural	Dooge - Rural
>45%	-	-
45% - 20%	12,5	206,6
20% - 8%	17,2	238,5
8% - 3%	24,7	279,5
3% - 0%	40,7	348,6

Observa-se que os resultados se distinguem bastante de uma fórmula para a outra, devido ao fato de as fórmulas terem sido criadas para diferentes situações, porém ambas são usadas para bacias rurais.

Dessa forma, pode-se observar a resposta dos tempos de concentração em função da declividade, onde, na melhor situação possível, de relevos entre 0 e 3% de declividade, os valores foram de 40,7 minutos e 348,6 minutos, já na pior situação, relevos entre 45 e 20%, os valores foram de 12,5 minutos e 206,6 minutos, apresentando uma variação de 69% e 59%, respectivamente.

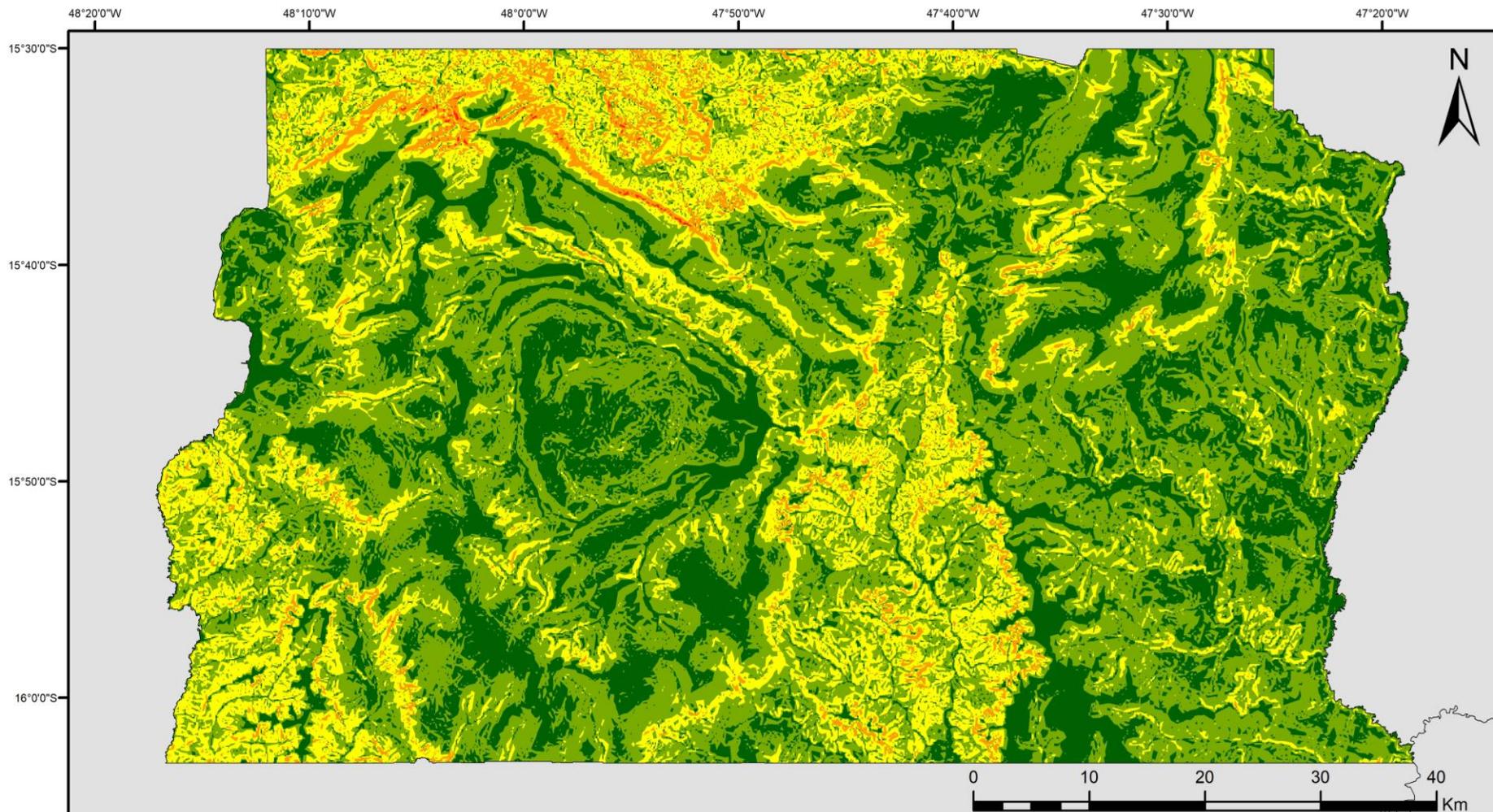
Portanto, os valores da faixa (0-3%) de declividade foram considerados como sendo os “valores ótimos” da bacia, pois apresentam a melhor condição, devido ao seu tempo de concentração elevado, e, conseqüentemente, maior duração para retenção e infiltração da água. Em função disso, foi estipulado o valor de 100% para esse intervalo, com isso, obteve-se as demais porcentagens das outras faixas, e, posteriormente, foi realizada uma média entre os métodos, chegando aos pesos finais, da forma que está apresentado abaixo, tabela 5.3:

Tabela 5.3 – Pesos relativos aos respectivos intervalos.

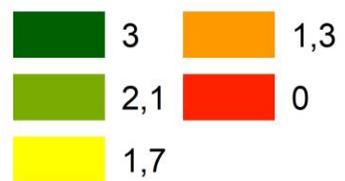
Declividade	Culverts Practice Rural	Dooge - Rural	Média(%)	Peso
	(%)	(%)		
>45%	-	-	0%	0
45% - 20%	31%	59%	45%	1,3
20% - 8%	42%	68%	55%	1,7
8% - 3%	61%	80%	70%	2,1
3% - 0%	100%	100%	100%	3

O mapa de declividade com sua reclassificação feita de acordo com os respectivos pesos está apresentado na figura 5.2.

Figura 5.2 – Mapa de Declividade do Distrito Federal com seus Pesos Relativos.



Legenda



RECLASSIFICAÇÃO (MAPA DE DECLIVIDADE DF)

Sistema de Coordenadas SIRGAS 2000 UTM

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental

Faculdade de Tecnologia - FT

UnB

Monografia de Projeto Final - Engenharia Ambiental

Autor: Klalbert Jácome de Lima

5.2. HIDROLOGIA DOS SOLOS

O primeiro resultado foi a elaboração do mapa de solos do Distrito Federal derivado do mapa vetorizado pela ANA, no qual teve os da IMBRAPA (1:100.000), SIEG (1:100.000), IBGE (1:250.000) como bases. O produto pode ser visualizado na figura 5.3.

Os solos do DF, extraídos da tabela de atributos, apresentam-se em 4 níveis categóricos: 1º nível categórico (ordens), 2º nível categórico (subordens), 3º nível categórico (grandes grupos) e 4º nível categórico (subgrupos).

De acordo com a Embrapa, o nível categórico de um sistema de classificação de solos é um conjunto de classes definidas segundo atributos diagnósticos em um mesmo nível de generalização ou abstração. Em resumo, o primeiro nível atua como o grupo mais abrangente dos solos, classificando-os em suas características primárias, o segundo nível é baseado em função da atuação de outros processos de formação de solo ou envolvem aqueles resultantes da gênese do solo, extremamente importantes para o desenvolvimento das plantas e/ou para usos não agrícolas e que têm grande número de propriedades acessórias.

Já o terceiro nível é separado por uma ou mais das seguintes características: Tipo e arranjo dos horizontes; Atividade da fração argila, condição de saturação do complexo sortivo por bases, por alumínio ou por sódio e/ou presença de sais solúveis; Presença de horizontes ou propriedades que restringem o desenvolvimento das raízes e afetam o livre movimento da água no solo. E, por fim, o quarto nível são separados conforme conceitos adaptados dos Estados Unidos, 1999.

Observa-se que quando são analisados os dois principais aspectos (Ordem e Subordem), o DF apresenta 13 tipos de solos distintos, como exemplificado na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Ordem e Subordem dos Solos do DF.

Ordem	SubOrdem
ARGISSOLO	VERMELHO-AMARELO
CAMBISSOLO	
CAMBISSOLO	HÁPLICO
CHERNOSSOLO	ARGILÚVICO
ESPODOSSOLO	CÁRBICO
GLEISSOLO	MELÂNICO
LATOSSOLO	VERMELHO
LATOSSOLO	VERMELHO-AMARELO
NEOSSOLO	QUARTZARÊNICO
NITOSSOLO	VERMELHO
PLINTOSSOLO	HÁPLICO
PLINTOSSOLO	PÉTRICO
SOLO HIDROMÓRFICO	

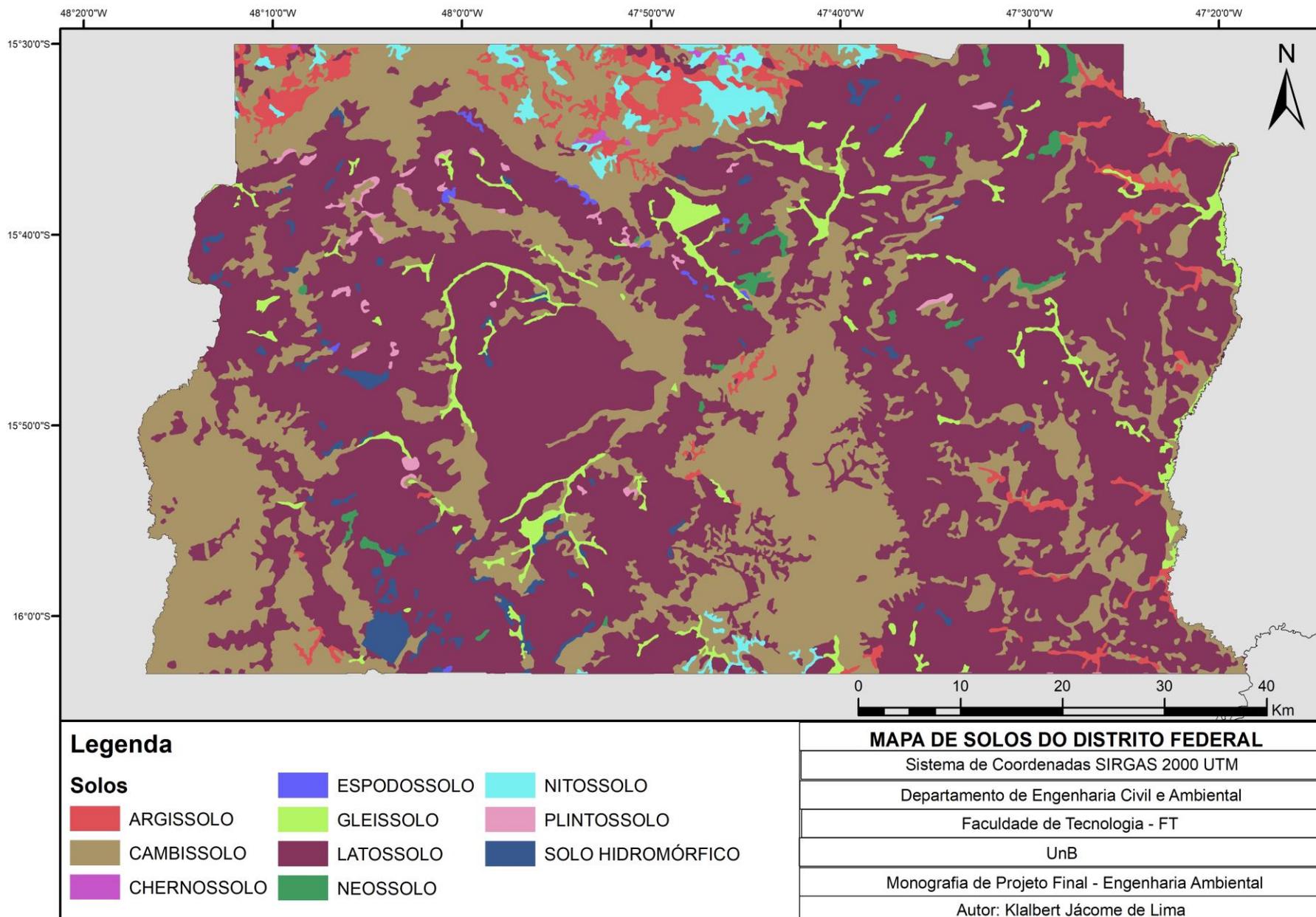
Entretanto, quando se considera outros aspectos do solo, de forma a deixá-lo mais detalhado, é possível separá-los em 31 categorias distintas, Tabela 5.5.

Tabela 5.5 - Solos do Distrito Federal, classificados até a quarta ordem.

Ordem	SubOrdem	nc_grangr	nc_subgr	Textura
ARGISSOLO	VERMELHO-AMARELO			Argilosa, cascalhenta
ARGISSOLO	VERMELHO-AMARELO			med. /arg.
ARGISSOLO	VERMELHO-AMARELO	Distrófico		Argilosa cascalhenta/argilosa
ARGISSOLO	VERMELHO-AMARELO	Distrófico		media cascalhenta
ARGISSOLO	VERMELHO-AMARELO	Eutrófico		Argilosa
ARGISSOLO	VERMELHO-AMARELO	Eutrófico	típico	média/argilosa
CAMBISSOLO				argilosa
CAMBISSOLO				média e argilosa
CAMBISSOLO	HÁPLICO	Tb Distrófico		Argilosa cascalhenta
CAMBISSOLO	HÁPLICO	Tb Distrófico		Media cascalhenta
CAMBISSOLO	HÁPLICO	Tb Distrófico	petroplíntico	média cascalhenta
CAMBISSOLO	HÁPLICO	Tb Distrófico	típico	argilosa cascalhenta e média cascalhenta
CAMBISSOLO	HÁPLICO	Tb Distrófico	típico	indiscriminada cascalhenta
CAMBISSOLO	HÁPLICO	Tb Distrófico	típico	média cascalhenta
CAMBISSOLO	HÁPLICO	Tb Distrófico	típico e léptico	média cascalhenta
CHERNOSSOLO	ARGILÚVICO			Argilosa
ESPODOSSOLO	CÁRBICO	Hidromórfico		Arenosa
GLEISSOLO	MELÂNICO			
LATOSSOLO	VERMELHO			argilosa e muito argilosa
LATOSSOLO	VERMELHO	Distrófico		Argilosa
LATOSSOLO	VERMELHO	Distrófico		Media
LATOSSOLO	VERMELHO-AMARELO	Distrófico		Argilosa
LATOSSOLO	VERMELHO-AMARELO	Distrófico		Argilosa muito cascalhenta
LATOSSOLO	VERMELHO-AMARELO	Distrófico		Media
LATOSSOLO	VERMELHO-AMARELO	Distrófico	típico	argilosa
LATOSSOLO	VERMELHO-AMARELO	Distrófico	típico	argilosa e média
NEOSSOLO	QUARTZARÊNICO	Órtico		
NITOSSOLO	VERMELHO	Eutrófico		VERMELHO
PLINTOSSOLO	HÁPLICO	Distrófico		Indiscriminada
PLINTOSSOLO	PÉTRICO			arg casc ou marg casc
SOLO HIDROMÓRFICO		Indiscriminado		

Importante destacar que o detalhamento do solo contribui para uma melhor classificação quanto ao seu grupo hidrológico. Além disso, o tipo de textura que o solo apresenta é um fator determinante em sua categorização.

Figura 5.3 – Mapa Pedológico do Distrito Federal.



Com base no mapa gerado foi quantificado a extensão de cada tipo de solo presente no Distrito Federal. Nesse sentido, destacam-se os dois solos predominantes no DF, os Latossolos, que ocupam cerca de 54,5% da área total e os Cambissolos que correspondem a 30,98%.

Segundo a Embrapa (2004), os Latossolos são solos altamente intemperizados, minerais, profundos e apresentam baixo teor de silte e têm presença de argila em sua composição, corroborando para sua alta permeabilidade. Já os Cambissolos apresentam horizonte subsuperficial submetido a pouca alteração física e química, e são solos que devem ser destinados à preservação permanente, pois se encontram em relevos mais íngremes ou são mais rasos.

A quantificação da área dos solos em seu primeiro nível categórico está apresentada abaixo, tabela 5.6:

Tabela 5.6 – Porcentagem Relativa aos Solos do DF.

