

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

Instituto de Ciências Humanas- ICH

Programa de Pós-Graduação em Geografia



Dissertação

**Diagnóstico físico-conservacionista multitemporal da bacia hidrográfica do
Arroio Chasqueiro, Arroio Grande (RS)**

Reginaldo Galski Bonczynski

Pelotas, 2024

Reginaldo Galski Bonczynski

**Diagnóstico físico-conservacionista multitemporal da bacia hidrográfica do
Arroio Chasqueiro, Arroio Grande (RS)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Instituto de Ciências Humanas da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia

Orientadora: Dra. Erika Collischonn
Coorientador: Dr. Alexandre Felipe Bruch

Pelotas, 2024

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação da Publicação

B699d Bonczynski, Reginaldo Galski

Diagnóstico Físico-Conservacionista multitemporal da bacia hidrográfica do Arroio Chasqueiro, Arroio Grande/RS [recurso eletrônico] / Reginaldo Galski Bonczynski ; Erika Collischonn, orientadora ; Alexandre Felipe Bruch, coorientador. — Pelotas, 2024.
150 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Pelotas, 2024.

1. Bacia Hidrográfica. 2. Arroio Chasqueiro. 3. Diagnóstico Físico-Conservacionista. I. Collischonn, Erika, orient. II. Bruch, Alexandre Felipe, coorient. III. Título.

CDD 551.483

Reginaldo Galski Bonczynski

Diagnóstico físico-conservacionista multitemporal da bacia hidrográfica do Arroio Chasqueiro, Arroio Grande (RS)

Dissertação aprovada, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Ciências Humanas - ICH, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 16 de abril de 2024

Banca examinadora:

Prof^a. Dr^a. Erika Collischonn (Orientadora)
Doutora em Geografia pela Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Alexandre Felipe Bruch (Coorientador)
Doutor em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof^a. Dr^a. Edvania Aparecida Correa Alves
Doutora em Geografia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Prof. Dr. Gilberto Loguercio Collares
Doutor em Ciência do Solo pela Universidade Federal de Santa Maria

Agradecimentos

Primeiramente a Deus pela benção da vida.

A minha esposa e meus filhos por estarem ao meu lado sempre, dando força, apoiando e incentivando.

Aos meus pais, pois sempre me apoiaram e incentivaram a estudar.

A minha orientadora Professora Erika Collischonn pela paciência e orientação.

A meu amigo e coorientador Prof. Alexandre Bruch, sua contribuição e incentivo foram essenciais para a conclusão deste trabalho.

Aos colegas e professores do Curso de Engenharia da UFPel pela amizade, apoio e incentivo sempre.

Aos professores e colegas do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFPel.

A Universidade Federal de Pelotas e a Agência de Desenvolvimento da Lagoa Mirim por viabilizar a execução de deste trabalho.

RESUMO

As bacias hidrográficas desempenham um papel crucial na regulação do ciclo da água, na manutenção da biodiversidade e na oferta de serviços ecossistêmicos essenciais, como o abastecimento de água potável, a irrigação agrícola e a geração de energia. No entanto, a pressão crescente das atividades humanas, como a agricultura intensiva e a supressão da vegetação nativa, tem levado a alterações significativas nessas unidades de estudo, resultando em processos de degradação ambiental. Com viés de diagnóstico e monitoramento ambiental, esta pesquisa teve como objetivo principal, elaborar o Diagnóstico Físico-Conservacionista (DFC) da Bacia Hidrográfica do Arroio Chasqueiro, no seu curso médio-alto, visto os problemas de assoreamento existentes na barragem do Chasqueiro. Para tanto, utilizando-se de técnicas de geoprocessamento, foram determinados os parâmetros: cobertura vegetal original, cobertura vegetal atual, potencial erosivo do solo, erosividade da chuva, declividade média do terreno, densidade de drenagens e balanço hídrico. Na determinação dos pesos de influência dos 7 parâmetros do DFC, foi utilizado o método multicritério *Analytic Hierarchy Process* (AHP), onde as dinâmicas de uso e ocupação da terra são as que apresentaram maior importância. Os resultados da pesquisa demonstram que a tipologia de uso do solo teve mudanças significativas entre o período de 1947 e 2020, partindo de um uso da terra voltado para a pecuária extensiva, seguido pela silvicultura e a agricultura com culturas anuais, principalmente da soja. Por fim, foram propostas 5 classes de conservação/degradação ambiental, a partir do fatiamento do DFC do ano de 2020, em que os melhores resultados referem-se às áreas com a recuperação da mata ciliar e os piores índices são encontrados nos locais com agricultura de culturas anuais em plantio convencional e em áreas com extração de materiais para a construção da barragem do Chasqueiro. Por fim, conclui-se que a metodologia do DFC aliada a análise multicritério possibilitou a identificação do grau de conservação/degradação da área de estudo, apontando os parâmetros que mais contribuem para o atual cenário ambiental.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica; Arroio Chasqueiro; Diagnóstico Físico-Conservacionista.

ABSTRACT

Watersheds play a crucial role in regulating the water cycle, maintaining biodiversity, and providing essential ecosystem services such as drinking water supply, agricultural irrigation, and power generation. However, the increasing pressure of human activities, such as intensive agriculture and the suppression of native vegetation, has led to significant changes in these study units, resulting in processes of environmental degradation. With a bias of diagnosis and environmental monitoring, this research had as its main objective, to elaborate the Physical-Conservationist Diagnosis (DFC) of the Chasqueiro Creek Hydrographic Basin, in its medium-high course, given the silting problems exist in the Chasqueiro dam. To this end, using geoprocessing techniques, the following parameters were determined: original vegetation cover, current vegetation cover, soil erosion potential, rainfall erosivity, average slope of the land, drainage density and water balance. In order to determine the influence weights of the 7 parameters of the DFC, the multicriteria Analytic Hierarchy Process (AHP) method was used, where the dynamics of land use and occupation are the most important. The results of the research show that the typology of land use had significant changes between the period of 1947 and 2020, starting from a land use focused on extensive cattle raising, followed by silviculture and agriculture with annual crops, mainly soybeans. Finally, 5 classes of conservation/environmental degradation were proposed, based on the slicing of the DFC of the year 2020, where the best results relate to the areas with the recovery of the riparian forest to the worst indices found in the places with agriculture of annual crops in conventional planting and areas with extraction of materials for the construction of the Chasqueiro dam. Finally, it is concluded that the DFC methodology combined with the multicriteria analysis made it possible to identify the degree of conservation/degradation of the study area, pointing out the parameters that most contribute to the current environmental scenario.

Key words: Hydrographic Basin; Chasqueiro Creek; Physical-Conservationist Diagnosis.

LISTA DE FIGURAS

01	Modelo de Geossistema para a descrição de paisagens e suas complexidades.....	22
02	Exemplo de lógica booleana para a mudança e uso e ocupação da terra	39
03	Método de Silverman (1986) para a geração da densidade de linhas	47
04	Aplicação da fórmula descritiva do DFC	50
05	Fluxograma do DFC da Bacia Hidrográfica do Arroio Chasqueiro ..	54
06	Mapa de Localização do médio-alto curso da bacia do Arroio Chasqueiro.....	55
07	Localização do Batólito de Pelotas no ESRG.....	56
08	Mapa geológico da área de estudo.....	57
09	Mapa hipsométrico da área de estudo.....	58
10	Mapa clinográfico da área de estudo.....	59
11	Mapa geomorfológico da área de estudo.....	60
12	A) Formas em Morros; B) Morrotes; C) Colinas; D) Planícies Fluviais; E) Planícies Alveolares	61
13	Mapa pedológico da área de estudo.....	62
14	Precipitação (mm) mensal para a Bacia Hidrográfica do Arroio Chasqueiro no período entre 2001 - 2019.....	64
15	Mapa de drenagens da BHAC.....	65
16	Ortomosaico utilizado para o mapeamento da cobertura vegetal original	66
17	Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 1947.....	68
18	Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 1985.....	69
19	Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 1995.....	71
20	Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2005.....	72
21	Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2015.....	74
22	Formação Campestre.....	75
23	Formação florestal.....	75
24	Polígonos de Silvicultura.....	76