SOLOS	ÁREA (%)
Latossolos	54,50
Neossolos	0,69
Plintossolos	0,40
Chernossolos	0,08
Argissolos	2,89
Nitossolos	1,36
Cambissolos	30,98
Solos Hidromórficos	3,98

Após a identificação dos solos na extensão territorial do Distrito Federal, foi realizada a classificação quanto ao seu grupo hidrológico, que se divide em A, B, C e D. Em função disso, os solos seguiram a seguinte classificação:

Tabela 5.7 – Classificação dos Solos quanto ao Grupo Hidrológico e Peso.

Ordem	SubOrdem	nc_grangr	Textura	GRUPO	PESO
ARGISSOLO	VERMELHO-AMARELO		Argilosa, cascalhenta	C	0,50
ARGISSOLO	VERMELHO-AMARELO		med. /arg.	C	0,50
ARGISSOLO	VERMELHO-AMARELO	Distrófico	Argilosa cascalhenta/argilosa	C	0,50
ARGISSOLO	VERMELHO-AMARELO	Distrófico	media cascalhenta	B	1,50
ARGISSOLO	VERMELHO-AMARELO	Eutrófico	Argilosa	C	0,50
ARGISSOLO	VERMELHO-AMARELO	Eutrófico	média/argilosa	C	0,50
CAMBISSOLO			argilosa	D	0,10
CAMBISSOLO			média e argilosa	D	0,10
CAMBISSOLO	HÁPLICO	Tb Distrófico	Argilosa cascalhenta	C	0,50
CAMBISSOLO	HÁPLICO	Tb Distrófico	Media cascalhenta	C	0,50
CAMBISSOLO	HÁPLICO	Tb Distrófico	média cascalhenta	C	0,50
CAMBISSOLO	HÁPLICO	Tb Distrófico	argilosa cascalhenta e média cascalhenta	C	0,50
CAMBISSOLO	HÁPLICO	Tb Distrófico	indiscriminada cascalhenta	C	0,50
CAMBISSOLO	HÁPLICO	Tb Distrófico	média cascalhenta	C	0,50
CAMBISSOLO	HÁPLICO	Tb Distrófico	média cascalhenta	C	0,50
CHERNOSSOLO	ARGILÚVICO		Argilosa	C	0,50
ESPODOSSOLO	CÁRBICO	Hidromórfico	Arenosa	C	0,50
GLEISSOLO	MELÂNICO			D	0,10
LATOSSOLO	VERMELHO		argilosa e muito argilosa	B	1,50
LATOSSOLO	VERMELHO	Distrófico	Argilosa	A	3,00
LATOSSOLO	VERMELHO	Distrófico	Media	A	3,00
LATOSSOLO	VERMELHO-AMARELO	Distrófico	Argilosa	A	3,00
LATOSSOLO	VERMELHO-AMARELO	Distrófico	Argilosa muito cascalhenta	A	3,00
LATOSSOLO	VERMELHO-AMARELO	Distrófico	Media	A	3,00
LATOSSOLO	VERMELHO-AMARELO	Distrófico	argilosa	A	3,00
LATOSSOLO	VERMELHO-AMARELO	Distrófico	argilosa e média	A	3,00
NEOSSOLO	QUARTZARÊNICO	Órtico		B	1,50
NITOSSOLO	VERMELHO	Eutrófico	VERMELHO	B	1,50
PLINTOSSOLO	HÁPLICO	Distrófico	Indiscriminada	D	0,10
PLINTOSSOLO	PÉTRICO		arg casc ou marg casc	D	0,10
SOLO HIDROMÓRFICO		Indiscriminado		D	0,10

A classificação dos solos como já citado anteriormente foi baseada na tese de Sartori (2010), e é possível verificar que os solos do Distrito Federal têm predominância dos grupos hidrológicos A e C, devido ao fato de que há presença dos latossolos e cambissolos em grande parte do território.

Acerca dos solos do DF, os argissolos foram classificados no grupo C, sendo que apenas uma de suas variações foi classificada no grupo B, pois apresenta a textura “média cascalhenta”. E isso vai de encontro com as características da classe trazida pela Embrapa

(2004), que explica que é um tipo de solo bastante heterogêneo, no qual apresenta um aumento substancial no teor de argila em função da profundidade.

Já os Cambissolos, presente em mais de 30% do território da capital federal, foram classificados em sua maioria como grupo C, tendo duas ocorrências no grupo B. De acordo com Sartori (2010), a ordem dos cambissolos apresenta uma grande variabilidade de atributos o que dificulta uma generalização mais precisa, porém na maioria das suas classificações se enquadram no agrupamento hidrológico C, corroborando para o fato de geralmente se encontrarem em áreas destinadas à preservação permanente, pois se encontram em relevos íngremes.

Os chernossolos e espondossolos possuem textura média com teor de argila superior a 30%, apesar de boa parte de sua estrutura terem boa condutividade hidráulica, a maioria desses solos apresentam camada restritiva forte entre 50 e 100cm, Sartori (2010). Por isso foram classificados no grupo C.

Em relação aos latossolos, solo predominante no DF, foram classificados em sua maioria no grupo A, com apenas uma de suas variações classificada no grupo B. Dessa forma, os latossolos apresentam as melhores condições para implementação do programa, e, conseqüentemente, a maior taxa para recarga aquífera. Os grupos A e B atribuídos aos latossolos, vai de encontro com o que a Embrapa (2004) explica, pois de acordo com ela, eles podem ser excessivamente drenados, fortemente drenados e acentuadamente drenados, portanto, com alta permeabilidade de água.

Importante frisar que a capacidade de água disponível até 2 metros de profundidade varia, em média, 500 a 760 mm para os solos de textura muito argilosa, de 300 a 500 mm para os de textura argilosa e de 260 a 330 mm para os de textura média. Portanto, isso corrobora com a classificação, na qual apresentou a classificação B para Latossolos Vermelho com textura muito argilosa.

Por fim, os pesos de cada grupo foram calculados em função de sua taxa mínima de infiltração, que apresentam os seguintes valores (TR-55, 1986):

- Grupo A: > 7,62 mm/h
- Grupo B: 3,81 – 7,62 mm/h
- Grupo C: 1,27 – 3,81 mm/h
- Grupo D: < 1,27 mm/h

O resultado da classificação dos solos em seus grupos hidrológicos, além do resultado da reclassificação podem ser observados nas figuras 5.4 e 5.5, respectivamente.

Figura 5.4 – Mapa de Solos do DF classificados em função dos Agrupamentos Hidrológicos.

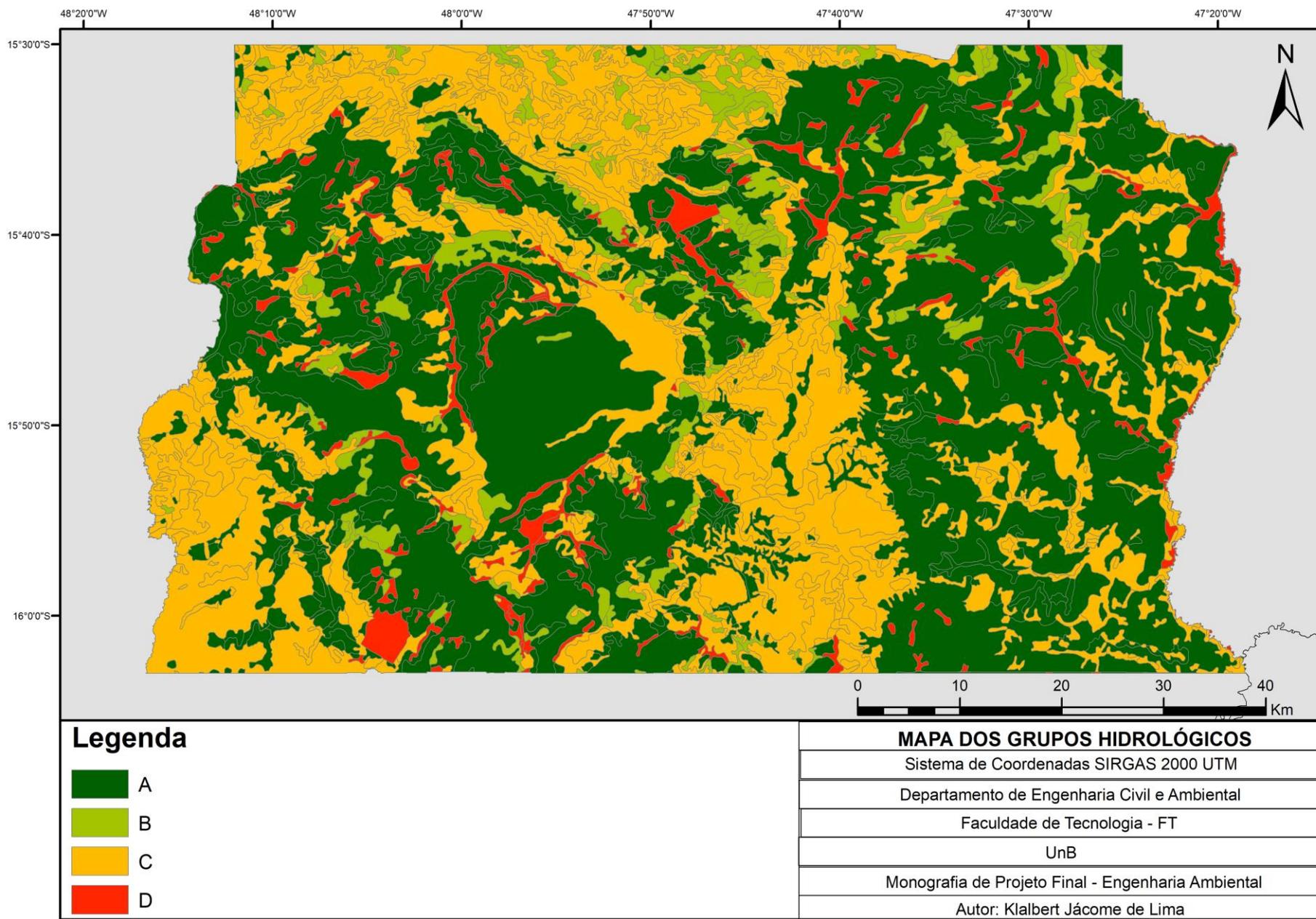
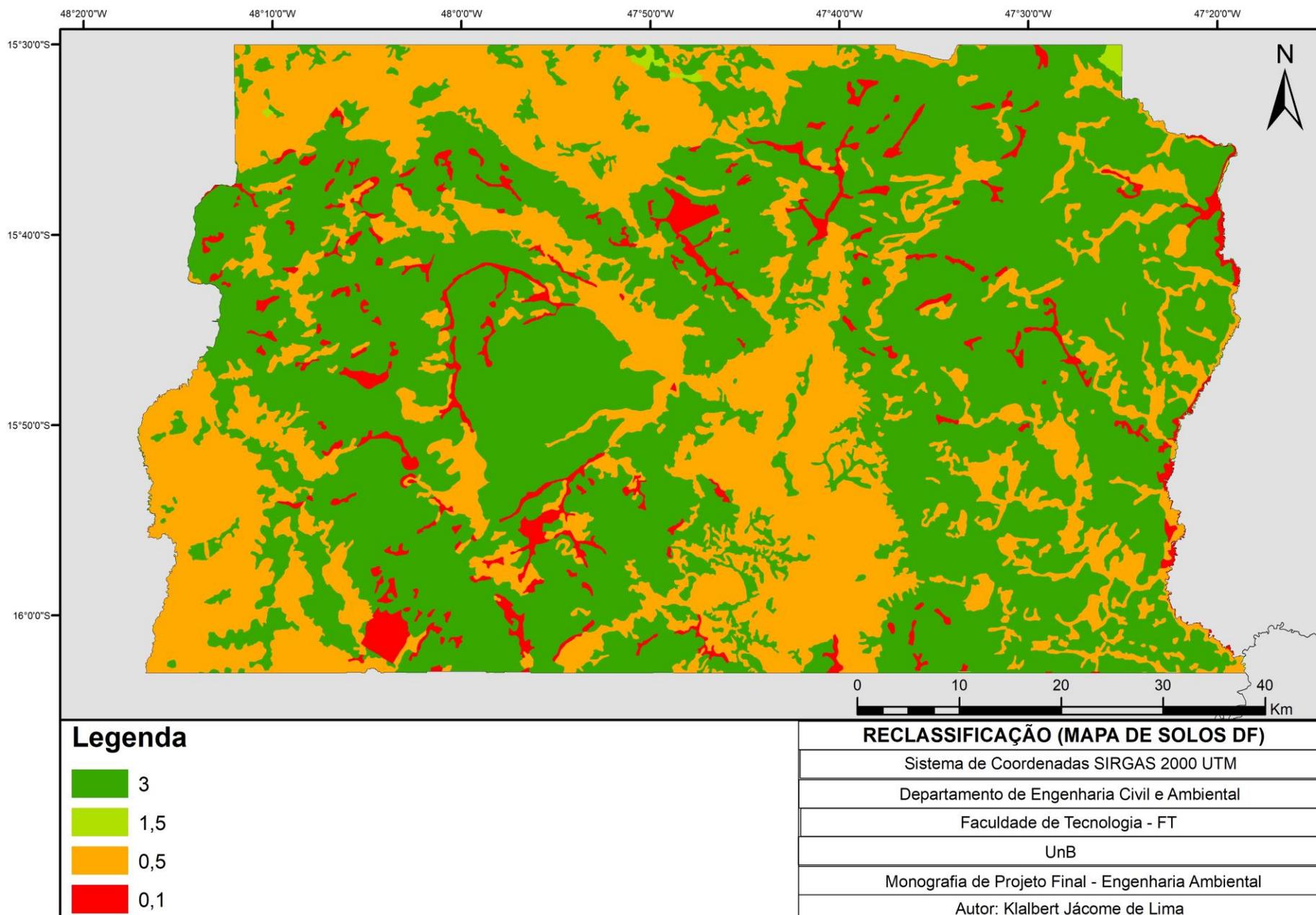


Figura 5.5 – Mapa de Solos do DF Reclassificado com seus respectivos pesos.



5.3. GEOLOGIA

A primeira análise foi realizada na possibilidade do uso dos aquíferos como tema para compor a metodologia. Com isso foi gerado o mapa de aquíferos aflorantes do Distrito Federal, no qual foi derivado do mapa produzido pela ANA (2013) em escala 1:1.000.000.

É importante destacar que existe uma classificação dos aquíferos quanto ao tipo de porosidade, que pode ser dividida em aquífero poroso, aquífero fraturado e aquífero cárstico. Além disso, deve-se explicar que o poroso armazena a água nos espaços entre os grãos da rocha, o fraturado armazena nas fraturas interconectadas da rocha e o cárstico armazena nos condutos e canais das rochas carbonáticas.

Com base nisso, o resultado obtido foram 3 aquíferos, sendo eles: Paranoá Cárstico, Canastra Cárstico e Fraturado Centro-Sul.

O resultado gerado pode ser visualizado na figura 5.6, além de poder verificar a área de cada aquífero, na tabela 5.8, que seguiu a seguinte proporção:

Tabela 5.8 - Distribuição dos Aquíferos Aflorantes no Distrito Federal.

AQUÍFEROS	ÁREA (Km ²)	(%)
Paranoá Cárstico	36,10	0,62%
Canastra Cárstico	5,23	0,09%
Fraturado Centro-Sul	5750,97	99,29%

Tendo como base os valores acima, foi desconsiderada a possibilidade de usar os aquíferos aflorantes como tema da presente metodologia. Isso se deve ao fato de que quase toda a extensão do Distrito Federal é composta por apenas um tipo de aquífero.

Dessa forma, esse tipo de tema não traria a discriminação necessária, pois quando fosse aplicado um peso aos aquíferos em função da sua condutividade hidráulica ou porosidade efetiva, o resultado seria um mapa homogêneo, que somado aos demais por meio da “Álgebra de Mapas” no ArcGis não resultaria em nenhuma diferença significativa no resultado pretendido.

Por isso o tema de geologia foi selecionado para realização do trabalho, que apresentou uma discriminação muito boa, com 12 tipos geológicos distintos. Ele foi produzido com base nas cartas geológicas de Brasília, Goiânia, Goiás e Belo Horizonte, o resultado final pode ser verificado na figura 5.7

Figura 5.6 - Aquíferos Aflorantes no Distrito Federal.

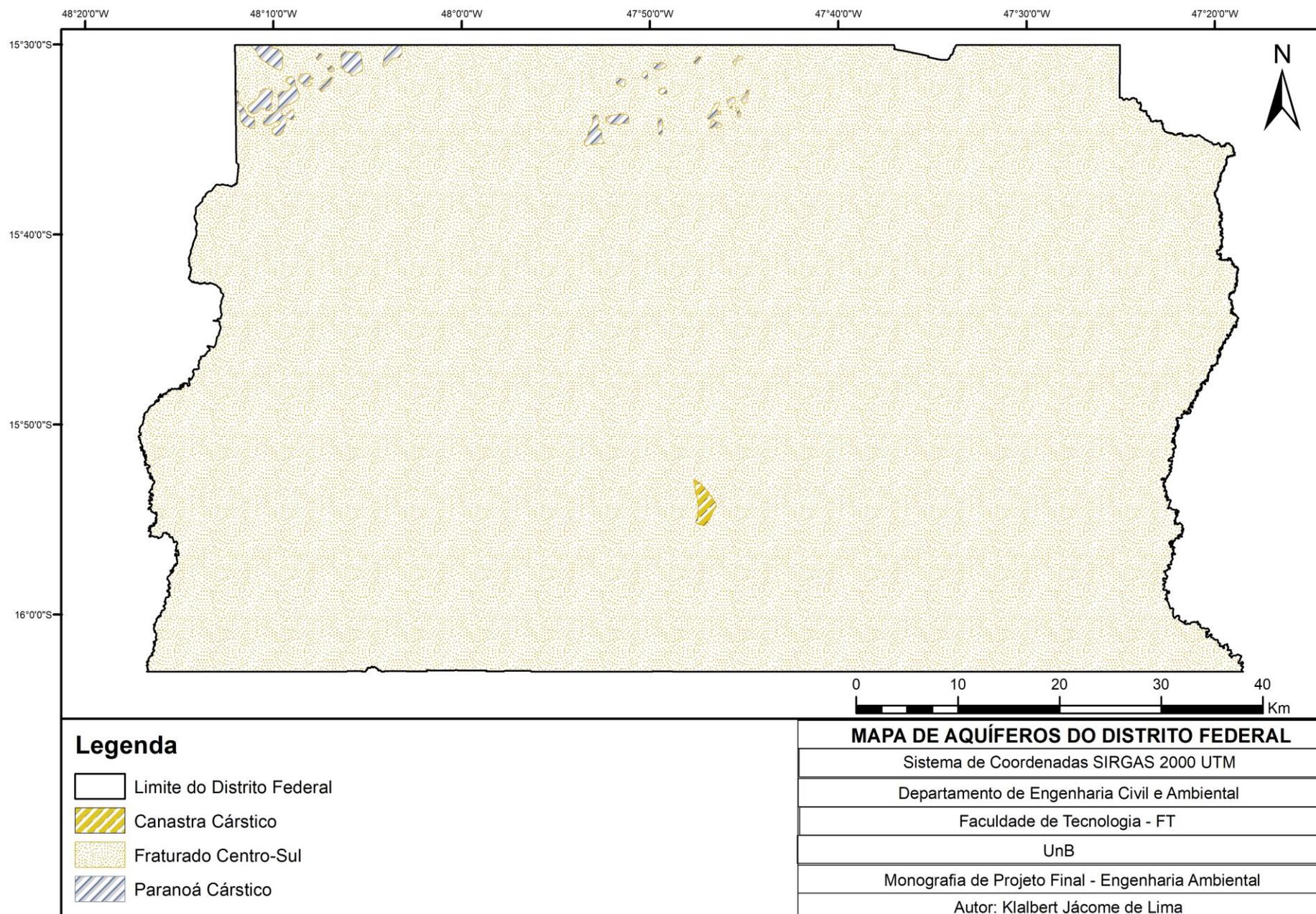
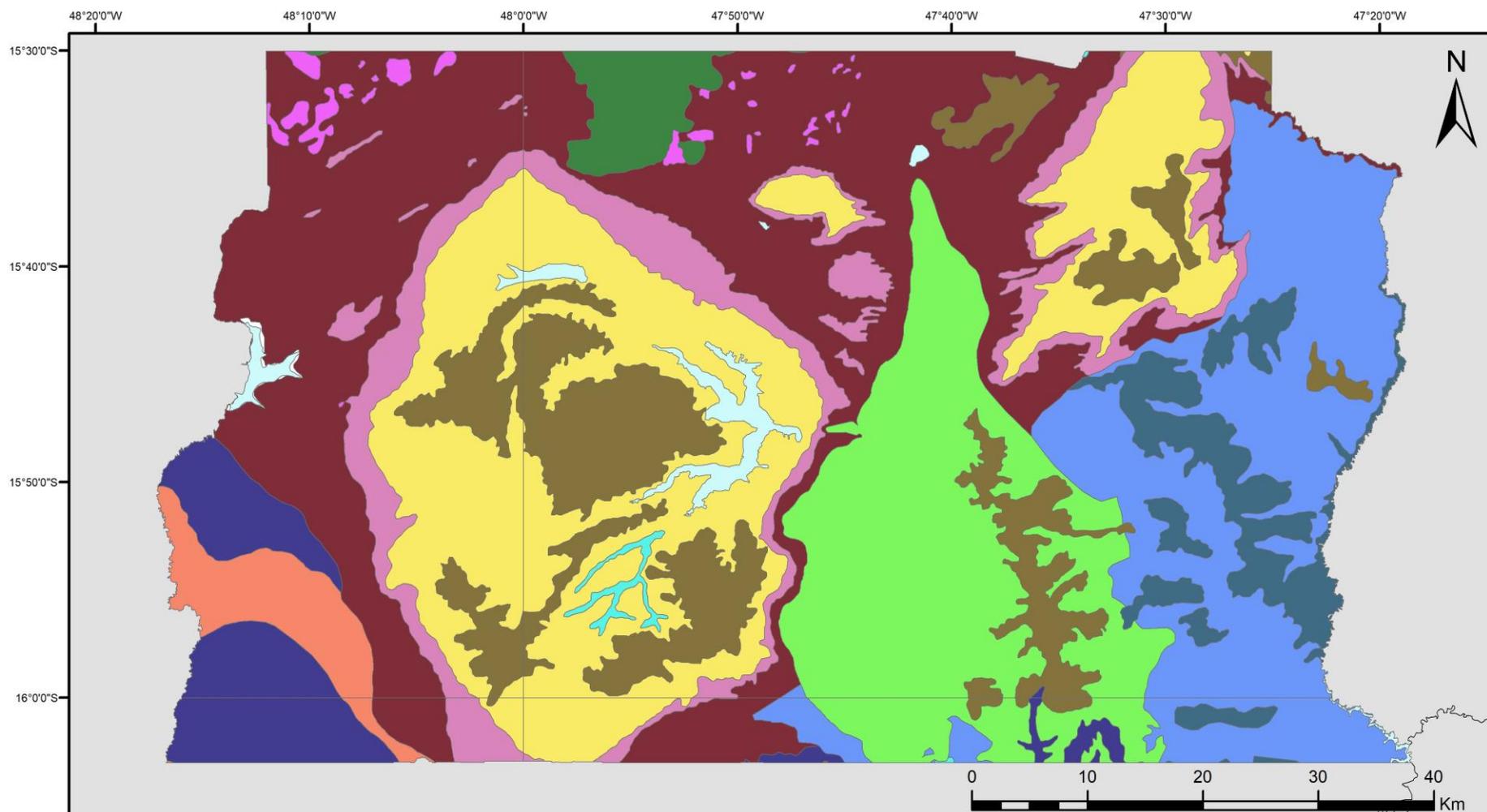


Figura 5.7 – Grupos Geológicos no Distrito Federal.



Legenda

- | | |
|---|---|
|  Coberturas detrito-lateríticas |  Litofácies Paranoá 4, metacalcário |
|  Coberturas detrito-lateríticas ferruginosas |  Subgrupo Paraopeba |
|  Depósitos aluvionares |  Unidade Araxá - Unidade B |
|  Formação Paracatu |  Unidade Paranoá 2 Siltico-ardosiana |
|  Formação Serra do Landim |  Unidade Paranoá 3 Rítmica Quartzítica |
|  Grupo Canastra |  Unidade Rítmica pelito-carbonatada |

MAPA GEOLÓGICO DO DISTRITO FEDERAL

Sistema de Coordenadas SIRGAS 2000 UTM

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental

Faculdade de Tecnologia - FT

UnB

Monografia de Projeto Final - Engenharia Ambiental

Autor: Klalbert Jácome de Lima

A primeira análise feita no tema geologia foi quais grupos geológicos estavam presentes no território do DF. Então foram identificadas as unidades geológicas e seus litotipos, apresentados abaixo, nas tabelas 5.9 e 5.10, respectivamente:

Tabela 5.9 - Nome das geologias presentes no Distrito Federal.

HIERARQUIA	NOME
Formação	Formação Paracatu (Grupo Canastra)
Formação	Formação Serra do Landim (Grupo Canastra)
Grupo	Grupo Canastra
Litofácies	Litofácies Paranoá 4, metacalcário
Não definida	Coberturas detrítico-lateríticas
Não definida	Coberturas detrítico-lateríticas ferruginosas
Não definida	Depósitos aluvionares
Subgrupo	Subgrupo Paraopeba (Grupo Bambuí)
Unidade	Unidade Araxá - Unidade B (Grupo Araxá)
Unidade	Unidade Paranoá 2 Siltico-ardosiana (Grupo Paranoá)
Unidade	Unidade Paranoá 3 Rítmica Quartzítica intermediária (Grupo Paranoá)
Unidade	Unidade Rítmica pelito-carbonatada (Grupo Paranoá)

Tabela 5.10 - Litotipos das geologias.

LITOTIPOS
Filito, Quartzo xisto, Sericita filito carbonoso
Filito, Sericita filito carbonoso
Ardósia, Filito, Grafita xisto, Metarenito, Metargilito, Metassiltito, Mica xisto, Sericita xisto, Xisto
Ardósia, Argilito, Mármore, Metassiltito, Quartzito feldspático, Sericita filito carbonoso
Areia, Argila, Cascalho, Laterita
Aglomerado, Areia, Argila, Laterita, Silte
Areia, Areia arcoseana, Argila, Cascalho, Conglomerado polimítico, Silte
Arcóseo, Arenito, Argilito, Calcarenito, Dolomito, Folhelho, Marga, Ritmito, Siltito
Clorita xisto, Granada-biotita xisto, Muscovita quartzito, Muscovita-biotita xisto, Sericita xisto, Xisto
Calcifilito, Filito, Mármore, Metassiltito
Argilito, Calcário, Conglomerado, Filito, Metargilito, Metassiltito, Quartzito, Siltito argiloso
Ardósia, Mármore, Metargilito, Metassiltito

O segundo passo foi a definição dos pesos das unidades geológicas, na qual se utilizou a porosidade efetiva – ne (%) para quantificar a escala de melhora entre as geologias. Portanto, foi definido o peso 3 para os depósitos aluvionares, que tinha a porosidade efetiva máxima no território do DF.

Pois bem, definido o peso máximo foi possível quantificar os demais pesos, que variou de 3 a 0,5, com predominância de valores intermediários.

Além disso, pode-se observar que o Distrito Federal apresenta cerca de 30% do seu território com valores bons ou excelentes para implementação do PPA quando analisado somente a sua geologia. Destaca-se também que a extensão na qual compreende a melhor faixa de geologia se encontra na porção leste/nordeste do DF, onde se encontram as cidades de Planaltina e Paranoá.

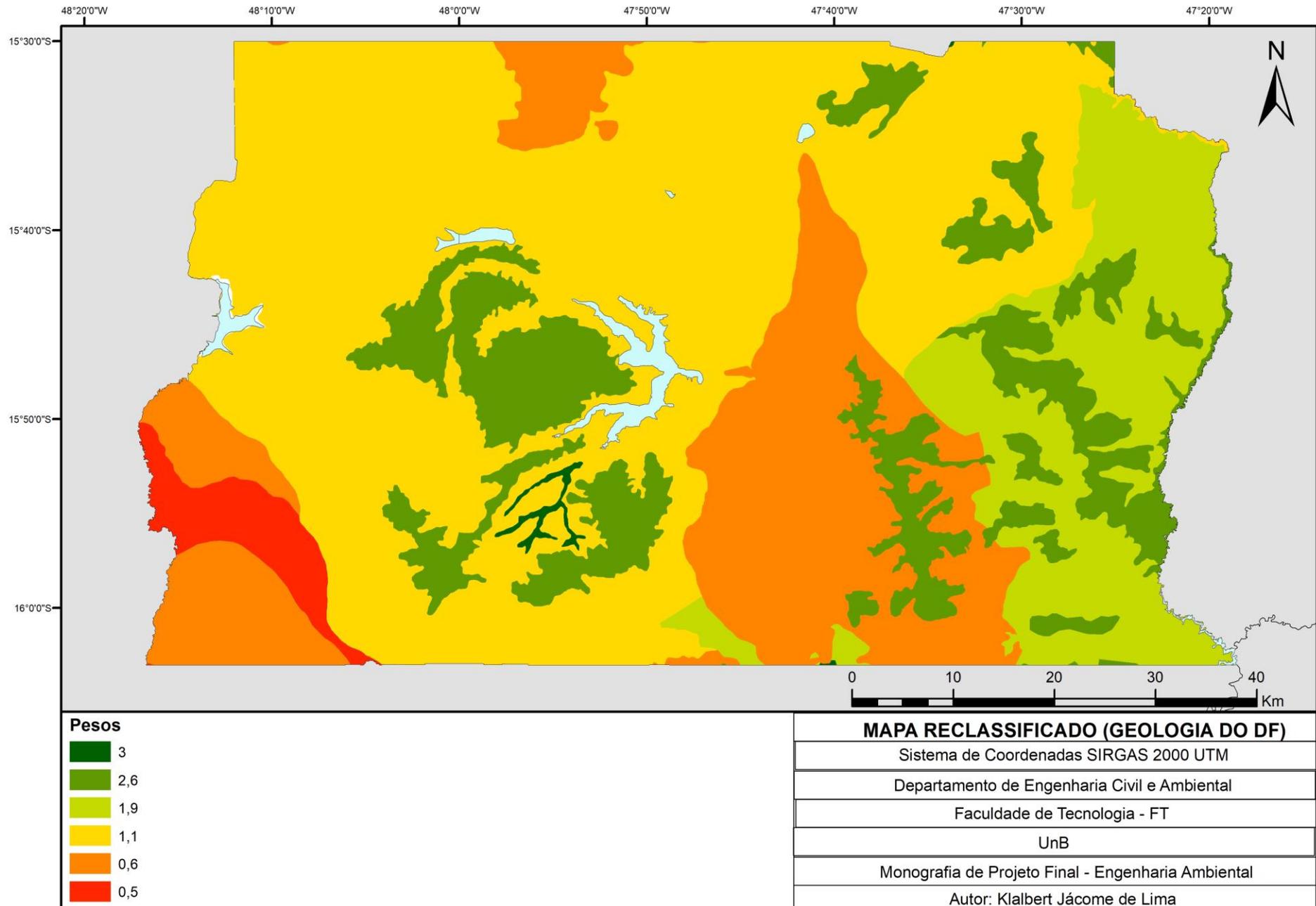
Tabela 5.11 - Pesos atribuídos as geologias.

NOME	Porosidade Efetiva -ne(%) Goiás (2006)	Pesos
Formação Paracatu (Grupo Canastra)	1,3	0,6
Formação Serra do Landim (Grupo Canastra)	1,3	0,6
Grupo Canastra	1,3	0,6
Litofácies Paranoá 4, metacalcário	2,5	1,1
Coberturas detrítico-lateríticas	6	2,6
Coberturas detrítico-lateríticas ferruginosas	6	2,6
Depósitos aluvionares	7	3,0
Subgrupo Paraopeba (Grupo Bambuí)	4,5	1,9
Unidade Araxá - Unidade B (Grupo Araxá)	1,2	0,5
Unidade Paranoá 2 Siltico-ardosiana (Grupo Paranoá)	2,5	1,1
Unidade Paranoá 3 Rítmica Quartzítica intermediária (Grupo Paranoá)	2,5	1,1
Unidade Rítmica pelito-carbonatada (Grupo Paranoá)	2,5	1,1

O principal condicionante entre um e outro tipo de geologia está ligado diretamente com a litologia. Assim, as litologias como gnaisses, quartzitos, metassiltitos e carbonatos apresentam uma porosidade mais efetiva quando comparado com as ardósias, metargilitos, filitos e xistos, que têm uma porosidade menos efetiva. (Goiás, 2006)

Isso vai de acordo com o resultado encontrado e aos pesos estabelecidos. Portanto, após a reclassificação foi gerado o mapa com os pesos, que pode ser visto abaixo, na figura 5.8.