25	Áreas de agricultura.....	76
26	Área urbanizada/solo exposto.....	77
27	Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2020.....	78
28	Gráfico percentual do uso e cobertura da terra entre os anos de 1947 e 2020.....	78
29	Mapa do Fator CO do ano de 1985.....	80
30	Mapa do Fator CO do ano de 1995.....	81
31	Mapa do Fator CO do ano de 2005.....	83
32	Mapa do Fator CO do ano de 2015.....	84
33	Mapa do Fator CO do ano de 2020.....	85
34	Áreas de silvicultura.....	86
35	Plantio convencional de soja.....	87
36	Ausência de mata ciliar nas margens das drenagens.....	87
37	a) Jazida de materiais utilizados na construção da barragem; b) Processos erosivos instalados as margens do reservatório.....	88
38	Mapa do Fator CA.....	89
39	Mapa de enquadramento do Fator <i>K</i>	92
40	Mapa do parâmetro DM da BHAC.....	93
41	Mapa da precipitação média mensal da área de estudo.....	95
42	Mapa da precipitação média anual da área de estudo.....	96
43	Mapa de Erosividade da Chuva.....	97
44	Mapa do enquadramento do Fator <i>R</i>	98
45	Mapa com a distância interfluvial máxima.....	99
46	Matriz de Densidade de Drenagens.....	100
47	Mapa de Densidade de Drenagens.....	101
48	Balanço Hídrico mensal em mm da BHAC - curso médio-alto.....	105
49	Mapa de enquadramento do Fator <i>BH</i>	106
50	Gráfico com os <i>outlayers</i> dos períodos analisados.....	108
51	Mapa de DFC para o ano de 1985.....	109
52	Distribuição dos índices do DFC para o ano de 1985.....	110
53	Mapa do DFC para o ano de 1995.....	111
54	Distribuição dos índices DFC para o ano de 1995.....	111

55	Mapa do DFC para o ano de 2005.....	112
56	Distribuição dos índices DFC para o ano de 2005.....	113
57	Mapa do DFC para o ano de 2015.....	114
58	Distribuição dos índices DFC para o ano de 2015.....	115
59	Mapa do DFC para o ano de 2020.....	116
60	Distribuição dos índices DFC para o ano de 2020.....	116
61	Segmentação de classes do DFC.....	117
62	Área em uso da terra como floresta na classe Muito Baixa.....	118
63	Mapa síntese do DFC da BHAC no seu curso médio-alto.....	119
64	Área campestre típica da classe Baixo de enquadramento DFC	120
65	Área de silvicultura com enquadramento de Médio DFC.....	121
66	Processos erosivos instalados na classe Alta de DFC.....	122
67	Canais de primeira ordem sem mata ciliar.....	122
68	Áreas com processos erosivos instalados.....	123

LISTA DE TABELAS

1	Quadro síntese dos diagnósticos do DIBH.....	29
2	Comparação entre metodologias de DFC.....	31
3	Parâmetros analisados na Fórmula descritiva	32
4	Quadro síntese dos dados utilizados nesta pesquisa.....	36
5	Crítérios de importância para matriz paritária.....	38
6	Matriz pareada comparativa de uso e cobertura da terra.....	39
7	Classificação do índice de proteção da vegetação atual.....	40
8	Fatiamento dos intervalos de classe do parâmetro K	41
9	Classes de relevo estabelecidas a partir das classes de Declividade.....	43
10	Fatiamento dos intervalos de classe do parâmetro R	44
11	Classificação dos valores de Densidade de Drenagem.....	46
12	Classificação qualitativa do balanço hídrico.....	49
13	Escala de valores AHP para a comparação pareada.....	51
14	Matriz pareada comparativa dos critérios de julgamento dos fatores DFC.....	52
15	Escala de valores de IR para a comparação pareada no método AHP.....	53
16	Uso e cobertura da terra mapeado para o ano de 1947.....	67
17	Uso e cobertura da terra para o ano de 1985.....	69
18	Uso e cobertura da terra para o ano de 1995.....	70
19	Uso e cobertura da terra para o ano de 2005.....	72
20	Uso e cobertura da terra para o ano de 2015.....	73
21	Uso e cobertura da terra para o ano de 2020.....	77
22	Áreas resultantes da matriz pareada 1947-1985.....	79
23	Áreas resultantes da matriz pareada 1947-1995.....	81
24	Áreas resultantes da matriz pareada 1947-2005.....	82
25	Áreas resultantes da matriz pareada 1947-2015.....	84
26	Áreas resultantes da matriz pareada 1947-2020.....	85
27	Uso e cobertura atual e as respectivas áreas por classe.....	88
28	Informações básicas dos solos da BHAC.....	90
29	Resultados da variável M	90

30	Resultados da variável R.....	90
31	Resultados da variável DMP.....	90
32	Resultados calculados para o parâmetro K.....	91
33	Resultados de enquadramento do parâmetro K.....	91
34	Parâmetro DM com suas respectivas áreas por classe.....	92
35	Densidade de drenagem com suas respectivas áreas por classe ..	101
36	Precipitação mensal entre os anos de 2001 e 2019.....	102
37	Dados de Evaporação em mm da estação agroclimatológica do Capão do Leão/RS	103
38	Dados de Evapotranspiração em mm da estação agroclimatológica do Capão do Leão/RS	104
39	Dados do Balanço Hídrico em mm da BHAC - curso médio-alto	105
40	Pesos dos fatores do DFC da BHAC/corso médio-alto	107
41	Áreas resultantes do nível de intervenção Físico-Conservacionista	119

Lista de Abreviaturas e Siglas

ALM – Agência de Desenvolvimento da Bacia da Lagoa Mirim
ANA – Agência Nacional de Águas
CAD - *Computer Aided Design*
Cfa – Clima Subtropical Úmido
CIDIAT - Centro Interamericano de Desenvolvimento de Águas e Terras
CLM - Comissão Mista para o Desenvolvimento da Bacia da Lagoa Mirim
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
DFC – Diagnóstico Físico-Conservacionista
DIBAC – Distrito de Irrigação da Bacia do Arroio Chasqueiro
DLM – Departamento da Lagoa Mirim
EVTE – Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica
EUPS - Equação Universal de Perda de Solos
FAO – Fundação das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura
MARNR - Ministério do Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
NGCIA - *National Center for Geographical Information and Analysis*
PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
QGis – Quantum Gis
SAGA - Sistema de Análise Geo-Ambiental
SIG – Sistema de Informações Geográficas
SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SPRING – Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission*
SUDESUL – Superintendência para o Desenvolvimento da Região Sul
TRMM - *Tropical Rainfall Measuring Mission*

SUMÁRIO

1	Introdução.....	14
2	Objetivos.....	16
2.1	Objetivo Geral.....	16
2.2	Objetivos Específicos.....	16
3	Justificativa.....	16
3.1	Construção da Barragem do Chasqueiro.....	18
4	Referencial teórico.....	20
4.1	Análise Sistêmica e o Geossistema.....	20
4.2	Bacia Hidrográfica como Unidade de Estudo.....	24
4.3	Diagnóstico Físico-Conservacionista.....	27
4.4	Geoprocessamento como Ferramenta para o DFC.....	32
5	Metodologia.....	36
5.1	Parâmetro Cobertura Vegetal Original (CO).....	37
5.2	Parâmetro Cobertura Vegetal Atual (CA).....	39
5.3	Parâmetro Potencial Erosivo do Solo (K).....	40
5.4	Parâmetro Declividade Média (DM).....	41
5.5	Parâmetro Erosividade da Chuva (R).....	43
5.6	Parâmetro Densidade de Drenagem (DD).....	45
5.7	Parâmetro Balanço Hídrico (BH).....	47
5.8	Fórmula Descritiva.....	49
5.9	Mapeamento Síntese do Diagnóstico Físico-Conservacionista	53
6	Caracterização da área de estudo.....	55
6.1	Localização	55
6.2	Geologia Regional e Local.....	56
6.3	Geomorfologia.....	58
6.4	Pedologia.....	61
6.5	Clima.....	63
6.6	Hidrografia.....	64
7	Resultados dos Parâmetros DFC.....	66
7.1	Parâmetro Cobertura Vegetal Original (CO).....	66
7.1.1	Uso e Cobertura da terra dos anos analisados.....	66
7.1.2	Matriz Pareada do Parâmetro Cobertura Vegetal Original (CO)	79
7.2	Parâmetro Cobertura Vegetal Atual (CA)	86
7.3	Parâmetro Potencial Erosivo Do Solo (K).....	89
7.4	Parâmetro Declividade Média (DM).....	92

7.5	Parâmetro Erosividade Da Chuva (<i>R</i>).....	94
7.6	Parâmetro Densidade De Drenagem (DD).....	98
7.7	Parâmetro Balanço Hídrico (BH).....	102
8	Diagnóstico Físico-Conservacionista (DFC)	107
8.1	Fórmula Descritiva	107
8.2	Diagnóstico Físico-Conservacionista Do Ano De 1985	109
8.3	Diagnóstico Físico-Conservacionista Do Ano De 1995	110
8.4	Diagnóstico Físico-Conservacionista Do Ano De 2005	112
8.5	Diagnóstico Físico-Conservacionista Do Ano De 2015	113
8.6	Diagnóstico Físico-Conservacionista Do Ano De 2020	115
8.7	Síntese e Diretrizes Do Diagnóstico Físico-Conservacionista Da Bacia Hidrográfica Do Arroio Chasqueiro/Curso Médio-Alto...	117
9	Considerações Finais	125
	Referências	127
	Anexos	141

1 Introdução

A demanda pela água é crescente na história, principalmente para o atendimento as necessidades de abastecimento público, geração de energia, aquicultura, atividades industriais, navegação, turismo, lazer e irrigação de lavouras. Atualmente, a agricultura demanda quase 50% da água doce utilizada no Brasil e com a difusão das técnicas de irrigação esse percentual só tende a crescer nos próximos anos (ANA, 2019).