Figura 5.8 - Reclassificação do Mapa Geológico do Distrito Federal.



5.4. ESCOAMENTO DE BASE

Para as avaliações de escoamento de base fez-se uma busca das estações fluviométricas do DF e no entorno cadastradas no banco de dados da ANA com a utilização do programa Sistema de Gerenciamento de Dados Hidrometeorológicos (Hidro 1.4).

O Hidro é uma aplicação de banco de dados do tipo cliente/servidor que tem como principais objetivos: permitir o gerenciamento de uma base de dados hidrometeorológica; permitir a entrada de dados por parte das entidades que operam uma rede hidrometeorológica; cálculo de funções hidrometeorológicas básicas e; visualização de dados em formas de gráficos, imagens, tabelas etc. (ANA, 2002). A busca na aplicação resultou em 305 estações como mostra a Figura 5.10.

A fim de definir quais estações poderiam ser utilizadas no projeto fez-se o levantamento dos registros de séries de dados na ANA, resultando em 99 brutas e 10 consistidas referentes a 99 estações fluviométricas (Figura 5.11).

Esses dados são desde maio de 1978 a janeiro de 2021, tendo muitas das estações com séries de dados de até 10 anos como mostra a Figura 5.9 a seguir.

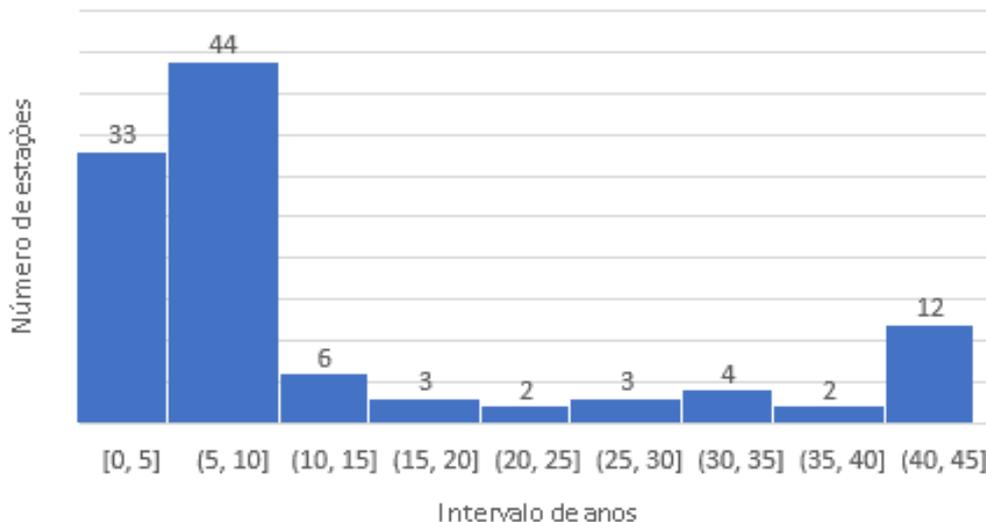


Figura 5.9 - Distribuição das estações de acordo com anos de dados nas séries.

Para prosseguimento do estudo foram consideradas na avaliação estações com séries de dados com 5 ou mais anos, apesar que seja indicado para estimativas de curva de permanência a utilização de vários anos de monitoramento a fim de se obter uma estimativa confiável e consistente.

Figura 5.10 - Estações fluviométricas do DF e entorno cadastradas no banco de dados da ANA.

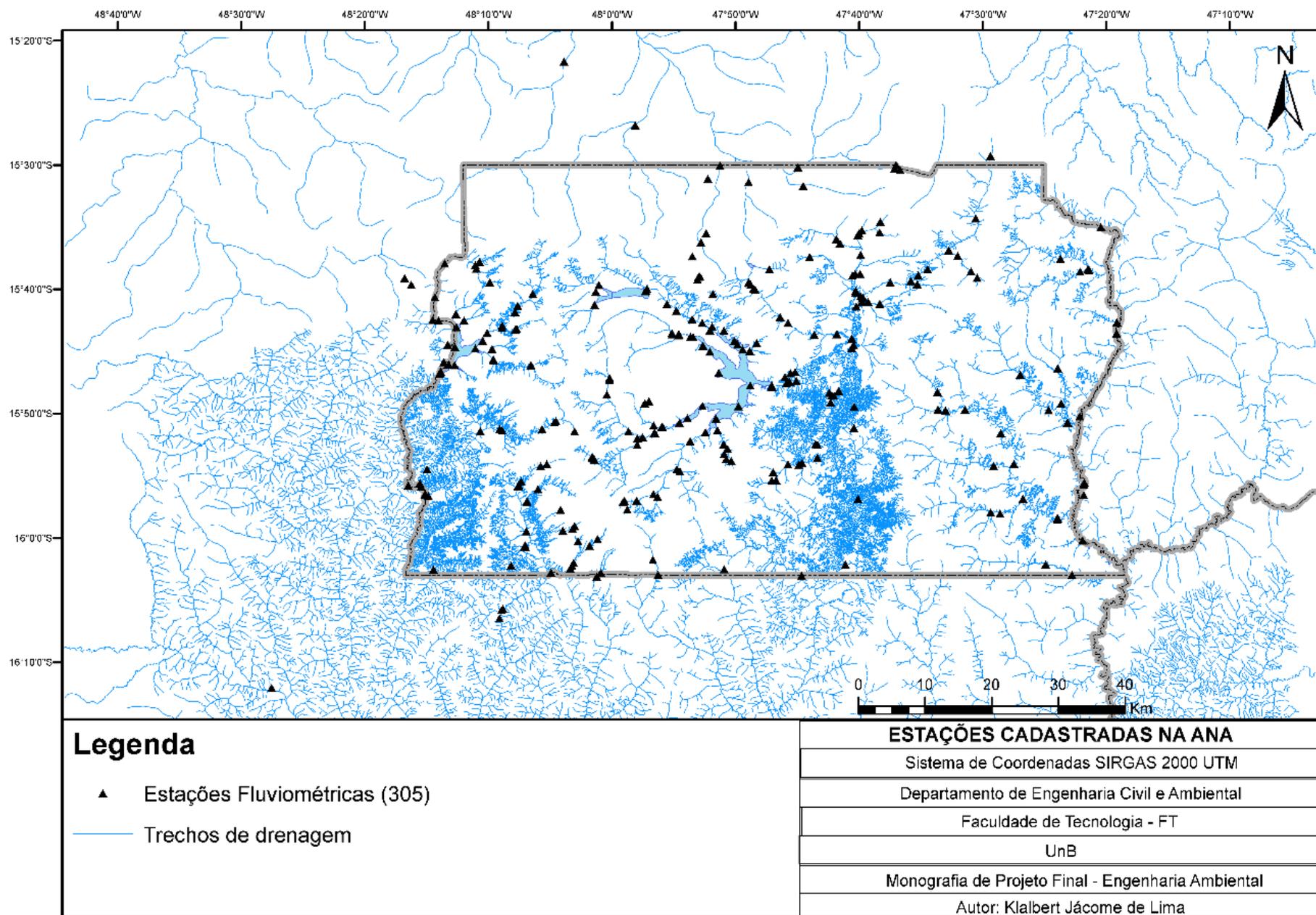
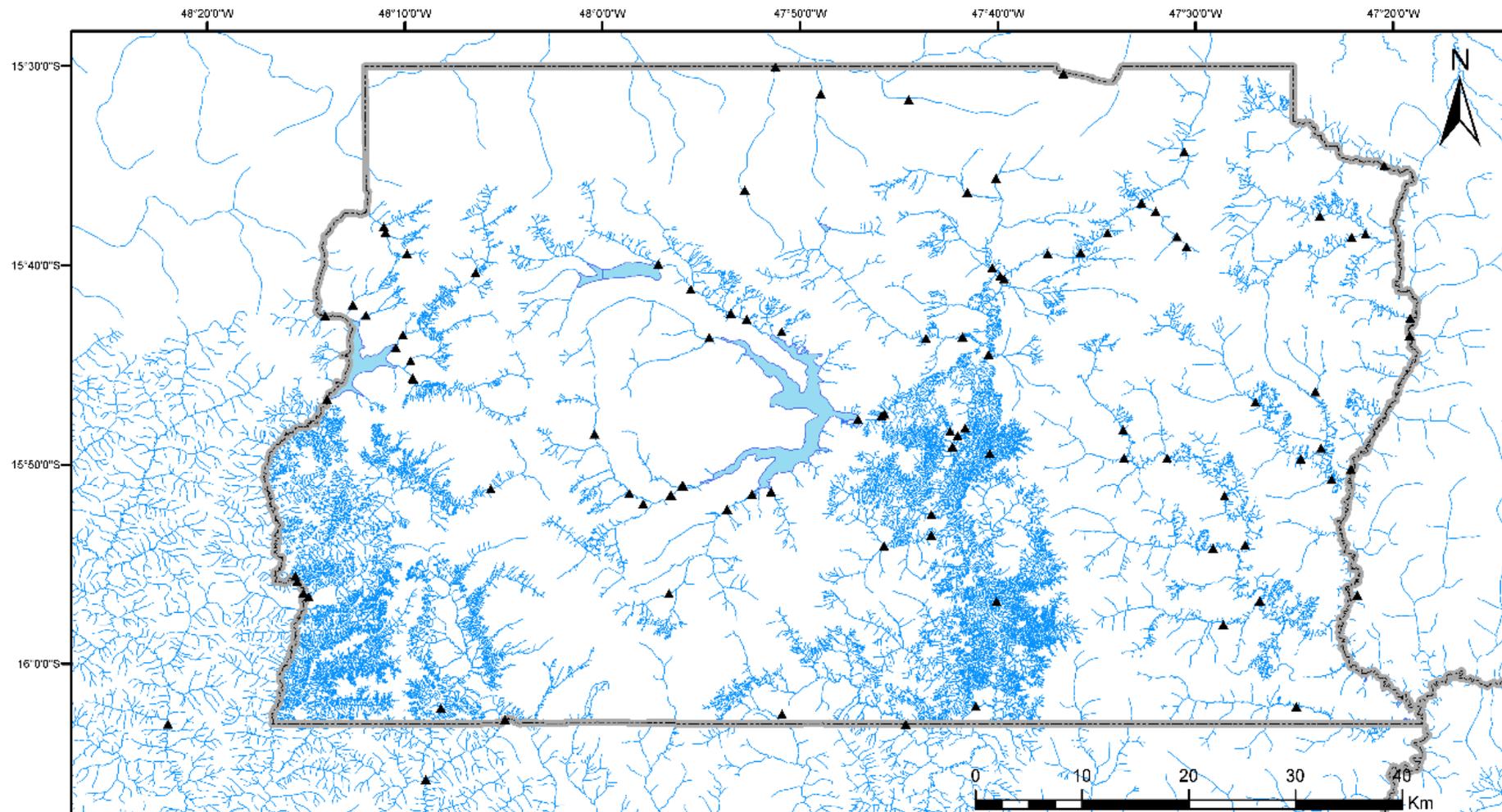


Figura 5.11 - Estações fluviométricas do DF e entorno com registros de dados na ANA.



Legenda

- ▲ Estações Fluviométricas (99)
- Trechos Drenagem

ESTAÇÕES COM SÉRIES DE DADOS NA ANA

Sistema de Coordenadas SIRGAS 2000 UTM

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental

Faculdade de Tecnologia - FT

UnB

Monografia de Projeto Final - Engenharia Ambiental

Autor: Klalbert Jácome de Lima

Importante destacar que além da quantidade de dados, deve-se observar a qualidade dos dados, dando preferência à dados consistidos quando disponíveis e se possível consistilos. Infelizmente, muitos dos dados obtidos são brutos, que passam por uma verificação prévia de uma aplicação interna da ANA para retirar os *outliers*. Como o processo de consistência de dados de monitoramento de escoamento superficial demanda um trabalho consistente avaliando diversas variáveis foram utilizados os dados como disponibilizados pela ANA.

Com o corte feito de acordo com a quantidade de dados disponíveis foram definidas 77 estações fluviométricas para a delimitação de suas áreas de contribuição e posteriores análises. Para essas estações, fez-se as curvas de permanência.

De posse das Q_{90} e Q_{50} , fez-se a relação Q_{90}/Q_{50} , que é mencionada por Welderufael e Woyessa (2010) como representativa do Índice de Fluxo de Base (IFB, *Baseflow index - BFI*), que indica a participação do escoamento de base sem considerar os efeitos de escala. A estimativa do IFB é a razão entre o escoamento de base/subterrâneo e o escoamento total, que permite a identificar a influência da geologia, da presença de lagos e de outras características da bacia que possam interferir nas vazões mínimas. Sendo assim a relação Q_{90}/Q_{50} representa uma estimativa inicial da parcela de contribuição das águas subterrâneas ao fluxo direto. Na Figura 5.12 há a distribuição das estações de acordo com a relação Q_{90}/Q_{50} .

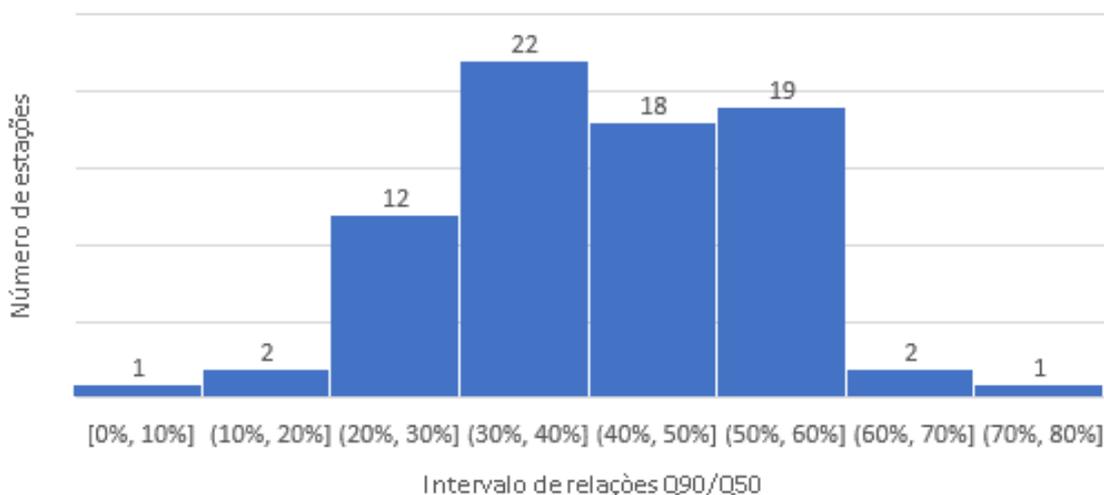
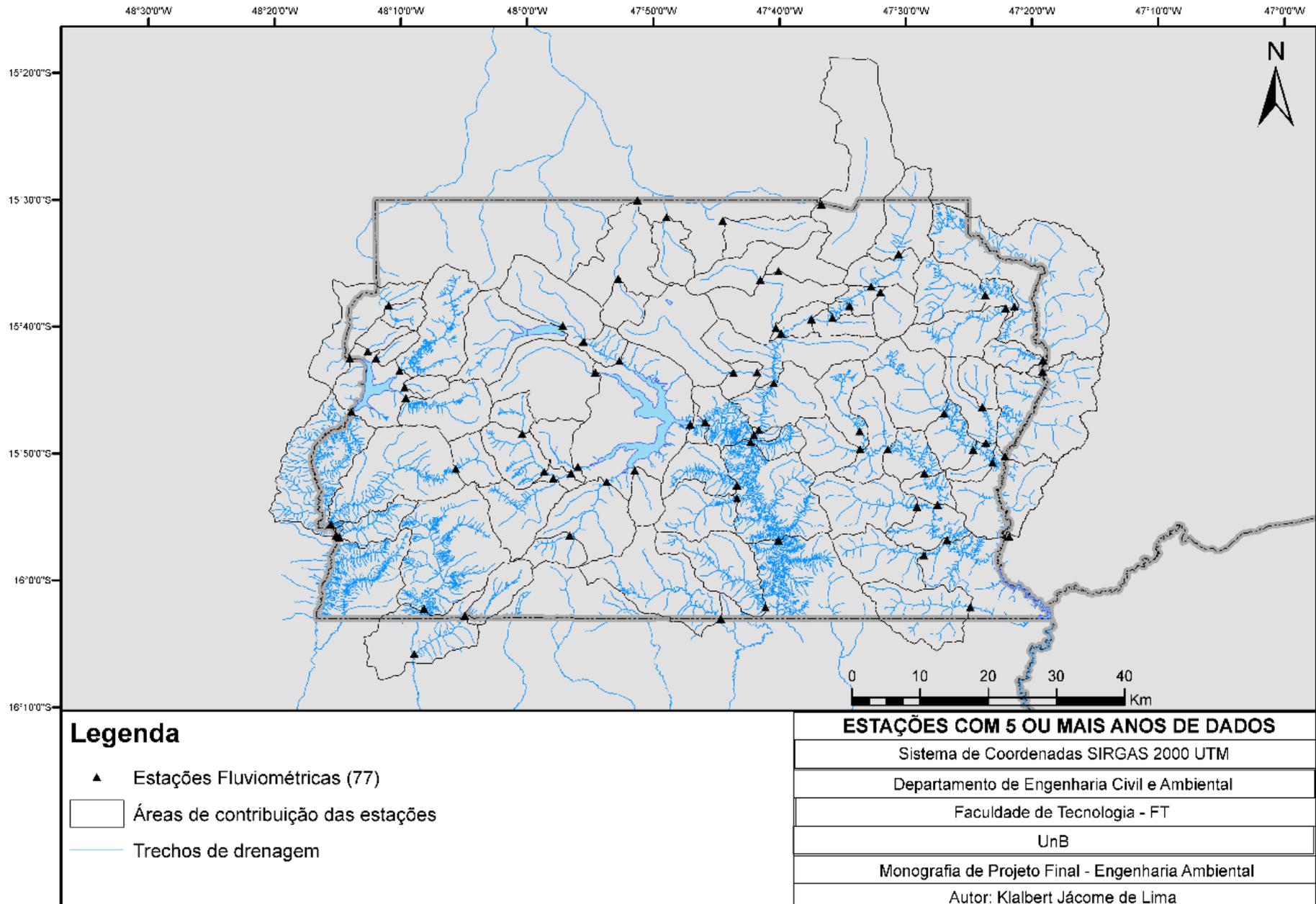


Figura 5.12 - Distribuição das estações de acordo com a relação Q_{90}/Q_{50} .

A delimitação das áreas de contribuição das estações foi feita por meio do Modelo Digital de Elevação (MDE) disponível no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Na Figura 5.13 pode-se observar as áreas delimitadas das 77 estações fluviométrica.

Figura 5.13 - Áreas de contribuição das estações fluviométricas com 5 ou mais anos de dados.



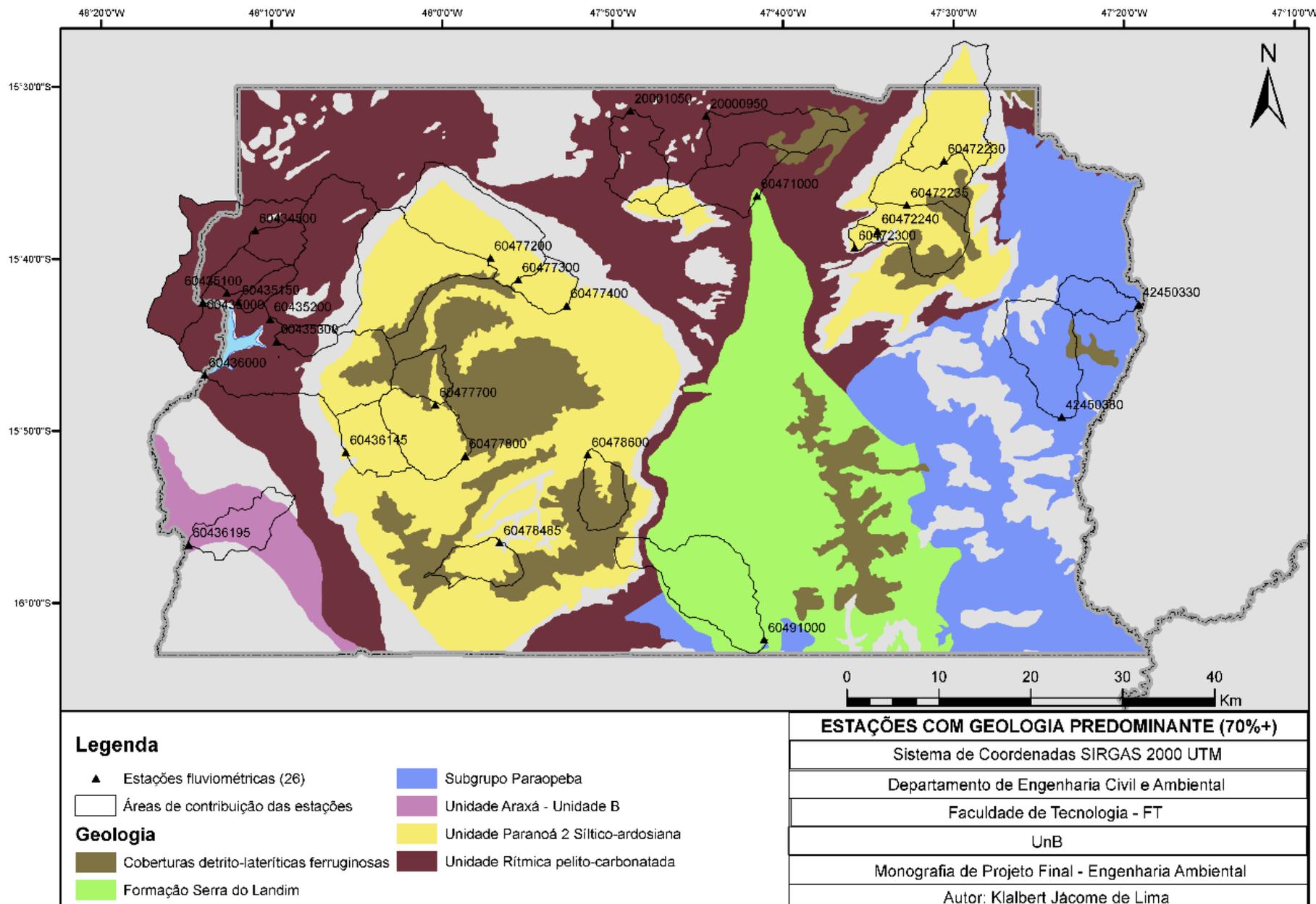
Com a delimitação das áreas de contribuição avaliou-se quais as geologias estavam presentes em cada estação e suas respectivas áreas. Com isso buscou-se definir estações fluviométricas que fossem representativamente características de determinada geologia a partir de uma predominância de 70% ou mais de uma única formação geológica em sua área.

Com a análise obteve-se 26 estações com geologias predominantes, sendo elas Coberturas detrito-lateríticas ferruginosas, Formação Serra do Landim, Subgrupo Paraopeba, Unidade Araxá - Unidade B, Unidade Paranoá 2 Siltico-ardosiana, Unidade Rítmica pelito-carbonatada. As estações e suas respectivas geologias predominantes podem ser observadas na Tabela 5.12 e na Figura 5.14.

Tabela 5.12 - Estações representativas de geologias com 70% ou mais de predominância.

Estação	Área da estação (km ²)	Sigla Unidade	Nome da Unidade Geológica	Área da geologia (km ²)	Ageo / Aest
60477700	25,25	N1dl	Coberturas detrito-lateríticas ferruginosas	19,87	78,70%
60478600	32,14	N1dl	Coberturas detrito-lateríticas ferruginosas	23,81	74,07%
60491000	98,81	NP1sl	Formação Serra do Landim	88,26	89,32%
42450330	27,13	NP3bpa	Subgrupo Paraopeba	26	99,48%
42450380	71,8	NP3bpa	Subgrupo Paraopeba	56,32	78,43%
60436195	40,37	NPab	Unidade Araxá - Unidade B	31,63	78,36%
60436145	38,57	MPpa2	Unidade Paranoá 2 Siltico-ardosiana	37,82	98,06%
60472230	83,52	MPpa2	Unidade Paranoá 2 Siltico-ardosiana	68,04	81,47%
60472235	127,15	MPpa2	Unidade Paranoá 2 Siltico-ardosiana	103,08	81,08%
60472240	182,98	MPpa2	Unidade Paranoá 2 Siltico-ardosiana	136,14	74,40%
60472300	189,17	MPpa2	Unidade Paranoá 2 Siltico-ardosiana	141,79	74,96%
60477200	105,93	MPpa2	Unidade Paranoá 2 Siltico-ardosiana	81,87	77,29%
60477300	208,23	MPpa2	Unidade Paranoá 2 Siltico-ardosiana	149,7	71,89%
60477400	232,81	MPpa2	Unidade Paranoá 2 Siltico-ardosiana	171,74	73,77%
60477800	83,65	MPpa2	Unidade Paranoá 2 Siltico-ardosiana	59,83	71,52%
60478485	31	MPpa2	Unidade Paranoá 2 Siltico-ardosiana	23,79	74,35%
20000950	55,59	MPpa4	Unidade Rítmica pelito-carbonatada	39,7	71,41%
20001050	45,79	MPpa4	Unidade Rítmica pelito-carbonatada	37,87	82,71%
60434500	20,86	MPpa4	Unidade Rítmica pelito-carbonatada	20,86	100%
60435000	113,39	MPpa4	Unidade Rítmica pelito-carbonatada	112,88	99,55%
60435100	19,61	MPpa4	Unidade Rítmica pelito-carbonatada	19,61	100%
60435150	13,53	MPpa4	Unidade Rítmica pelito-carbonatada	13,53	100%
60435200	110,16	MPpa4	Unidade Rítmica pelito-carbonatada	87,07	79,04%
60435300	15,26	MPpa4	Unidade Rítmica pelito-carbonatada	10,93	71,66%
60436000	434,67	MPpa4	Unidade Rítmica pelito-carbonatada	330,52	76,04%
60471000	53,47	MPpa4	Unidade Rítmica pelito-carbonatada	40,31	75,39%

Figura 5.14 - Estações fluviométricas com formações geológicas predominantes em suas áreas de contribuição.



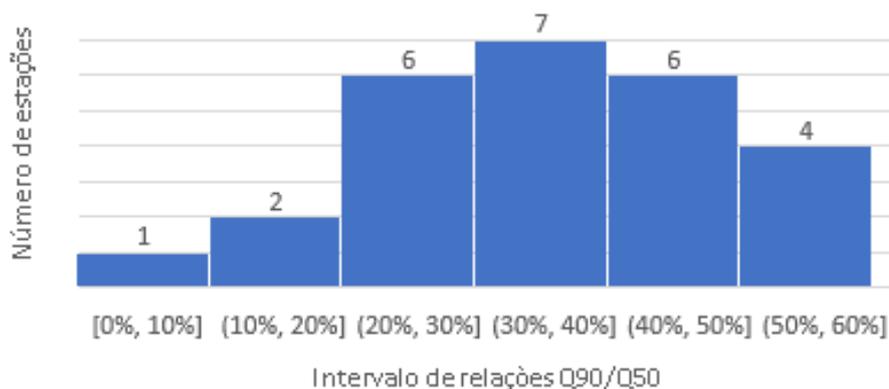


Figura 5.15 - Distribuição das estações fluviométricas com geologias predominantes de acordo com a relação Q90/Q50.

A fim de observar os comportamentos das curvas de permanência das diferentes estações fluviométricas com a mesma geologia predominante utilizou-se a vazão específica ($m^3/s.km^2$) para tirar o fator da diferença entre as áreas de contribuição e procurar adimensionalizar os dados no momento de avaliá-los em conjunto. Esse procedimento foi feito para a Unidade Paranoá 2 Siltico-ardosiana, a Unidade Rítmica pelito-carbonatada, as Coberturas detrito-lateríticas ferruginosas e o Subgrupo Paraopeba que são predominantes em mais de uma estação, podendo observar as curvas para essas unidades da Figura 5.16 a 5.19, respectivamente. Nas Figuras 5.20 e 5.21 mostra-se as estações representativas da Formação Serra do Landim e da Unidade Araxá - Unidade B, respectivamente.

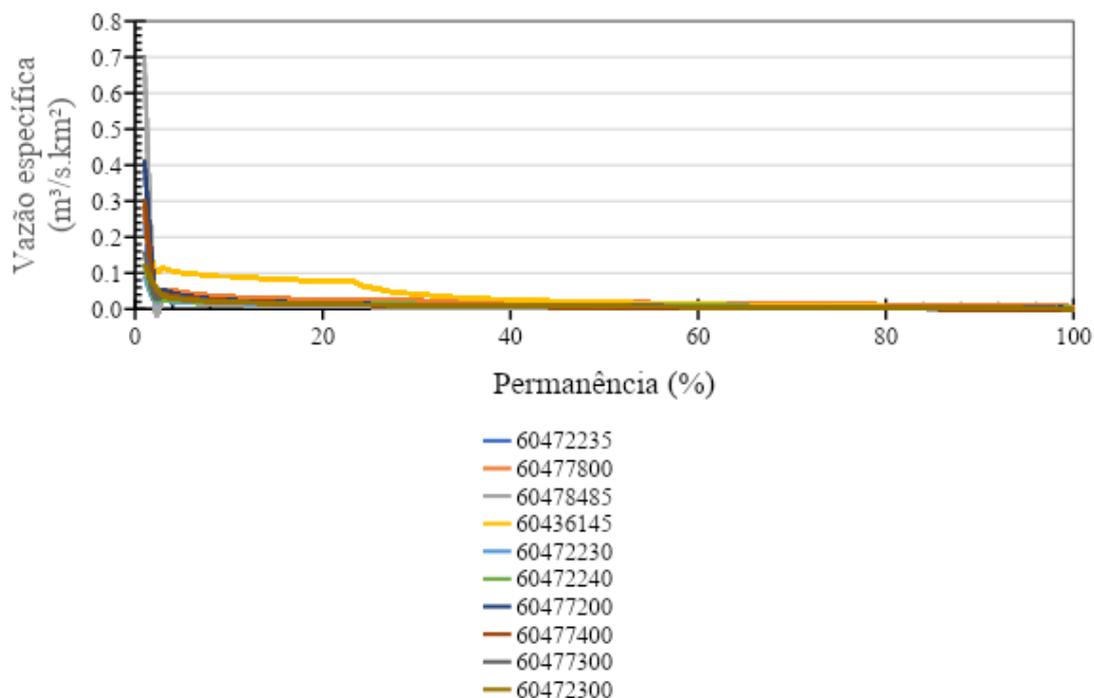


Figura 5.16 - Curvas de permanência de estações representativas da Unidade Paranoá 2 Siltico-ardosiana.