Visto o uso intensivo de água na agricultura, inúmeras soluções de engenharia foram desenvolvidas, tanto para captação subterrânea como superficial. No caso da captação superficial, a que apresenta a maior segurança hídrica é o estabelecimento de reservatórios, as quais são estruturas físicas que represam determinado curso d'água, dentre um volume limite condicionado por um vertedouro (ANA, 2011).

Entretanto, a construção de reservatórios impacta o ambiente de diferentes formas, as quais devem ser mensuradas e analisadas antes da sua implementação e monitorados durante a sua operação. Segundo ANA (2009), os principais impactos durante a construção são a perda de biodiversidade, a desapropriação e remoção de habitantes. Já durante a operação do reservatório, os impactos principais estão relacionados ao aumento do volume evaporado, a mudança no regime de transporte de sedimentos e nutrientes para a jusante e o estabelecimento de processos erosivos acelerados nas margens (ANA, 2009).

Entendendo a importância dos reservatórios para o atendimento da crescente demanda de produção de alimentos, visto o crescimento populacional, os recursos naturais vêm sofrendo uma grande pressão, ocasionando o uso de técnicas ou de áreas inapropriadas para cultivo (CUNHA e GUERRA, 1996). Nesse cenário, processos erosivos se desencadeiam, por exemplo, nas áreas de maior declividade quando estas perdem a cobertura do solo, redução da fertilidade do solo, poluição química das águas, assoreamento de rios e reservatórios, com isso, gerando problemas ambientais e, conseqüentemente, também socioeconômicos. A degradação do solo, a fertilidade e a capacidade produtiva perdidas nestas áreas, acabam instigando a busca por novas áreas, gerando mais problemas ambientais (CUNHA e GUERRA, 1998).

O desenvolvimento das atividades humanas vem intensificando a ocorrência dos processos erosivos não apenas devido a obras de engenharia como os reservatórios de água, mas também através do uso inadequado do solo,

desmatamentos e a expansão urbana sem planejamento (OLIVEIRA *et al.*, 2014). Segundo Cunha e Guerra (1996), existe atualmente um uso da terra cada vez mais exacerbado, que estabelece e intensifica os processos erosivos de múltiplas naturezas, sendo assim, indispensável o diagnóstico e monitoramento dos mesmos.

Buscando compreender os fenômenos que levam à erosão dos solos, em determinado ambiente, a avaliação de alguns fatores se torna indispensável, como: clima, cobertura vegetal, tipo de solo e a topografia do terreno (OLIVEIRA *et al.*, 2014). Portanto, identificando as áreas críticas de perda de solo, podemos melhorar a prática de manejo do mesmo.

Visto a necessidade da análise conjunta de fatores para o entendimento da instalação de processos erosivos em reservatórios, a visão sistêmica é a base conceitual para a elucidação e manipulação de uma significativa quantidade de dados, assim para a integração em análise multicritério. Portanto, são necessários modelos que contemplem e contabilizem os fluxos de matéria e energia, contribuindo para o entendimento e diagnóstico de ambientes que apresentam suas alterações ambientais aceleradas atribuídas a fatores não isolados (CARVALHO, 2004).

Para tanto, neste trabalho propõe-se uma análise integrada do ambiente, onde o Diagnóstico Físico-Conservacionista (DFC), difundido no Brasil por Beltrame (1994), é a metodologia consagrada e já testada em áreas de estudo com características semelhantes (NEVES, 2012; LOURENÇO, 2013; BARBOSA, 2014; QUEIROZ, 2017; MORAIS, 2018; COSTA *et al.*, 2019). O DFC considera múltiplos fatores ambientais no entendimento de um fenômeno acelerado, avaliando o estado de degradação ambiental de uma bacia hidrográfica. Para tal, utiliza-se da avaliação quantitativa de elementos naturais, por meio de parâmetros potenciais que serão representados de forma numérica, resultando em matrizes com o grau de degradação ou conservação dos recursos naturais (CARVALHO, 2004; MORAIS, 2018; COSTA *et al.*, 2019).

Sendo assim, este trabalho realizou o DFC na bacia hidrográfica do Arroio Chasqueiro, no seu curso médio-alto, calcado na justificativa da existência de processos erosivos e regime de assoreamento acelerado superior ao projetado para a barragem de irrigação, conforme levantamentos batimétricos realizados por Bressan *et al.* (2019a e 2019b).

2 Objetivos

2.1 Objetivo Geral

O presente estudo tem como objetivo principal realizar o Diagnóstico-Físico Conservacionista multitemporal da bacia hidrográfica do Arroio Chasqueiro, no seu curso médio-alto, Arroio Grande/RS.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar os elementos que contribuem para a constituição e perda de solos na Bacia Hidrográfica do Arroio Chasqueiro-BHAC;
- Adaptar a metodologia de diagnóstico físico-conservacionista de Beltrame (1994) às características da bacia do Arroio Chasqueiro;
- Realizar a ponderação de pesos dos fatores do DFC com o auxílio de técnicas de geoprocessamento;
- Analisar as classes de uso e cobertura da terra nos anos de 1947, 1985, 1995, 2005, 2015 e 2020;
- Realizar o enquadramento em classes dos diferentes níveis de conservação e degradação ambiental.

3 Justificativa

A bacia hidrográfica do Arroio Chasqueiro recebeu investimentos da Comissão Mista da Lagoa Mirim - CLM, da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura – FAO e do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD, aplicados ao projeto piloto de construção de uma barragem de armazenamento de água para irrigação. O barramento ocorreu no curso médio-inferior do Arroio Chasqueiro, criando uma barragem artificial com aproximadamente 1.500 hectares e projetada para segurança hídrica de quase 10.000 hectares da cultura do arroz. Já no setor médio-alto da bacia, a montante da barragem, se concentram extensas áreas com plantio de culturas anuais, principalmente a soja, além de campos e pastagens para pecuária.

Os trabalhos técnicos desenvolvidos nos anos de 1970, para a construção da barragem do Chasqueiro, a qual ficou pronta e operante em 1983, muito se concentraram nas dinâmicas ambientais da área inundada e a jusante do barramento. Até poucos anos atrás, os monitoramentos ambientais também eram operacionalizados apenas nas áreas de impacto direto do distrito de irrigação,

monitoramento este realizado pela Agência de Desenvolvimento da Lagoa Mirim – ALM. Sendo assim, esta pesquisa vem corroborar com o monitoramento da qualidade ambiental da bacia de contribuição da barragem do Chasqueiro, buscando compreender as dinâmicas de uso e ocupação do solo atual e como elas alteram o ambiente.

Cabe destacar que o projeto de implantação de barragens contempla a previsão de aporte de sedimentos no reservatório, sendo destinada parte do volume total para volume morto. Sendo assim, o volume morto corresponde à parcela do volume total do reservatório inativa ou indisponível para fins de captação de água. Além disso, o volume morto é definido com base na vida útil projetada para o reservatório, considerando a cubagem abaixo da cota do vertedouro (BRESSAN *et al.*, 2019a)

Nesse sentido, Lopes e Santos (2002) afirmam que a estimativa do volume de sedimentos que chega a um reservatório é feita com base na taxa de aporte de sólidos anual e na eficiência de retenção do reservatório, ou seja, na porcentagem do fluxo de sedimentos que fica retida no mesmo. Os gráficos de projeção de aporte e sedimentos na barragem do Chasqueiro foram feitos a partir dos estudos de Brune (1953), com características de pequeno reservatório em pequena bacia, conforme a classificação atualizada por Straskraba e Tundisi (2000), com retenção quase que total dos sedimentos (SONDOTECNICA, 1976). Conforme Sondotecnica (1976), o nível de saturação do volume foi projetado para um período de 100 anos, baseado nas características físicas da bacia (tipo de solo, morfologia do terreno, etc.) e uso e ocupação do solo. Projeções semelhantes foram realizadas por Lopes e Santos (2002) para diferentes tipos e dimensões de reservatórios, utilizando-se dos parâmetros físicos da bacia e uso e ocupação do solo.

Visto a necessidade do acompanhamento da volumetria do reservatório da barragem do Chasqueiro, Bressan *et al.* (2019a e 2019b), realizaram três campanhas de levantamento topobatimétrico, cálculo volumétrico e a modelagem da dinâmica de deposição do reservatório. O volume total armazenado na entrega da obra, em 1983, foi calculado em 117 milhões de metros cúbicos e em 2019 foram determinados 102,46 metros cúbicos, ou seja, uma redução de 12,43% no volume de armazenamento total (BRESSAN *et al.*, 2019a). Essa redução foi prevista pela Sondotecnica (1976) para o período aproximado da vida útil da barragem (100 anos), sendo que os resultados são menos preocupantes porque a maior parte deste volume

de sedimentação está localizado nas cotas acima do nível do volume morto, ou seja, nas bordas do reservatório. Sendo assim, conforme Bressan *et al.* (2019a), mesmo com uma alta taxa de aporte de sedimentos, o volume morto ainda não foi saturado.