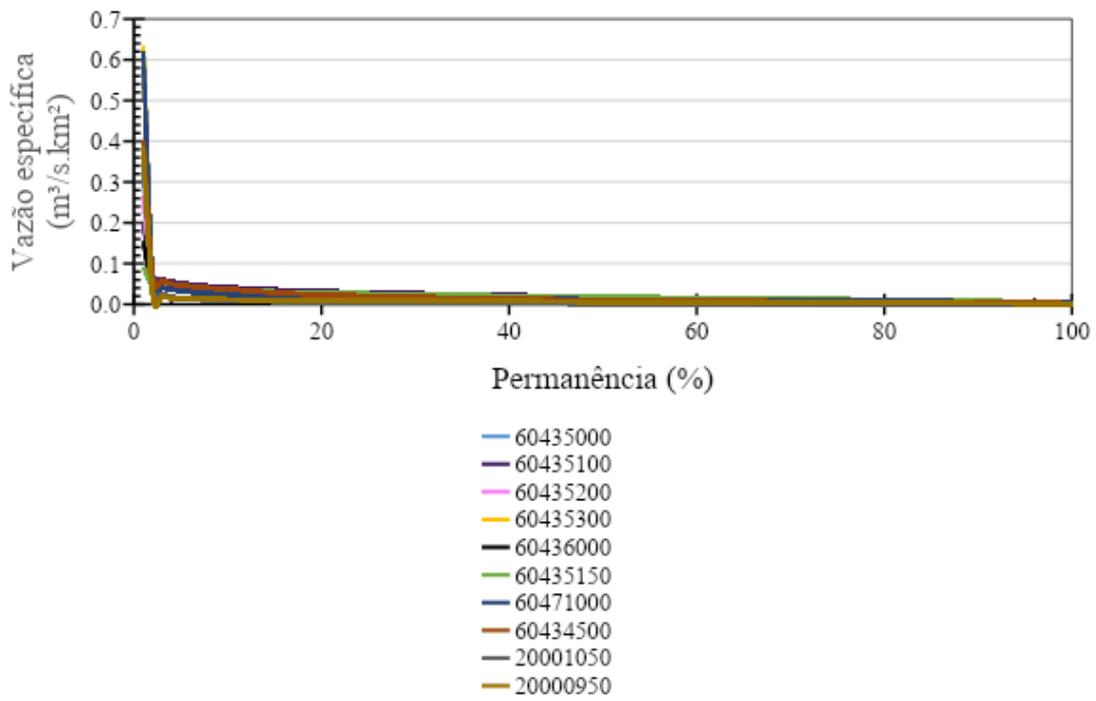


Figura 5.17 - Curvas de permanência de estações representativas da Unidade Rítmica pelito-carbonatada.

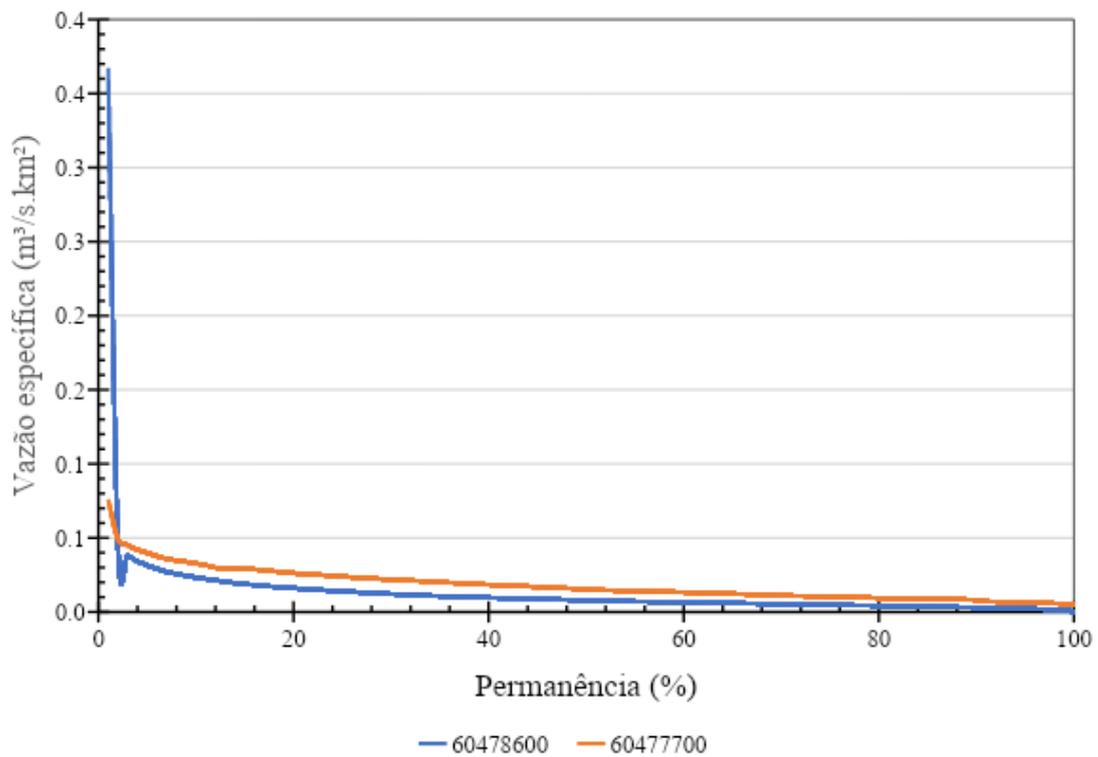


Figura 5.18 - Curvas de permanência de estações representativas das Coberturas detrítico-lateríticas ferruginosas.

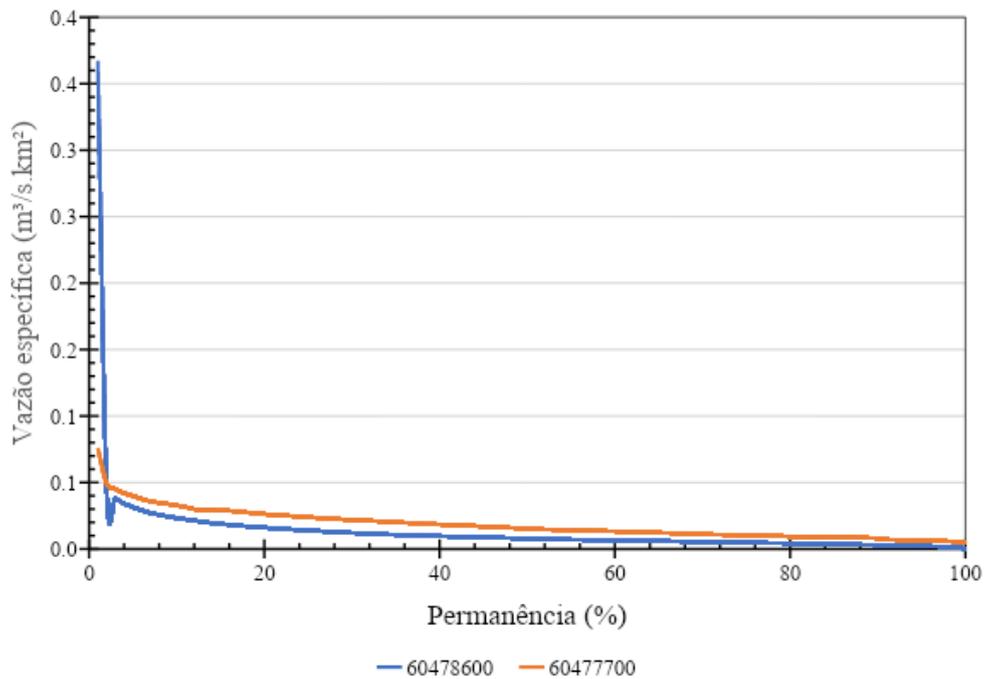


Figura 5.19 - Curvas de permanência de estações representativas do Subgrupo Paraopeba.

Avaliando as curvas de permanência nas geologias com mais de uma estação representativa observou-se que a maioria apresentava comportamento similar, com exceção da estação 60436145 que apresentou valores de vazão específica descolados dos outros para permanências menores de 35%.

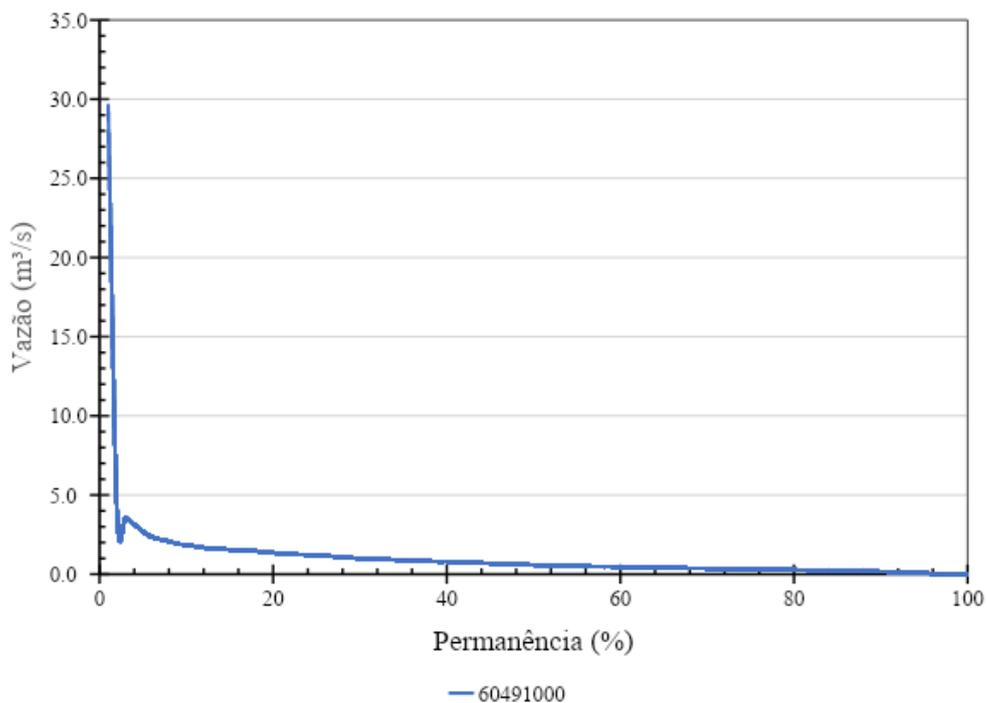


Figura 5.20 - Curva de permanência de estação representativa da Formação Serra do Landim.

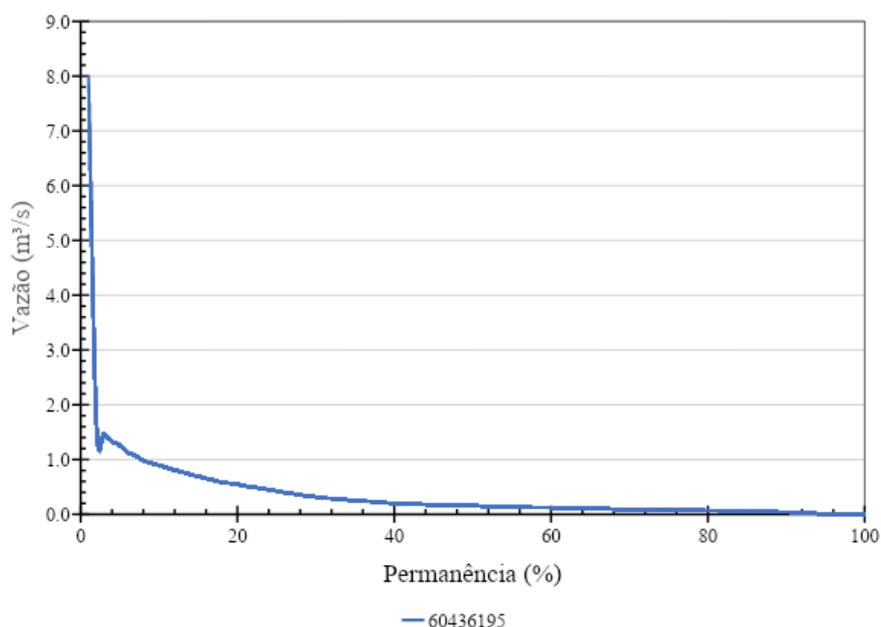


Figura 5.21 - Curva de permanência de estação representativa da Unidade Araxá (Unid.B)

Nas geologias com mais de uma estação representativa fez-se uma média da relação Q_{90}/Q_{50} e obteve-se os valores apresentados na Tabela 5.13 a seguir.

Tabela 5.13 - Unidades geológicas com relações Q_{90}/Q_{50} características e seus respectivos pesos.

SIGLA	NOME UNIDADE	ÁREA (km ²)	%	Q90/Q50	Pesos
ENdl	Coberturas detrito-lateríticas com concreções ferruginosas	225,1702	3,90%	-	3
N1dl	Coberturas detrito-lateríticas ferruginosas	603,9982	10,47%	45,62%	3
NP1cpa	Formação Paracatu	259,1974	4,49%	-	1,79
NP1sl	Formação Serra do Landim	736,6244	12,77%	27,23%	1,79
NP1c	Grupo Canastra	99,19436	1,72%	-	1,79
MPpa4cc	Litofácies Paranoá 4, metacalcário	36,86613	0,64%	-	2,59
NP3bpa	Subgrupo Paraopeba	757,4607	13,13%	30,85%	2,03
NPab	Unidade Araxá - Unidade B	129,7616	2,25%	25,79%	1,7
MPpa2	Unidade Paranoá 2 Siltico-ardosiana	1088,196	18,87%	39,36%	2,59
MPpa3	Unidade Paranoá 3 Rítmica Quartzítica intermediária	410,5484	7,12%	-	2,59
MPpa4	Unidade Rítmica pelito-carbonatada	1404,336	24,35%	38,48%	2,53

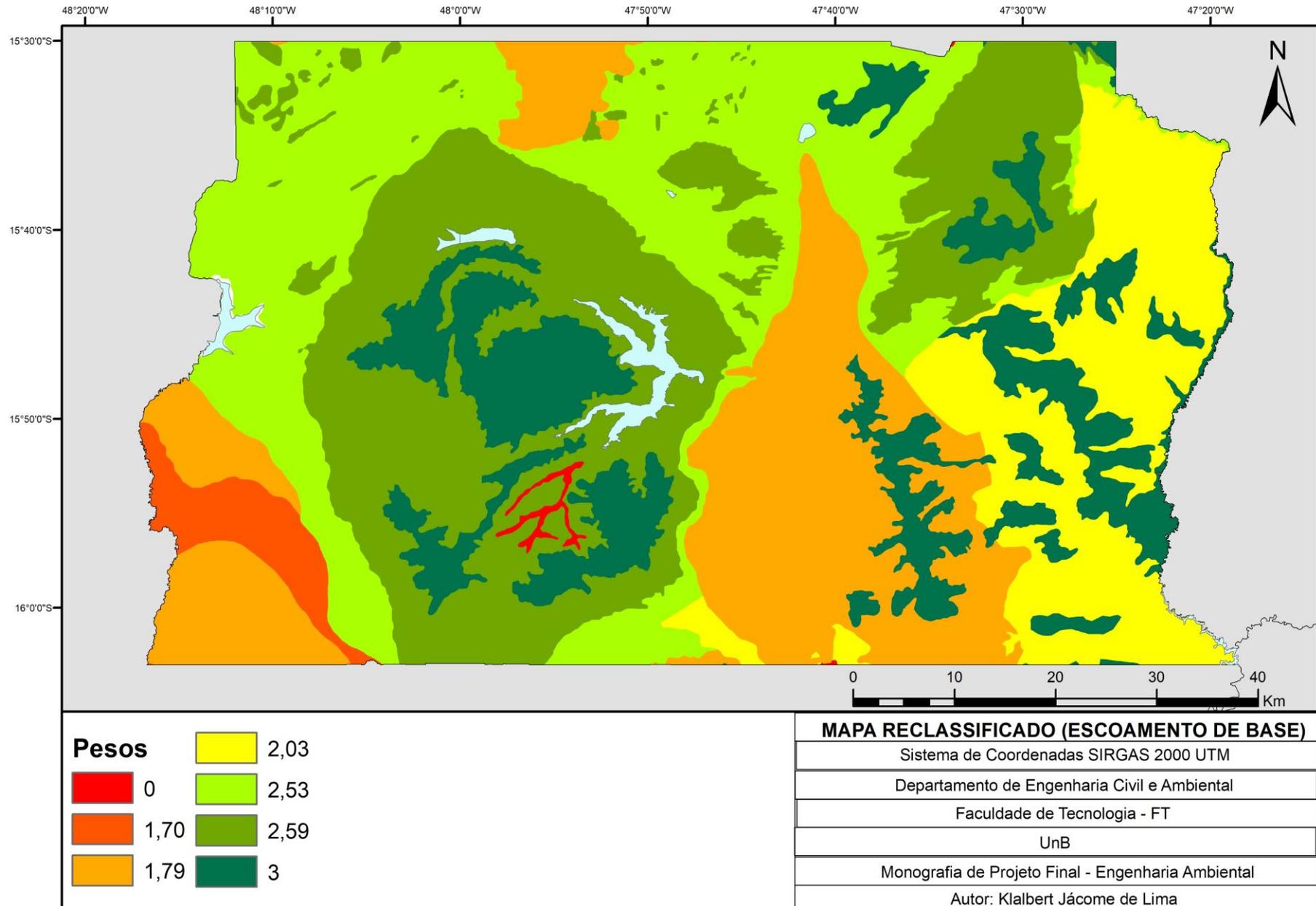
Legenda

	Unidades que teve estações representativas para quantificar o Q_{90}/Q_{50}
	Unidades que não teve estações representativas, mas se usou unidades similares para quantificar o Q_{90}/Q_{50}
	Unidades que não teve estações representativas, mas se usou a porosidade efetiva para quantificar o Q_{90}/Q_{50}

As unidades geológicas com estações representativas representam 81,85% da área do DF. Dessa forma, boa parte do DF foi contemplada com a metodologia proposta. Diante disso, algumas unidades geológicas não tiveram estações representativas, e para isso foram usadas as unidades similares e as porosidades efetivas para se atribuir o peso.

A figura 5.22 mostra o resultado da reclassificação do tema, escoamento de base.

Figura 5.22 – Escoamento de Base Reclassificado em função dos Pesos.



5.5. MÉTODO AHP

Como já mencionado anteriormente, o Método de Análise Hierárquica (AHP), desenvolvido por Saaty (1980) permite o uso de critérios qualitativos e quantitativos para estabelecer uma hierarquia entre os critérios de decisão. Essa análise começa por meio de uma matriz de comparação que estabelece uma escala de importância entre os critérios, que pode variar de 9 (Importância extrema) e 1 (Igual importância). Tendo isso como base, a realização do método AHP no presente trabalho foi estabelecida em função da matriz de comparação pareada abaixo, tabela 5.14.

Tabela 5.14 - Matriz de Comparação Pareada.

INTERVALOS	Escoamento de Base	Pedologia	Geologia	Declividade
Escoamento de Base	1,000	2,000	3,000	5,000
Pedologia	0,500	1,000	2,000	4,000
Geologia	0,333	0,500	1,000	3,000
Declividade	0,200	0,250	0,333	1,000

Importante frisar que a definição dos valores da matriz de comparação pareada, utilizada no método AHP, tem livre escolha, podendo ser baseada em levantamento bibliográfico ou uma equipe multidisciplinar, com experiência no assunto, pode definir a escala que mais se aproxima da realidade. Deve-se entender a matriz como sendo a comparação da importância do critério linha sob o critério coluna.

Após a conclusão da matriz, foi realizada a sua normalização de forma a calcular o peso de cada critério, o resultado está apresentado na tabela 5.15:

Tabela 5.15 - Matriz Normalizada com os respectivos Pesos.

INTERVALOS	Escoamento de Base	Pedologia	Geologia	Declividade
Escoamento de Base	0,492	0,533	0,474	0,385
Pedologia	0,246	0,267	0,316	0,308
Geologia	0,164	0,133	0,158	0,231
Declividade	0,098	0,067	0,053	0,077

A Razão de Consistência (RC) foi de 0,019, deste modo, como o valor apresentado é menor que 0,1, isso mostra que a matriz de comparação pareada e os valores atribuídos a ela

estão de acordo com o método, sendo assim os pesos podem ser validados. Os pesos calculados foram os que estão na tabela 5.16.

Tabela 5.16 - Pesos dos Critérios.

INTERVALOS	PESOS
Escoamento de Base	0,471
Pedologia	0,284
Geologia	0,171
Declividade	0,074

De modo a ratificar o resultado calculado, foi utilizado uma extensão no *software* ArcGis que realiza o método AHP de forma automática, de forma que o resultado encontrado foi o mesmo apresentado na tabela 5.16.

Pode-se observar que o escoamento de base apresentar o maior peso entre os demais, seguido por pedologia, geologia e declividade. Isso se ao fato de que na comparação pareada, o escoamento foi favorecido, entretanto, os valores encontrados vão de encontro com o objetivo central do trabalho.

A presente metodologia visou estabelecer áreas que sejam propícias para o estabelecimento de práticas conservacionistas, que está no escopo do Programa Produtor de Água (PPA). Sendo que a implantação das práticas em áreas com uma melhor capacidade de infiltração visa mitigar o problema da disponibilidade hídrica, principalmente, em épocas de estiagem, com o intuito de regularizar a quantidade de água disponível.

Esse objetivo pode ser caracterizado pelo tema, escoamento de base, que representa quanto da vazão da respectiva bacia é proveniente do fluxo basal, única vazão disponível em épocas de estiagem, por isso ele se mostra como o tema central no trabalho.

5.6. ANÁLISE DO MAPA FINAL DE APTIDÃO

Após a realizar o método AHP e definir o modelo matemático para estabelecer o mapa de aptidão, usou-se o *software* ArcGis para compilar os temas: geologia, escoamento de base, declividade e hidrologia dos solos. A figura 5.23 apresenta o resultado sem a utilização do método AHP, oriundo de um simples somatório dos temas e a Figura 5.24 mostra o mapa final utilizando os pesos do método AHP. O resultado final mostra que a maior parte do DF apresenta condição boa ou excelente para implementação do Programa Produtor de Água.

Figura 5.23 – Mapa de Aptidão para Implementação do Programa Produtor de Água sem o método AHP.

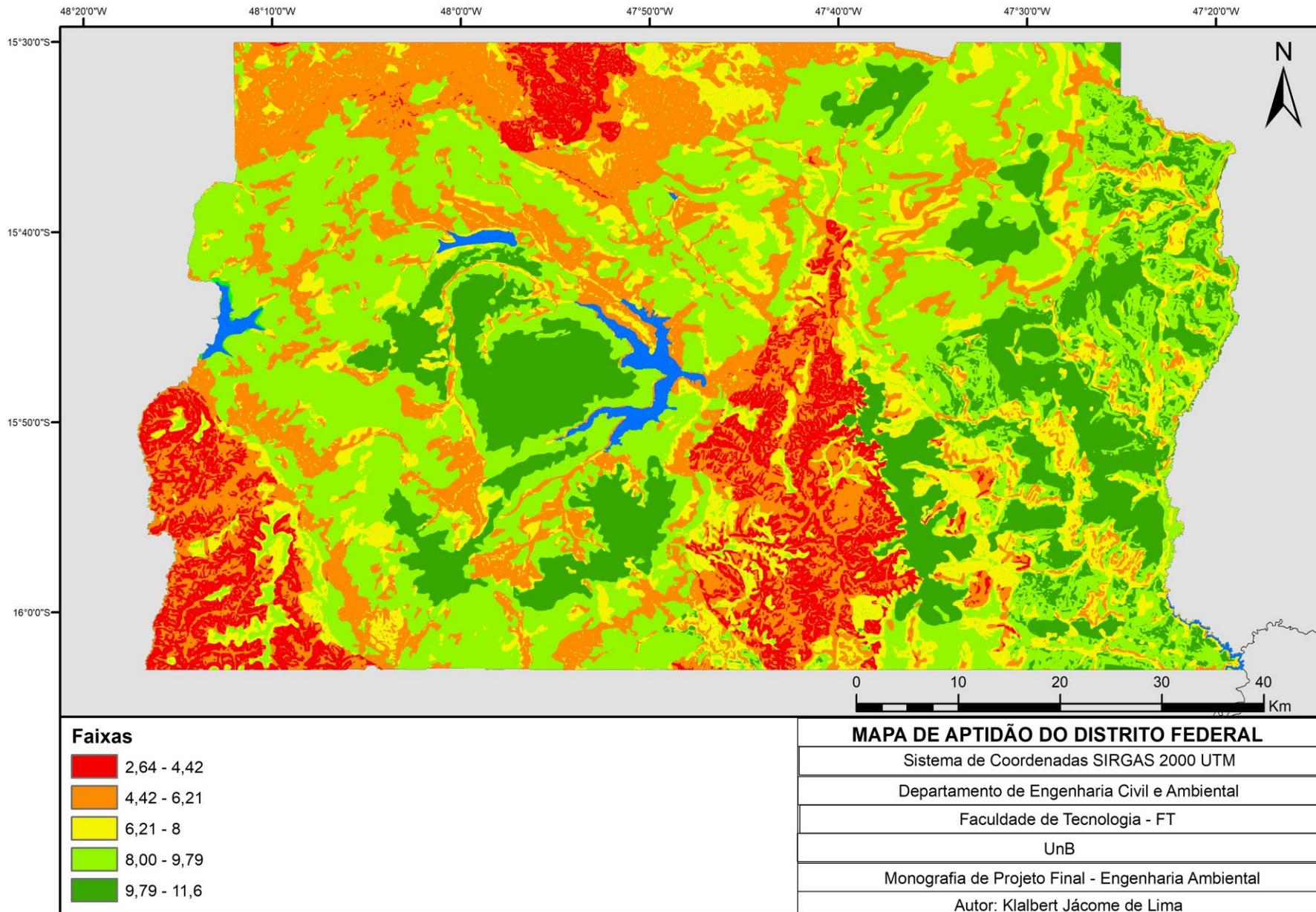
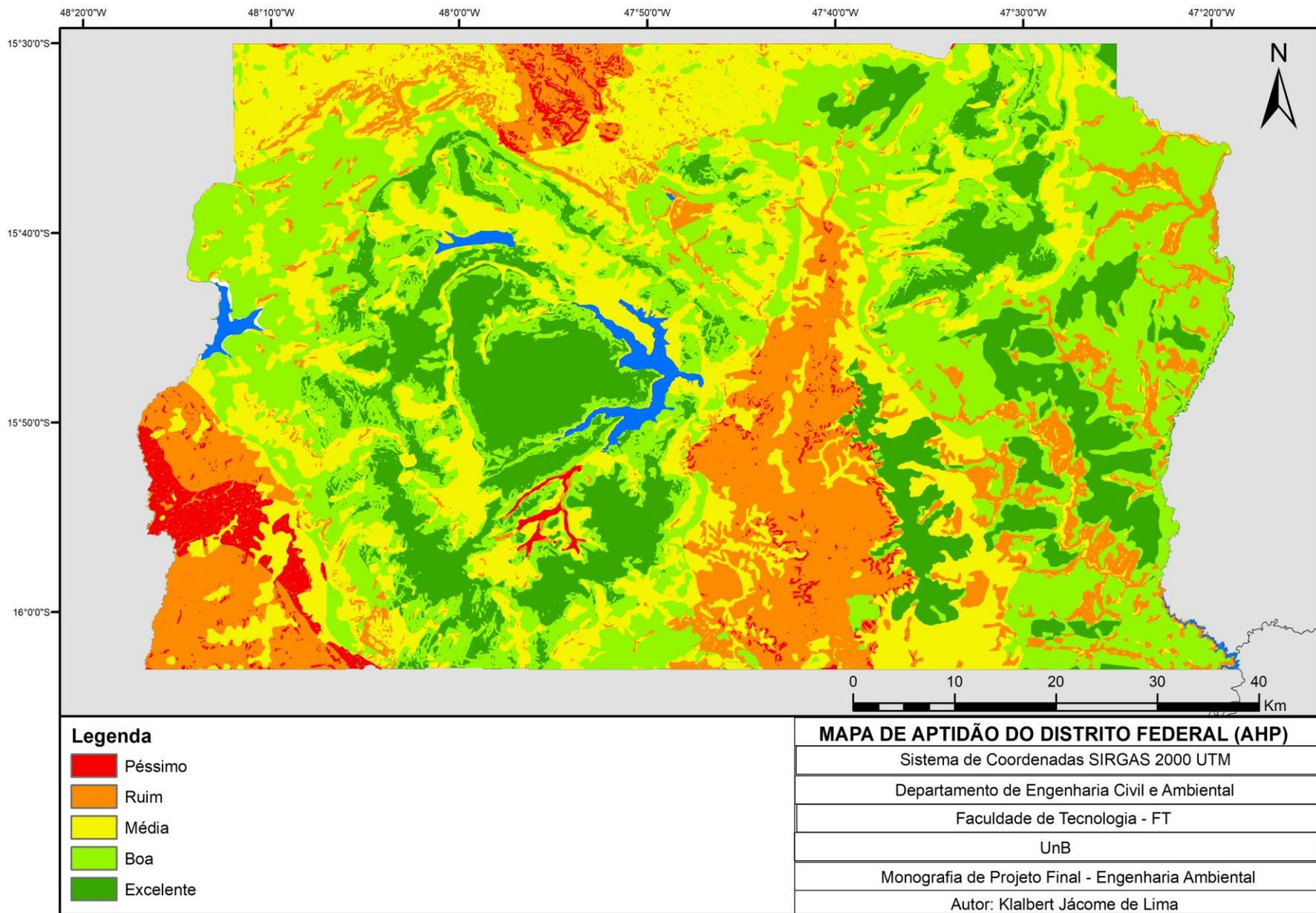


Figura 5.24 - Mapa de Aptidão para Implementação do Programa Produtor de Água com o método AHP.



A porcentagem territorial de cada faixa segue a seguinte distribuição: Péssimo, 2,69%, Ruim, 18,57%, Média, 27,91%, Boa, 33,06% e Excelente, 17,77%.

Destaque para as regiões leste e central do DF, pois concentram a maior parte das áreas favoráveis a aplicação do programa. Outro ponto a ser levado em conta é que as regiões que figuraram entre as piores regiões, em sua maioria, são regiões que apresentam declividades acentuadas.

Importante destacar que grande parte da região classificada com excelente se encontra na zona central do Distrito Federal, esta área é ocupada pela malha urbana de Brasília ou, até mesmo, pelo Parque Nacional de Brasília. Portanto, não são áreas favoráveis à implementação do Programa Produtor de Água.

Diante disso, é imprescindível citar que o trabalho visou analisar as regiões aptas à implementação do programa apenas considerando a sua capacidade a recarga aquífera. Sendo assim, a implementação do programa em seu escopo geral deve ser analisada de forma micro, pois o trabalho é um suporte à decisão na forma macro.

Com base nisso, para que seja feita a análise final mais fatores devem ser considerados tais como: fatores de impedimento relacionado ao uso da terra, ocorrência de áreas urbanas, áreas de proteção ambiental já estruturadas dentre outros aspectos.

Além disso, vale lembrar que o tópico 3.2.1.2 do trabalho sobre Ações Técnicas cita as atividades operadas pelo PPA. A presente metodologia foi baseada nas atividades relacionadas a manutenção de áreas de recarga hídrica e conservação de solos mediante construção de terraços em curva de nível, construção de barragens ou caixas de acúmulo e infiltração de água. Para se estabelecer áreas de aptidão para outras ações do Programa, como por exemplo, plantio de vegetação arbórea, deveria ser acrescentado diferentes layers, que pudesse agregar na decisão de seleção.

5.6.1 Análise Comparativa do Mapa Final com a Bacia do Pípiripau – DF

Cabe citar também que outra análise realizada foi a verificação dos Programas (PPA) presentes atualmente no Distrito Federal, diante disso, foi selecionada a Bacia do Pípiripau.

Em seguida, após a localização do programa, foi quantificada a área em cada faixa da classificação da presente metodologia na bacia do pípiripau, que pode ser verificada pela figura 5.25 e pela tabela 5.17.

Tabela 5.17- Análise da Metodologia na Bacia do Pípiripau – DF.