Com base nas informações de Sondotecnica (1976) e Bressan *et al.* (2019), fica evidente que a quantidade de sedimentos aportados na barragem do Chasqueiro é bastante superior ao projeto dentro do período analisado de 36 anos. A partir desses dados a hipótese tange a ocorrência de significativas mudanças no uso e ocupação do solo, pois conforme Lopes e Santos (2002), os parâmetros físicos da bacia tendem a serem os mais fixos dentro da escala de análise da vida útil de um reservatório.

3.1 Construção da Barragem do Chasqueiro

A bacia hidrográfica do Arroio Chasqueiro-BHAC apresenta uma inegável vocação agrícola, pois apresenta uma conformação geomorfológica em duas regiões distintas. O setor médio-alto da bacia está assentado sobre os terrenos ondulados da encosta do Planalto Sul Rio-Grandense e o setor médio-baixo, sobre os terrenos da Planície Costeira, as quais são favoráveis ao desenvolvimento da cultura do arroz irrigado.

Antes mesmo da construção do Distrito de irrigação do Arroio Chasqueiro – DIBAC, a cultura do arroz irrigado era amplamente difundida na região. No entanto, por mais que houvesse a detenção de tecnologias satisfatórias em termos nacionais, isso não era suficiente para a valorização do Distrito de Irrigação, nem tampouco se condicionava a materialização de esforços institucionais para capacitação do homem do campo, pois havia uma limitação ditada pelo sistema de captação de águas fluviais e lagunares, sendo realizada praticamente por “elevação diesel-mecânica” (ALM, 2023).

A partir da criação da Comissão Mista para o Desenvolvimento da Bacia da Lagoa Mirim (CLM), em 1963, pelos Governos do Brasil e Uruguai, a região passou a ser analisada a se constituir em objeto de ação programada do poder público para desenvolvimento de suas potencialidades. No ano de 1965, a região passou a ser considerada como “área-programa” para o desenvolvimento de projetos piloto, através da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) como órgão executante e a CLM como órgão governamental coexecutante. Fruto dessa conformação interinstitucional, ainda em 1965, foi iniciado o Plano de operações que

visava a realização de estudos para o uso integrado dos recursos naturais da bacia hidrográfica da Lagoa Mirim-São Gonçalo.

Como entidade de desenvolvimento e integração regional, em 1971, houve a criação do Departamento da Lagoa Mirim (DLM) incorporada à SUDESUL. Sendo assim, em 1972, o Projeto Chasqueiro surgiu como o primeiro perímetro de intervenção planejado do poder público na região. A SUDESUL foi uma autarquia federal vinculada ao Ministério do Interior, a qual viabilizou a licitação para a construção do DIBAC, contratando a Sondotécnica S.A., empresa nacional de consultoria, para a elaboração do projeto básico de engenharia das obras hidráulicas e complementares do Distrito (ALM, 2023).

Para a criação do DIBAC foram realizados estudos hidrológicos, pedológicos, geotécnicos, agrônômicos, entre outros, buscando a viabilidade de implementação do projeto, similar ao atual EVTE – Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica. Os estudos demonstraram que a ocupação das terras em relação a agropecuária era 20% orizicultura e 80% com pecuária. Porém a área total do projeto foi hidraulicamente parcelada em seções de 300 ha onde se previu 50% para a cultura de arroz e os outros 50% para pecuária. Contudo o tempo de permanência da lavoura é variado, oscilando de 2 a 5 anos, dependendo das práticas de cultivo e de criação adotadas. Os resultados do projeto básico demonstraram que era possível o cultivo de quase 7.100 hectares de arroz irrigado por gravidade anualmente, com a construção de apenas dois canais principais de aproximadamente 65 km (ALM, 2022).

O projeto do DIBAC foi dimensionado para o armazenamento de aproximadamente 117 milhões de metros cúbicos de água, com uma área alagada de 1.650 hectares no curso médio do Arroio Chasqueiro e inferior do Arroio Chasqueirinho. Para tanto, foi construído um barramento de solo-rocha com formato trapezoidal, com aproximadamente 1.200 metros de comprimento e altura máxima de aproximadamente 22 metros, com uma tomada de água e um vertedouro tipo tulipa.

4 Referencial teórico

4.1 Análise Sistêmica e o Geossistema

Os estudos calcados na análise de ambientes pressupõem suas bases numa avaliação integrada de diversos elementos, possibilitando a delimitação de paisagens ou compartimentos ambientais, partindo-se da concepção sistêmica (VERDUM *et al.*, 2004). A introdução da concepção sistêmica na geografia física permitiu uma maior clareza em seu objeto de estudo, assim como uma visão holística do meio natural, aproximando as pesquisas das interações homem-meio. Para estes autores, a geografia física encontra na concepção sistêmica o método mais adequado para estudar e explicar a estrutura dinâmica dos fatos sócio naturais (MAGALHÃES *et al.*, 2010).

A concepção sistêmica decorre da Teoria Geral dos Sistemas, com suas fundamentações originadas nas ciências biológicas, onde o organismo vivo é representado pela sua interação mútua e dinâmica, com o comportamento descrito por leis gerais do sistema orgânico (BERTALANFFY, 1975).

Visto a ampla possibilidade de uso dos conceitos Sistêmicos na análise de ambientes, outras ciências incorporaram nas suas fundamentações a Teoria Geral dos Sistemas. Cabe destacar que o biólogo Ludwig Von Bertalanffy (1975) foi o primeiro a apresentar a Teoria Geral dos Sistemas de forma sistematizada, com objetivo de superar a dicotomia mecanicista no estudo da biologia. Bertalanffy (1975) propôs uma nova concepção de biologia “organísmica”, visando compreender os níveis mais elevados da organização da matéria viva. Entre os primeiros preceitos de Bertalanffy, tem-se a [...] “organização do conhecimento e a resolução de problemas com muitas variáveis, pois considerava que o mundo é heterogêneo e irreduzível para as esferas da realidade” (LASTOCHKIN, 2010, p. 25)

A fundamentação sistematizada da Teoria Geral dos Sistemas foi embasada em trabalhos de Lotka (1925), sendo que Bertalanffy (1975, p.29) afirma que,

“O autor desse livro, na década de 1920, ficou intrigado com as evidentes lacunas existentes na pesquisa e na teoria da biologia. O enfoque mecanicista então prevalece e parecia desprezar ou negar de todo exatamente aquilo que é essencial no fenômeno da vida. O autor advogava uma concepção organísmica na biologia, que atenuasse a consideração do organismo com totalidade ou sistema e visse o principal objetivo das ciências biológicas, na descoberta de princípios da organização em seus vários níveis.

Segundo Christofletti (1979), outro trabalho que fundamentou a Teoria Geral dos Sistemas foi a publicação de R. Defay em 1929, sendo aplicada inicialmente na

termodinâmica e na biologia, onde já era entendido que os conjuntos de elementos com relação entre si, sendo regidos por certa organização, com a finalidade de atingir um determinado objetivo ou finalidade. Visão semelhante foi apresentada por Alexander A. Bogdanov (1920), com o conceito de “todos integrados”. Mesmo pouco difundido no ocidente e sem citações formais de Bertalanffy, mas com reconhecimentos de outros pesquisadores da época como relatado por Anuchin (1960).

Baseado nas múltiplas ciências que podem se apoiar na Teoria Geral dos Sistemas, segundo Bertalanffy (1975), as principais utilidades tangem formulação de princípios válidos para os “sistemas” em geral, seja qual for a natureza de sua formação e as relações existentes entre eles. O autor reafirma em seu trabalho, que “todo organismo vivo é essencialmente um sistema aberto” (p. 61), sendo mantido por um fluxo de entrada e saída de elementos essenciais a sua manutenção como ser vivo.

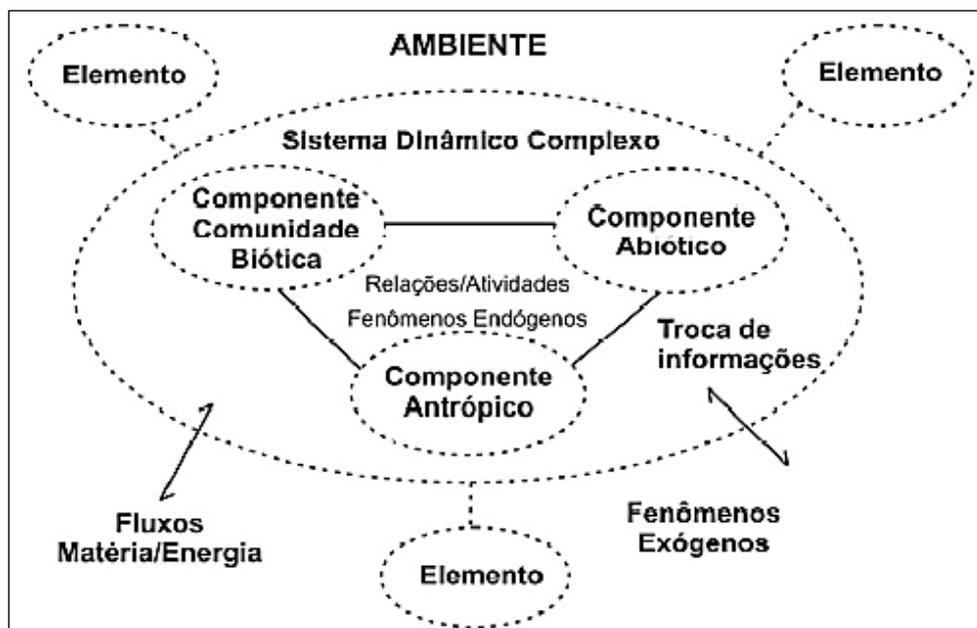
Quando os estudos se concentram nos sistemas terrestres e se distanciando de fatores econômicos, por exemplo, a partir da Teoria Geral dos Sistemas, Chorley e Kennedy (1971), Demek (1974), Sotchava (1977) entre outros, propuseram o conceito de “Sistemas da Terra”, quando se referem a apenas uma categoria de análise, ou seja, um fator a ser denominado “Geossistema”. Decompondo a palavra Geossistema, a primeira parte indica a territorialidade ou espacialidade e a segunda remete a eventos em sequência. Sendo assim, a sua tipologia pode ser associada ao seu significado (LASTOCHKIN, 2010).

A utilização da visão sistêmica na Geografia, em especial na Geografia Física, remonta aos anos de 1950, em estudos climatológicos e hidrológicos (CLAUDINO-SALES, 2004). No mesmo período, surgem na Geomorfologia, estudos apoiados na teoria sistêmica, a partir de trabalhos de Strahler nos anos de 1950, enfatizando as significativas diferenças entre sistemas abertos e fechados. Novamente são baseados em estudos desenvolvidos por Bertalanffy na mesma década, sendo que a sistematização e o esclarecimento na necessidade da abordagem sistêmica na Geomorfologia são dados por R. J. Chorley em 1962 (CHRISTOFOLETTI, 1979). Lastochkin (2010, p. 56), reforça o uso da visão sistêmica na geomorfologia, em especial no estudo de bacias hidrográficas, com constante fluxo de matéria e energia, sendo um [...] “local organizado de certa maneira, com integridade funcional, onde

suas fronteiras coincidem com as fronteiras de fluxos, áreas de remoção e transferência de material”.

No que tange a troca de matéria e energia, Demek (1978) afirma que Sotchava (1977) foi o primeiro a utilizar o conceito de Geossistema para descrever paisagens e suas complexidades, contendo todos os seus componentes e subsistemas (Figura 1). Suas considerações constituíram as primeiras reflexões a respeito desta teoria, que no contexto da geografia física, passava a significar uma reformulação da concepção prática. De acordo com Monteiro (2000), no pensamento de Sotchava (1977) fica claro o papel dos Geossistemas na melhoria da investigação em geografia física e como o conceito integrador da análise dos sistemas natural e antrópico.

Figura 1 - Modelo de Geossistema para a descrição de paisagens e suas complexidades.



Fonte: Adaptado de Carvalho (2011) e Bruch (2014).

No contexto da análise de sistemas naturais e antrópicos, cabe à apresentação dos conceitos de Biostasia e Resistasia, cunhados por Erhart (1956 e 1966). O autor entende que a evolução geológica e geoquímica da Biosfera é refletida na cobertura vegetal, onde ocorrem períodos com os meios estáveis, ambientes em Biostasia, e com meios instáveis, ambientes em Resistasia.

A Biostasia é exemplificada por períodos próximos ao equilíbrio da produção da vida, ou desenvolvimento máximo do meio (ERHART, 1966). O autor descreve um ambiente em Biostasia como aquele que possui uma floresta densa, com ausência de

um relevo suficientemente elevado, onde os materiais básicos de formação do solo se acumulam em processos pedogenéticos estáveis, visto a ausência de movimentações tectônicas ou vulcânicas.

Já os ambientes em meios instáveis são denominados de Resistasia, onde pode existir uma ruptura do equilíbrio climático e biológico, ocorrendo até o desaparecimento da cobertura florestal e/ou esta não protege suficientemente o solo contra a erosão. As consequências desses processos são muito variáveis e diretamente dependentes da natureza dos solos, os quais são formados sob as diferentes vegetações (ERHART, 1966).

Entendendo os diferentes ambientes e estágios evolutivos dos mesmos (instáveis ou estáveis) e fundamentando-se na Teoria Sistêmica, Rodrigues *et al.* (2011) afirmam que a análise de bacias hidrográficas no cerne da geografia física, deve ser sustentada pela concepção sistêmica de sustentabilidade, complexidade e multivariável, possibilitando a consideração e compreensão das relações do arranjo espaço-temporal do papel dos recursos hídricos como um recurso indispensável para o funcionamento da biosfera, mas surgida e limitada dentro da complexidade do espaço geográfico.

Portanto, considera-se a bacia hidrográfica como célula básica de análise ambiental subsidiada pela visão sistêmica e integradora do ambiente, em que os estudos dos processos de degradação ambiental associados às influências das ações antrópicas, manifestam-se sob o equilíbrio ambiental e hidrológico, verificando assim não apenas as características físicas, mas também permitindo que o problema seja visto de maneira integrada (CARVALHO, 2004). Christofolletti (1999) e Ross (2009) ressaltam os estudos integrados com viés sistêmico, ancoram na bacia hidrográfica a dinâmica de um determinado território e o entendimento do funcionamento do ambiente natural com ou sem as intervenções humanas.

Por fim, Botelho e Silva (2007), reconhecem a bacia hidrográfica como unidade espacial de forma integrada, ou seja, sistêmica, desde o final da década de 60, sendo entendida como célula básica de análise ambiental que permite o conhecimento e a avaliação de seus diversos componentes, processos e interações que nela acontecem. Deve-se destacar que a visão sistêmica e integrada do ambiente está implicitamente inserida nesta unidade, justificando não só a necessidade do trabalho aqui proposto, como o de sua operacionalidade, como finalidade de método e análise integradora.

4.2 Bacia Hidrográfica como Unidade de Estudo

A escolha da área de estudo, assim como a delimitação da área de influência, é uma etapa primordial para a determinação dos objetivos de uma pesquisa científica, principalmente nas ciências onde as dinâmicas ambientais são o cerne do estudo (SOARES *et al.*, 2020). Em pesquisas que partem de uma hipótese de análise a partir de mudanças ambientais causadas por empreendimentos de barramento em recursos hídricos, a análise integrada da bacia hidrográfica, dentro de seus limites de drenagem, torna-se a delimitação espacial regulamentada, como pode ser observado na resolução CONAMA nº 302/2002. Sendo assim, optou-se neste estudo pela bacia hidrográfica como unidade de trabalho, pois esta encerra uma série de características que traduzem muitos dos aspectos do ambiente em dinâmica constante.

Várias pesquisas enfatizam a utilização da bacia hidrográfica como unidade de estudo, sendo que Christofolletti (1980), credita o uso com um caráter mais objetivo a partir de 1945, com a publicação de Robert H. Horton, que procurou estabelecer leis de desenvolvimento dos rios e suas bacias, com precedência na abordagem quantitativa de bacias de drenagem, através de nova concepção metodológica que originou várias pesquisas e seguidores. Também destaca o trabalho do professor Arthur N. Strahler e seus colaboradores na Universidade de Colúmbia, sugerindo índices e parâmetros para o estudo analítico de bacias hidrográficas.

Levantamento e revisão conceitual realizada por Machado e Torres (2012), indicam estudos, onde a bacia hidrográfica é utilizada como unidade espacial, desde a década de 1960. Entre os trabalhos que tem a bacia hidrográfica como unidade geomórfica fundamental, os autores citam os de Chorley (1962 e 1969), as contribuições de Horton (1945), Strahler (1952) e Bormann e Likens (1967). Trata-se dos pioneiros em considerar bacia hidrográfica como unidade ecossistêmica básica (MACHADO e TORRES, 2012).

Segundo o trabalho de Ross e Prette (1998, p.101),

“A bacia hidrográfica, embora se constitua em um sistema natural cujo referencial é a água, não se torna automaticamente um único sistema ambiental, seja do ponto de vista natural, quando se levam em conta os demais componentes da natureza, como relevo, solos, subsolo, flora e fauna, seja do ponto de vista social, quando se consideram as atividades econômicas e político- administrativas.

Vistas as inter-relações entre os vários fatores numa bacia hidrográfica, Ab'Saber (1976), *apud* Schiel *et al.* (2003), destacam que está unidade de estudo, permite uma análise ecogeofisiográfica sistêmica e integrada porque existe uma clara

delimitação e à interdependência de processos climatológicos, geológicos e ecológicos, com a possível atuação de atividades e sistemas econômicos, sociais e biogeofísicos interagindo constantemente.

Concordando sob esse ponto de vista, Cunha e Guerra (1996), salientam que a bacia hidrográfica fomenta estudos que congregam a análise do comportamento das condições naturais e das atividades humanas nelas desenvolvidas. Isso porque, mudanças significativas em qualquer dessas unidades, podem gerar alterações, efeitos e/ou impactos a jusante nos fluxos energéticos de saída (descarga, cargas, sólidas e dissolvidas), e seus estudos podem facilitar o entendimento das relações e imposições existentes no interior deste conjunto.