Classificação	Área (Km²)	%
Excelente	114,73	10,27%
Bom	349,05	31,24%
Média	195,54	17,50%
Ruim	457,58	40,96%
Péssimo	0,28	0,03%

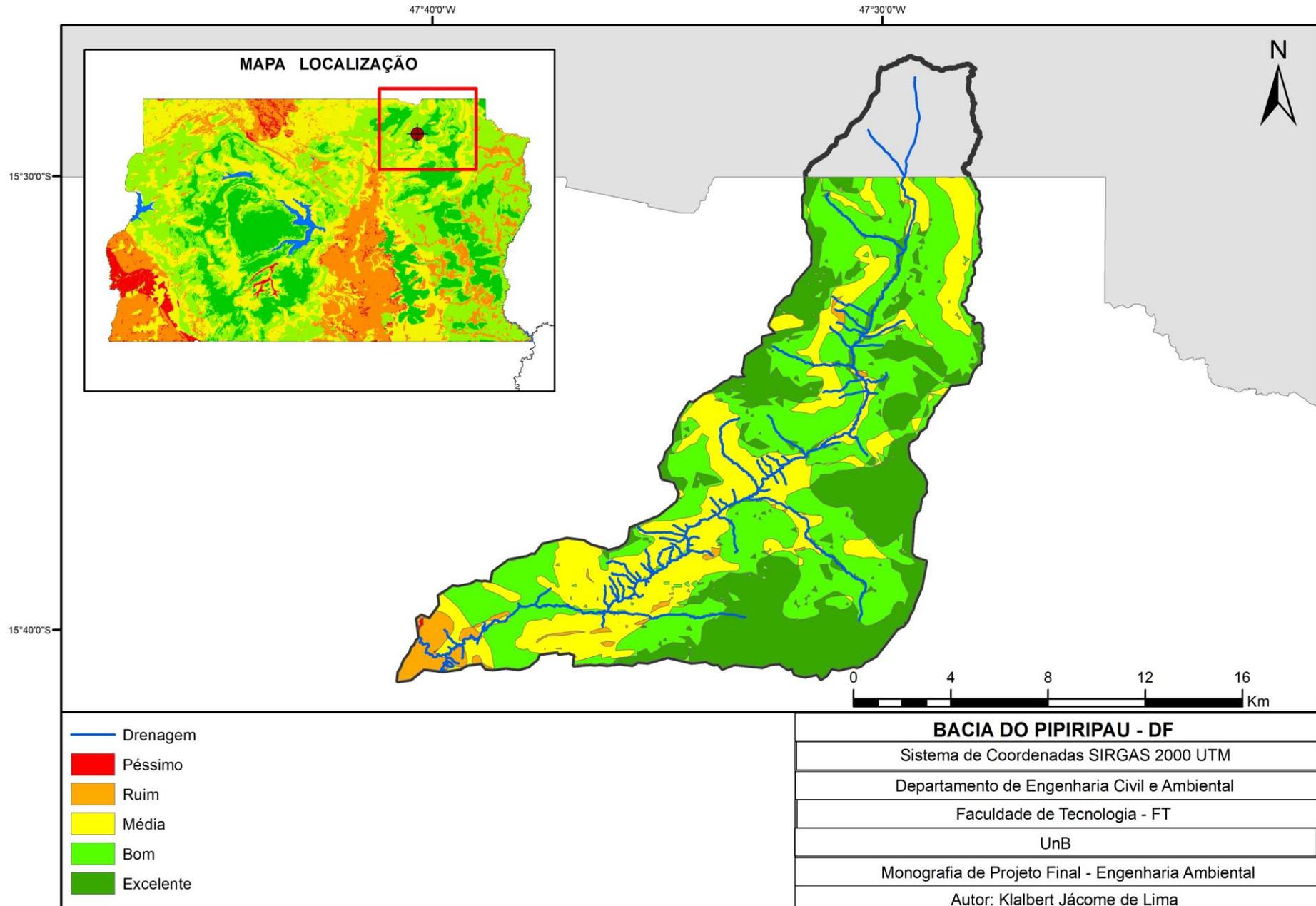
Observa-se que apesar da maior faixa ter sido classificada como “Ruim” pela metodologia, quando se considera toda a extensão, a maior parte da bacia está classificada nas faixas (Média, Bom e Excelente), portanto, mostra-se como um local interessante para a implementação do PPA.

Ressalta-se que os investimentos em ações técnicas não só do Programa Produtor de Água como de outras políticas públicas estão relacionados aos interesses estratégicos associados ao território. No que tange ao território do Distrito Federal, a Bacia do Ribeirão Pípiripau e a Bacia do Descoberto são as duas unidades que apresentam o maior interesse da gestão para a implantação do Programa Produtor de Água. Portanto, uma forma de se analisar de maneira mais pontual seria a seleção primeiramente das áreas estratégicas para então se aplicar a metodologia.

Outro ponto importante é que o PPA só pode ser implementado em bacias relacionadas a mananciais. Existem bacias importantes do DF, com a presença de corpos receptores, como a BH Sobradinho e BH Melchior, que apresentam na atualidade conflitos sociais em função da qualidade da água existente, além de problemas ambientais. Porém, não podem receber o Programa, e esse tipo de análise não foi considerado no resultado final do mapa.

O Programa Produtor de Água traz uma série de benefícios para a recuperação de bacias degradadas em vários aspectos ambientais, não apenas relacionados aos recursos hídricos. Porém, a proposta metodológica, e os resultados obtidos se relacionam, apenas, a análise do potencial de recarga aquífera. Dessa forma, o trabalho serve para compor o escopo de análises que a ANA dispõe para decidir quais áreas serão implementadas o Programa no Distrito Federal ou em outras regiões do Brasil. No entanto, a proposta tem o mérito de contribuir com os primeiros passos da decisão, a etapa inicial, fundamental para análise de áreas mais propícias, que deverá ser confrontada com questões locais ou regionais, incluindo as questões sociais, uso e ocupação do solo, áreas protegidas e outros fatores.

Figura 5.25 - Aplicação da Metodologia à Bacia do Pípiripau-DF.



6. CONCLUSÕES

A metodologia criada teve como objetivo central analisar a prospecção de áreas para implementação do Programa Produtor de Água (PPA) no Distrito Federal, visando a maximização do escoamento de base, a fim de gerar uma regularização do fluxo basal e, conseqüentemente, mitigar o problema da disponibilidade hídrica nos períodos de estiagem.

Vale frisar que a seleção dos temas utilizados para produção do mapa final, geologia, escoamento de base, declividade e hidrologia dos solos, se mostraram de grande valia, pois representam os aspectos físicos do objetivo final do trabalho.

A declividade se mostrou como um layer essencial, apesar de suas características serem refletidas nos demais temas, como pedologia e geologia.

Nesse mesmo viés, conclui-se que a pedologia é o primeiro fator que entra em contato com a água, possibilitando a sua infiltração e posteriormente a recarga dos aquíferos, portanto, a impermeabilização dessas regiões faz com que não ocorra nenhum tipo de infiltração, e esse é um dos maiores problemas da urbanização.

Com base nisso, observa-se que a parte central do DF se destaca positivamente como área favorável à implementação do programa produtor de água, mas se sabe empiricamente que aquela região em quase sua totalidade é urbanizada, ou seja, está em sua maior parte impermeabilizada.

O Programa Produtor de Água traz outras ações técnicas além daquelas que visam a infiltração da água, portanto, apesar da metodologia ter abarcado apenas critérios que se relacionam ao potencial de recarga aquífera, quando for estipulada áreas para implementação do Programa devem ser adicionados outros layers para que a decisão represente melhor o tipo de atuação do PPA naquela região.

Prosseguindo com a análise metodológica, outro fator determinante na confecção do mapa foi a utilização do *software* ArcGis, além da praticidade, foi capaz de gerar todos os resultados de forma precisa e rápida. Levando em consideração que o intuito do projeto é a sua replicação para todo o território brasileiro, a ferramenta se torna indispensável.

Destaca-se que o Distrito Federal é conhecido como “berço das águas do Brasil”, pois possui em seu território diversas nascentes que fluem para distintas regiões hidrográficas, fator no qual torna o DF uma região com baixa disponibilidade hídrica. Portanto, o trabalho é um instrumento essencial para colaborar para a gestão hídrica do Distrito Federal, se tornar

um apoio a decisão não só para o Programa Produtor de Água, mas também para outros tipos de políticas públicas.

A análise final da metodologia na Bacia do Pípiripau mostrou que a bacia é uma região apta no ponto de vista de recarga aquífera, portanto a continuação do programa na região é válida, além de ser um ponto estratégico na gestão ambiental do DF. O recorte das áreas estratégicas serviria para selecionar as áreas de forma mais coesa com a real seleção que ocorre no Programa, porém excluiria a possibilidade de uma implementação futura em outras regiões.

Além disso, outras bacias na capital federal, das quais não podem receber o Programa Produtor de Água, como a BH Sobradinho, por não apresentarem mananciais, apresentam problemas que necessitariam de ações para mitigar esses impactos presentes nela. Portanto, a avaliação dos critérios para aportar recursos relacionados ao Pagamento por Serviços Ambientais devem ser reavaliados de maneira que possa abranger uma maior extensão territorial.

Por fim, é imprescindível salientar que a metodologia visa auxiliar e evidenciar as regiões que tenham características que contribuam para a infiltração da água, porém as regiões consideradas ruins no trabalho não necessariamente devem ser excluídas do escopo de atuação dos órgãos, pois o Programa Produtor de Água apresenta um escopo com outros tipos de ações para proteção das bacias, não só ações de práticas conservacionistas com vistas a infiltração.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abordagem integrada do planejamento e do gerenciamento dos recursos terrestres.* In: CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1992, Rio de Janeiro. Agenda 21. cap. 10.
- ADASA; *Relatório de consulta técnica Diretrizes para o desenvolvimento de recarga artificial de aquíferos no distrito federal*, Brasília, CAP 3, 2015.
- ANA. *Manual Operativo do Programa Produtor de Água / Agência Nacional de Águas.* 2ª Edição. Brasília: ANA, 2012.
- ANA. *Panorama das Águas.* Brasília: ANA, Cap 1, 2016
- ARONNOFF, S. *Geographic information systems: a management perspective.* Ottawa: WDL Publications, 1989. 295p.
- ASSIS, F. *Plano de Controle de Erosão Municipal de Porto Ferreira.* PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO FERREIRA, 2017
- Barbosa & Mattos. 2008. *CONCEITOS E DIRETRIZES PARA RECARGA ARTIFICIAL DE AQUIFEROS.* XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, PAG 1-4.
- Burrough, P. A. e McDonnel, R. A. (1998). *Principles of Geographic Information Systems.* Oxford University Press, Oxford, E.U.A., 333p
- Câmara, G.; Davis, C. “*Introdução*”. In: Câmara, C., Davis, C. e Monteiro, A. M. V. (eds.) *Introdução à Ciência da Geoinformação.* Sagres, Curitiba, Brasil, 1-1 - 1-5, 2001.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C.; VIEIRA MONTEIRO, A. M. *INTRODUÇÃO À CIÊNCIA DA GEOINFORMAÇÃO.* São José dos Campos: Ministério da Ciência e Tecnologia - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001.
- CAMPOS, J. E. G. *Hidrogeologia do distrito federal: bases para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos.* Revista Brasileira de Geociências, v. 34, n. 1, p. 41 – 48, mar. 2004

- Casanova, M. A.; Câmara, G. e Davis, C. *Banco de Dados Geográficos*. Curitiba: EspaçoGEO, p.10-16, 2005.
- DIAMANTINO, 2005. *METODOLOGIAS DE RECARGA ARTIFICIAL DE AQUÍFEROS*. 7º SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA.
- EMATER. *Bacias de Captação de Enxurradas*. 1 Edição. Minas Gerais. 2005.
- EMBRAPA. *Mapa Pedológico Digital – SIG Atualizado do Distrito Federal Escala 1:100000 e uma Síntese do Texto Explicativo*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004.
- EMBRAPA. *Barraginhas para captação de enxurradas*. Centro Nacional de Pesquisas de Milho e Sorgo. 2007.
- EMBRAPA. *Circular Técnica: Práticas de Conservação de Solo e Água*. 1ª Edição. Campina Grande. 2012.
- ENGEL, S. e MULLER, A. *Payments for environmental services to promote “climate-smart agriculture”?* Potential and challenges. *Agricultural Economics*. United Kingdom. Vol. 47, Nº S1, p. 173-184, 2016.
- FARLEY, J.; CONSTANZA, R. *Payments for ecosystem services: from local to global*. *Ecological Economics*. Vol. 69, Nº 11, p. 2060-2068, 2010.
- FETTER, CW. *Applied Hydrogeology*. Macmillan. New York. 586p. 3 Edição. 1994
- HAMADA, E.; GONÇALVES, R. R. V. *Introdução ao Geoprocessamento: princípios básicos e aplicação*. Embrapa Meio Ambiente Jaguariúna, SP, 2007. dezembro, 2007.
- MACHADO E WADT. *Boas práticas agrícolas – Terraceamento*. Acre. Embrapa. 2017
- MÉSZÁROS, I. *Para além do capital: rumo a uma teoria da transição*. São Paulo: Boitempo, 2002.
- MORAIS, J. L. M.; FADUL. E.; CERQUEIRA. L. S.; *Limites e Desafios na Gestão de Recursos Hídricos por Comitês de Bacias Hidrográficas: Um Estudo nos Estados do*

- Nordeste do Brasil*. RAEd Porto Alegre, Vol. 24, Nº 1, p. 238-264, 2018.
- MOREIRA, F., Barbosa, C.; CÂMARA, G.; ALMEIDA-FILHO, R. *Inferência geográfica e suporte à decisão*. In: Câmara, C., Davis, C. e Monteiro, A. M. V. (eds.) *Introdução à Ciência da Geoinformação*. Sagres, Curitiba, Brasil, 9-1 – 9-49. 2001.
- MOURA, A.N. 2004. *Recarga artificial de aquíferos: os desafios e riscos para garantir o suprimento futuro de água subterrânea*. XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. São Paulo Brasil. PAG 4.
- NOVAES, R. C. *Cooperação e conflito nas águas da Bacia do Rio Paraíba do Sul: limites e possibilidades de Gestão Integrada no “Trecho Paulista”*. Tese Doutorado em Ciência Ambiental. Universidade de São Paulo, 2006.
- PINTO, I. *Introdução aos Sistemas de Informações Geográficas*. 2009
- PRUSKI, F. F. (Ed). *Conservação do solo e da água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica*, 2. Ed. Viçosa: Editora Universidade Federal de Viçosa, p 13-23 p 138-141, 2006
- RIBEIRO, S. C. et al. *Estimativa do abatimento de erosão aportado por um sistema agrossilvipastoril e sua contribuição econômica*. *Árvore*, Viçosa, Vol. 31, Nº 2, 2007.
- ROCHA, J. V. *ENGENHARIA ECOLÓGICA E AGRICULTURA SUSTENTÁVEL*. 1 Edição. São Paulo: UNICAMP, Cap. 20, 2003.
- ROSA, *Climatologia*. 1 Edição. Espírito Santo: UFEP, Cap. 14, 2002.
- ROSEIRO, C.M.S.D. *Recarga Artificial de Aquíferos: Aplicação ao Sistema Aquífero da Campina de Faro, Lisboa- Portugal*. PAG 13-23, 2009
- SANTOS, A. R. Et al. *Estudo do Escoamento Superficial na Bacia Hidrográfica do Rio Ivaí, Paraná, Brasil*. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.14, n.3, (Jul-Set) p.259-267, 2013.
- SANTOS, A. R.; LOUZADA, F. L. O; EUGENIO, F. C. (2010). *ArcGis 9.3 Total*:

- Aplicações para Dados Espaciais. Caufes, Alegre, Brasil, 185p
- SANTOS, R. M.; KOIDE, S. *Avaliação da Recarga de Águas Subterrâneas em Ambiente de Cerrado com Base em Modelagem Numérica do Fluxo em Meio Poroso Saturado*. RBRH [online]. Vol.21, N.2, pp.451-465., 2016.
- SARTORI ET AL. 2005. *Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação*. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 10 n.4, 05-18
- TUCCI, C. E. M. *Existe crise da Água no Brasil ?*. RHAMA, 2017.
- TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. de M. *Gestão da água no Brasil*. Brasília: Unesco, 156p, 2001.
- TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; NETTO, O. M. *Cenários da Gestão da Água no Brasil: Uma Contribuição para a “Visão Mundial da Água”*, RBRH, Vol. 5, Nº 3, p. 31-43, 2000.
- TUNDISI, J. G. *Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções*. USP Estudos Avançados 63 São Paulo, Vol. 22, Nº 63, p. 7-16, 2008.
- TECHINAL RELEASE 55 (TR-55). *Urban Hydrology of Small Watersheds*. USDA, NRCS, 1986.
- VEIGA, B. G. A. *Participação Social e Políticas Públicas de Gestão das Águas: Olhares Sobre as Experiências do Brasil, Portugal e França*. Tese Doutorado em Desenvolvimento Sustentável. Universidade de Brasília, 2007.
- YU, B.; CAKURS, U.; ROSE, C. W. An assessment of method for estimating runoff rates at the plot scale. Transactions of the ASAE, v. 41, n. 3, p. 653-661, 1998.