Entendendo a bacia hidrográfica como unidade sistêmica, seus limites se definem pela porção da superfície terrestre, cujo sua área de drenagem está a montante de uma determinada seção no curso de água da qual aquela área é tributária. Topograficamente é delimitada pelos divisores de águas, sendo assim, individualizada das demais pelas maiores cotas no terreno em linhas contínuas (LIMA e NERY, 2017). Corroborando o entendimento de bacia hidrográfica a descrição apresenta por Rocha (1991, p. 6), onde entende como uma “...área que drena as águas das chuvas por ravinas, canais e tributários, para um curso principal, com vazão efluente convergindo para uma única saída e desaguando diretamente no mar ou em um grande lago”. Da mesma forma, Botelho (1999, p.269) que descreve a bacia hidrográfica ou bacia de drenagem como,

“... área da superfície terrestre drenada por um rio principal e seus tributários, sendo limitada pelos divisores de água. A bacia hidrográfica é uma célula natural que pode, a partir da definição do seu *outlet* ou ponto de saída, ser delimitada sobre uma base cartográfica que contenha cotas altimétricas...”.

Sendo assim, a bacia hidrográfica é entendida como unidade de estudo a qual apresenta em seus divisores de águas, os referenciais limitadores entre unidades e o canal principal como o receptor principal das dinâmicas superficiais, em função da gravidade (BOGALE, 2021). Cabe destacar nessa linha conceitual a inobservância escalar das dimensões da área de estudo, pois tanto as referências que preferem uma linha de planejamento como à de unidade fisiográfica, ambas não especificam as dimensões de uma bacia (HIDALGO, 1987).

Portanto, com o intuito de facilitar a delimitação e a quantificação de fatores, Hidalgo (1987), Hansen (2001) e Bogale (2021), entendem a bacia hidrográfica como

unidade adimensional na análise de fatores quantitativos, ou seja, pode ser analisada em diversas escalas em fatores como amplitude topográfica, declividade, grau de entalhamento dos vales, entre outros, aprofundando as análises em função dos dados topográficos disponíveis. Nesse sentido, aqui não se apresenta a divisão de unidades intermediárias na escala de análise, como por exemplo, a hierarquia entre bacias, sub-bacias ou microbacias.

Já no que tange a análise ambiental, o estudo da bacia hidrográfica deve compreender a abordagem tanto dos aspectos naturais e os sociais ao entorno das drenagens, para que se realize uma análise sistêmica (BOTELHO, 2011). O máximo de elementos deve ser considerado na integração sistêmica, visto que desconsiderar algum dado pode significar o descarte de um elemento chave na análise, a qual pode ser responsável por parte significativa do desequilíbrio (VILAÇA *et al*, 2009).

Apoiando-se na visão sistêmica para a análise ambiental, além das perdas contínuas de solos, por exemplo, as ocorrências de eventos de grande magnitude na bacia hidrográfica, tanto de origem antrópica ou natural, interferem na dinâmica desse sistema, na quantidade dos cursos de água e em sua qualidade (BOGALE, 2021). Para tanto, a correta identificação e mensuração das variáveis preponderantes, permite interpretar, pelo menos parcialmente, a soma dos eventos. Essa é uma das peculiaridades que induz a escolha da bacia hidrográfica como unidade de gestão.

Por fim, cabe destacar as afirmações de Tucci (2005), onde considera a bacia hidrográfica como unidade de análise ambiental, principalmente de problemas de dinâmica hidrossedimentológica (variações abruptas nas taxas de transporte e sedimentação), visto que suas características de conjugação de fluxos superficiais conduzem a um denominador comum, o canal ou receptor fluvial principal. Sendo assim, para o autor supracitado na análise de corpos hídricos com elevada relevância ambiental e social, como é o caso de drenagens ou reservatórios que fornecem águas para o abastecimento público ou irrigação, por exemplo, estas devem receber uma atenção especial e monitoramento contínua, buscando um uso sustentável.

Por fim, observando-se o estado da arte sobre bacias hidrográficas, trabalhos recentes como de Pinto *et al.* (2015), Nascimento (2016), Queiroz (2016), Vilela (2016), Silva e Monteiro (2017), Borges (2018), Marchesan *et al.* (2019), Queiroz e Dornfeld (2019), relacionam a bacia hidrográfica como ferramenta de ensino, principalmente da educação ambiental. Isso porque, o aluno nos seus diversos níveis de aprendizagem, está inserido em uma bacia hidrográfica, assim como a escola,

sendo influenciado e influenciando nas dinâmicas deste ambiente, sendo possível conscientizar o mesmo dos problemas ambientais decorrentes da interação do homem-meio.

Outra importante linha de pesquisa que se utiliza da bacia hidrográfica como objeto é a de gestão, manejo e planejamento de bacias hidrográficas, como os de Finkler (2016), Georgette (2018), Oliveira (2018), Nascimento *et al.* (2021), Nascimento *et al.* (2023). Estes trabalhos se concentram na resolução de conflitos, principalmente com o viés de usos múltiplos da água, a água como objeto integrador e o planejamento sustentável dos usos atuais e futuros.

Contudo, num olhar de diagnóstico de Impacto Ambiental, os trabalhos de Lopes e Coutinho (2019), Junior (2021), Lousada (2023) e Medeiros (2023) apresentam o panorama atualizado das principais metodologias aplicadas ao monitoramento e quantificação de impactos ambientais, vinculando o estudo do relevo com a unidade de estudo delimitado pela bacia hidrográfica. Portanto, a Bacia hidrográfica ainda é utilizada como unidade de estudo, nos mais diversos temas ambientais, sociais e econômicos, por ser um conceito integrador, dinâmico e constantemente atualizado (SOARES *et al.*, 2020)

4.3 Diagnóstico Físico-Conservacionista

As ciências de cunho ambiental têm se dedicado, principalmente, aos estudos de identificação das potencialidades de uso ou conservação, suas vulnerabilidades e seu desempenho temporal (PAZ, 2013). Nesse sentido, Brady e Weil (2009), afirmam que a maior parte dos estudos ambientais se concentram na avaliação da degradação ambiental da vegetação, do solo e da água.

Conforme Guerra e Marçal (2014), a degradação do solo é um dos efeitos mais danosos das atividades humanas sobre determinada porção do relevo. Geralmente esta degradação é causada pelo manejo inadequado das terras, agravando a suscetibilidade natural dos solos à erosão, contribuindo assim para o aumento do desenvolvimento de processos erosivos (CUNHA e GUERRA, 1996; GUERRA e JORGE, 2014).

Inúmeras metodologias poderiam ser citadas para contemplar estudos ambientais de diagnósticos de degradação ambiental, sendo que Beltrame (1994) propôs o Diagnóstico Físico-Conservacionista (DFC). A proposta de Beltrame (1994), em sua hipótese de estudo, contempla uma análise partindo da geografia física

integradora, onde a paisagem/ambiente é o objeto cerne do estudo. Destaca-se que o DFC se aproxima da geografia física integradora, onde o Geossistema é o tecido de base para o entendimento das dinâmicas do ambiente, aproximando-se das iniciativas de Tricart (1982) para articular solo, relevo, vegetação e clima.

Sendo assim, estudo pioneiro no Brasil, realizado por Beltrame (1990) na bacia do Rio do Cedro, no município de Brusque/RS, fundamentou o estabelecimento da metodologia consolidada pela mesma autora em 1994. A proposta de Beltrame (1990) foi adaptada dos estudos realizados pelo Centro Interamericano de Desenvolvimento de Águas e Terras (CIDIAT) e pelo Ministério do Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (MARNR), ambos da Venezuela e publicados em 1978 (SEGOVIA e PALMA, 1987).

Cabe destacar que na proposta original do CIDIAT, o entendimento é de um Diagnóstico Integral da Bacia Hidrográfica (DIBH), integralizando análises além do DFC, como o diagnóstico do meio socioeconômico, por exemplo. Segundo Ferreti (2003), o DIBH tem como objetivo uma visão mais ampla que o DFC sobre uma bacia hidrográfica, relacionando o estado de degradação ou conservação de uma bacia com os agentes sociais e ambientais diversos, com elevado grau discricionário entre os elementos, compondo sete diagnósticos como seguem: a) Diagnóstico Físico-Conservacionista (DFC); b) Diagnóstico Socioeconômico (DSE); c) Diagnóstico Recurso Solo (DS); d) Diagnóstico do Recurso Água (DA); e) Diagnóstico Recurso Vegetação (DV); f) Diagnóstico do Recurso Fauna (DF); e Diagnóstico da Contaminação Ambiental (DCA).

Buscando elucidar possíveis conflitos entre usabilidades de produtos do DIBH, Ferreti (2003) elaborou a tabela de diagnóstico de objetos no estudo de uma bacia hidrográfica, pois vários dos diagnósticos citados anteriormente se inter-relacionam. A tabela 1 apresenta o quadro síntese dos objetivos desses produtos.

Tabela 1 - Quadro síntese dos diagnósticos do DIBH

Diagnóstico	Objetivo
Diagnóstico Físico-Conservacionista-DFC	Determinar o potencial de degradação de uma bacia a partir de fatores naturais.
Diagnóstico Sócio-Econômico-DSE	Fornecer os fatores de degradação e poluição ambiental causada pelo homem. Envolve os produtores com amostragem usando questionários e entrevistas, tabulações, análises críticas, recomendações e conclusões e abrange também as sedes municipais da bacia.
Diagnóstico Recurso Solo-DRS	Classifica e interpreta as formas e os tipos de uso dos solos e os conflitos desses usos.
Diagnóstico Recurso Água-DRA	Visa avaliar quantitativamente as disponibilidades hídricas para demanda atual e futura em seus diferentes usos. Verifica as disponibilidades superficiais e subterrâneas e fornece informações referentes às demandas, enchentes e infraestrutura hidráulica.
Diagnóstico Recurso Vegetação-DRV	Cria um banco de dados com a vegetação da área especificando uso predominante de cada espécie, uso social (alimentação, medicamentos, construção civil, etc), espécies econômicas (matéria-prima para uso industrial), espécies energéticas, espécies conservacionistas e espécies ecológicas (pré-requisitos para sobrevivência de outras espécies).
Diagnóstico Recurso Fauna - DRF	O objetivo é fazer um registro da fauna da bacia.
Diagnóstico da Contaminação Ambiental - DCA	Identifica as situações de poluição existentes na bacia: poluição hídrica, poluição atmosférica, poluição sonora e por resíduos sólidos.

Fonte: Adaptado de Ferreti (2003).

O DFC proposto por Beltrame (1994) procura diagnosticar a real situação da bacia, avaliando principalmente o potencial de degradação dos recursos hídricos, vegetação e solo. Segundo Carvalho (2004), o DFC é uma metodologia de análise integrada do estado de degradação ambiental de uma bacia hidrográfica, utilizando-se para tal a avaliação quantitativa de elementos naturais, por meio de parâmetros potenciais que serão representados de forma numérica, resultando em matrizes com o grau de degradação ou conservação dos recursos naturais. De modo complementar, Ferreti (2003, p. 19) afirma que “O DFC é um diagnóstico preliminar necessário para embasar os demais. Mesmo genérico, é abrangente e prático por obter valores objetivos que avaliem o estado físico-conservacionista de uma bacia hidrográfica”. Perante as conceituações descritas, entende-se o DFC como metodologia que gera indicadores do estado de degradação de uma bacia hidrográfica, com representações quantitativas e focando em áreas críticas para o planejamento ambiental.

Inúmeros estudos acadêmicos foram realizados no Brasil utilizando o DFC proposto por Beltrame (1990), sendo que podemos citar o de Ferretti (1998) na bacia

do rio Marreca – PR; Ferretti (2003) na bacia do rio Tagaçaba/PR; Carvalho (2004), na bacia do rio Quebra – Perna, Ponta Grossa/PR; Farias (2006) na BH da Barragem Vaca Brava – Areia/PB; Cronemberger (2009) na bacia do rio Santana, Cachoeira/MG; Neves (2012) na bacia do Arroio Pelotas, Pelotas/RS; Lourenço (2013), na bacia do rio Aracatiaçu – Sobral/CE; Paz (2013), na bacia do Ribeirão Lajes em Aragominas/TO; Ferreira e Moraes (2017), na bacia do córrego Cana-Brava, Aurora do Tocantins/TO; Nascimento *et al.* (2021a) na bacia sudoeste amazônica/AC, entre outros. Já importante marco para o uso da metodologia do DFC, foi implementado pelo Instituto do Meio Ambiente do Estado de Alagoas, através do projeto IMA/GTZ que delimitou a APA do Pratagy, na bacia hidrográfica do Rio Pratagy, exposto no Decreto N°37.589, de 05 de junho de 1998, do Governo do Estado de Alagoas. Este decreto salienta que todos os instrumentos de gestão da APA do Pratagy, além do zoneamento e licenciamento ambiental e os planos de manejo foram embasados nos estudos realizados no DFC da bacia hidrográfica do Rio Pratagy (ALAGOAS, 1998).

Visto a diversidade de estudos, pesquisas e projetos que podem ser efetivados com a metodologia do DFC, Neves (2012), apresentou o quadro comparativo da metodologia original do CIDIAT, de Beltrame (1990) e as adaptações realizadas em seu trabalho, conforme tabela 2.

Observando a tabela 2, uma das principais adaptações realizadas por Beltrame (1990), com a metodologia de CIDIAT-MARNR esta relaciona com a substituição da Zona de Vida pela Cobertura Vegetal original. A Zona de Vida é mapeada conforme a proposta do naturalista Clinton Hart Merriam em 1889, em que são definidas áreas homogêneas e/ou semelhantes em termos de plantas e animais, para as quais a influência da latitude e altitude são preponderantes. Beltrame (1990) entende que este fator é relevante em determinadas escalas de mapeamento, principalmente em escalas pequenas e/ou regionais, visto as variadas comunidades de plantas e animais presentes. Para mapeamentos em escala local e regional, Beltrame (1990) substituiu o parâmetro Zona de Vida pela análise da Cobertura Vegetal original, através da avaliação da semelhança com a cobertura vegetal atual, em diferentes setores de uma bacia hidrográfica.

Tabela 2 - Comparação entre metodologias de DFC

Metodologia de CIDIAT-MARNR (1978)	Metodologia adaptada por Beltrame (1990)	Metodologia adaptada por Neves (2012)
Zona de vida	Cobertura vegetal original	Cobertura vegetal original
Vegetação por fotos aéreas	Cobertura vegetal atual por imagens Orbitais	Cobertura vegetal atual por imagens orbitais e sub-orbitais
Degradação específica	Erosividade da chuva	Erosividade da chuva
Declividade média	Declividade média	Declividade média
Sedimentos	Parâmetro não considerado	Parâmetro não considerado
Geologia/Erosividade das rochas	Potencial erosivo do solo	Potencial erosivo do solo
Cobertura do processo atual	Balanço hídrico	Balanço hídrico
Parâmetro não considerado	Densidade de drenagem	Densidade de drenagem

Fonte: Adaptado de Neves (2012).

Deve-se salientar outra mudança significativa entre as propostas de CIDIAT-MARNR (1978) e Beltrame (1990), a primeira calcada em uma apresentação qualitativa-descritiva e a segunda calcada na forma de quantificação dos resultados, utilizando-se de fórmula descritiva, com diferentes índices de risco de degradação física de uma bacia hidrográfica. Conforme Beltrame (1994), Ferreti (2003) e Neves (2012), foram estabelecidos padrões de melhores e piores condições ambientais, ou seja, quando o somatório dos índices for mínimo em cada parâmetro, resulta-se numa melhor condição ambiental, e quando os valores somados são máximos, o pior resultado para uma determinada bacia será alcançado.

Em termos de enquadramento, consideram-se quatro fatores potenciais naturais de degradação física, e utilizando-se estes como base, definem-se os sete parâmetros integrantes da fórmula descritiva do estado físico conservacionista de uma área de estudo, conforme tabela 3, adaptada de Beltrame (1990).

Tabela 3 - Parâmetros analisados na Fórmula descritiva

Fatores	Parâmetros	Código
Vegetação	A) Grau de semelhança entre a cobertura vegetal atual e a cobertura vegetal original dos setores da bacia (CO); B) Grau de proteção da cobertura vegetal fornecido ao solo (CA);	CO+CA
Clima	A) Erosividade da chuva (E); B) Balanço hídrico dos setores da bacia (BH);	E+BH
Características Geológicas e Pedológicas	A) Suscetibilidade da textura à erosão, associada a declividade (PE); B) Densidade de Drenagem (DD);	PE+DD
Características do Relevo	A) Declividade média, em que se observa também a geomorfologia, curva hipsométrica, altura média, coeficiente de massividade e o coeficiente orográfico;	DM

Fonte: Adaptado de Beltrame (1994), Ferreti (2003) e Neves (2012);

4.4 Geoprocessamento como Ferramenta para o DFC

O uso de ferramentas de Geoprocessamento para o diagnóstico ambiental é amplamente difundido, pois permite uma série de análises qualitativas e quantitativas do ambiente, como por exemplo, o mapeamento temporal da cobertura vegetal, assim como da ocupação do solo. Outras muito difundidas são análises que envolvem parâmetros morfométricos do relevo (VALERIANO *et al.*, 2009).

Nesse sentido, é importante realizar a conceituação do termo Geoprocessamento, entendido por Câmara e Davis (2001, p. 02) como...

(...) “disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional. As ferramentas computacionais para Geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informação Geográfica (GIS), permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados. Tornam ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos”.

Conforme Burrough e McDonnell (1988), o Geoprocessamento como área de conhecimento foi operacionalizada primeiramente na década de 1960, no Canadá, com a criação do primeiro Sistema de Informações Geográficas (SIG) pelo Prof. Dr. Roger Tomlinson, denominado de *Canadian Geographical Information System*. Além de Tomlinson criar o primeiro SIG, foi o responsável pela estruturação dos primeiros preceitos teórico-metodológicos da ciência da geoinformação, denominada posteriormente de Geoprocessamento. No Brasil, um dos primeiros esforços para a difusão do geoprocessamento e conseqüentemente de implementação de SIGs, foi realizado pelo Prof. Jorge Xavier da Silva, criando o Laboratório de

Geoprocessamento do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) (CÂMARA e DAVIS, 2001).

O prof. Jorge Xavier da Silva desenvolveu o Sistema de Análise Geo-Ambiental (SAGA), a qual tinha o propósito de desenvolver módulos de geoprocessamento em SIG para monitoramento ambiental. Segundo Silva e Zaidan (2011) as aplicações do SAGA se concentravam na estimativa de riscos de desmoronamento, potencial turístico e de urbanização, deslizamentos e enchentes do Estado de Rio de Janeiro, levantamento e diagnóstico da Mata Atlântica remanescente para fins de preservação e análise da qualidade de vida nas favelas do Rio de Janeiro.

No período entre os anos de 1960 e 1970 outros programas foram desenvolvidos com a finalidade de representar objetos e superfícies, como é o caso do CAD (*Computer Aided Design*). A sensível diferença entre os SIGs e os CADs nessa época estão relacionados a superfície de referência, onde os SIGs permitem as análises sobre diferentes tipos, como as superfícies planas e elipsoidais, enquanto os CADs só apresentavam a possibilidade de superfícies planas (BURROUGH e MCDONNELL, 1988). Sendo assim, no mapeamento de grandes extensões, exista uma diferença significativa nos resultados de cálculo de áreas, por exemplo.

Nos anos de 1980, uma série de instituições se consolidaram no tratamento da informação geográfica através do geoprocessamento. Entre elas podemos citar o *National Center for Geographical Information and Analysis* (NGCIA) dos EUA e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) no Brasil. Ambas as instituições voltadas para o armazenamento e análise de ampla quantidade de dados espaciais e sendo responsáveis pela criação de alguns SIGs, como é o caso do Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING), pelo INPE (CÂMARA e DAVIS, 2001).

Cabe destacar que pós os anos de 1980, principalmente no início dos anos de 1990, vários SIGs comerciais surgiram ou se difundiram por uma diversidade de usuários e finalidades. Isso porque, é o período de difusão da tecnologia computacional para ambiente doméstico (*Desktop*), onde computadores pessoais começam a ter a capacidade (*hardware*) para o processamento da informação geográfica. Além disso, começaram a ser disponibilizadas as bases de dados espaciais entendidas como cliente-servidor, com gerenciadores de bancos de dados e pacotes de processamento de imagens (CÂMARA *et al.*, 1996).

Por fim, os SIGs utilizados atualmente, são baseados na estruturação de arquitetura apresentada no final dos anos de 1990, baseadas em bibliotecas digitais geográficas ou centro de dados geográficos, com a conexão cliente-servidor em tempo real. Nesse conceito, são gerenciadas grandes bases de dados geográficos, através de redes locais ou remotas, podendo ser públicas ou privadas, focadas na troca de informações ou dados (MIRANDA, 2019).

Já com foco na Geografia, Rosa (2011) salienta que a introdução do geoprocessamento e conseqüentemente dos SIGs, ocorreu de maneira mais efetiva com a difusão e utilização das informações espaciais de origem remota, como as imagens orbitais e suborbitais, mapeamentos geográficos de precisão como o cadastro urbano, entre outros, com fins de reconhecimento do território. Na Geografia, a corrente quantitativa foi a que se apoiou primeiramente nesta disciplina do conhecimento, unindo a computação, a matemática e a informação espacial na análise de ambientes (ROSA, 2011).

Segundo Neves (2012) o Geógrafo ou o Cientista Ambiental, das mais diversas áreas, na sua formação teórica e prática em análise de ambientes, deve usufruir da tecnologia e das ferramentas de geoprocessamento, visto que auxiliam nos estudos frente à reprodução do espaço geográfico, de maneira rápida, eficaz e precisa. De modo complementar, Câmara e Davis (2001) salienta que no mapeamento terrestre, o geoprocessamento fornece os conceitos e técnicas, através dos SIGs, para combinar várias informações por algoritmos de manipulação e análise, bem para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados georreferenciada, principalmente ambientais.

O uso do Geoprocessamento e mais especificamente dos SIGs, na atualidade, se tornam indispensáveis para o desenvolvimento de pesquisas de DFC, visto que são estudos calcados numa significativa gama de variáveis, principalmente quantitativas. Por tanto, a partir da criação de camadas de dados (*Layers* ou Planos de Informação) os dados espaciais podem ser interpolados, sobrepostos, realizadas conversões de formato (matriz/vetor e vice-versa) e operações aritméticas, entre outras, além da geração dos produtos cartográficos finais (NEVES, 2012).

Portanto, gera-se através de técnicas de quantificação de padrões espaciais utilizando o geoprocessamento, uma comparação entre unidades de paisagem por meio da identificação de suas diferenças estruturais. Nesse sentido, principalmente

pela facilidade de acompanhamento multitemporal de ambientes, o SIG se torna a ferramenta ideal para a aplicação do DFC.

Por fim, a importância do uso do SIG está justificada pela busca da geração de documentos cartográficos precisos e acurados, com posicionamento espacial condizente com o Padrão de Exatidão Cartográfica vigente, servindo de produto para o prognóstico futura para a área de estudo. Além disso, técnicas de quantificação de padrões espaciais avançaram sobremaneira, o que tem permitido a comparação entre unidades ambientais por meio da identificação de suas diferenças estruturais.

5 METODOLOGIA

A presente pesquisa está calcada na hipótese de alterações significativas no uso e cobertura da terra, as quais modificaram as taxas de aporte de sedimentos previstas no projeto de construção da barragem do Chasqueiro. Sendo assim, conforme descrito de Beltrame (1994), o DFC deve ser elaborado em consonância com as hipóteses de alterações ambientais, assim como a escala de análise. Essas afirmações condicionam as adaptações na metodologia original do DFC de Beltrame (1994).

Portanto, observando as dimensões da bacia e as alterações de uso e cobertura do solo, foram selecionados os sete parâmetros propostos por Beltrame (1994). Sendo assim, foram selecionados os parâmetros Cobertura Vegetal Original, Cobertura Vegetal Atual, Declividade Média, Densidade de Drenagem, Erosividade da Chuva, Balanço Hídrico e Potencial Erosivo dos Solos.

Para a elaboração dos produtos dos 7 parâmetros citados, foram utilizados diversos produtos cartográficos e dados alfanuméricos tabelados e processados conforme quadro síntese presente na tabela 4. Também foram realizados trabalhos de campo para a averiguação dos resultados dos produtos gerados, principalmente para a confrontação das classes DFC com as respostas de campo. Além disso, foram coletadas coordenadas posicionais para o Georreferenciamento dos dados cartográficos. Já o rito metodológico de elaboração dos produtos dos parâmetros citados, estão descritos a seguir.

Tabela 4 - Quadro síntese dos dados utilizados nesta pesquisa

Parâmetro	Fonte de Dados	Processamento
Cobertura Vegetal Original	Fotos Aéreas 1:40.000	Classificação Supervisionada
Cobertura Vegetal Atual	Matrizes de Classificação - MapBiomas	Edição matricial
Declividade Média	Imagens ALOS <i>World</i> 3D	Análise do Terreno
Densidade de Drenagem	Carta Topográfica do Exército 1:50.000 (Folhas MI-3024/2 e MI-3025/1)	Edição Vetorial/Mapa de Densidade/Fatiamento
Erosividade da Chuva	Imagens TRMM (3B43)	Fatiamento
Potencial Erosivo do Solo	Mapa de solos 1:100.000 e análise granulométrica (Cunha <i>et al.</i> , 1996)	Calculadora <i>Raster</i>
Balanço Hídrico	Estação Climatológica do Chasqueiro e Estação Agrimeteorológica do Capão do Leão/RS - EMBRAPA	Operação Matemática

Fonte: Elaborado pelo Autor

5.1 Parâmetro Cobertura Vegetal Original (CO)

Nesta pesquisa, o parâmetro Cobertura Vegetal Original apresenta significativa importância, uma vez que, a hipótese deste trabalho tange a ocorrência de significativas mudanças no uso do solo, que podem ter impactado na taxa de aporte de sedimentos na barragem do Arroio Chasqueiro. Sendo assim, a referência temporal para a análise da cobertura vegetal original é baseada nas imagens aéreas utilizadas para a elaboração do projeto de implantação da barragem supracitada.

As imagens aéreas utilizadas são do ano de 1947, cedidas pela Agência de Desenvolvimento da Lagoa Mirim-ALM, as quais foram mosaicadas e georreferenciadas com coordenadas posicionais obtidas em campo, através do uso de receptores GNSS – *Global Navigation Satellite System*, em pontos de controle notáveis no terreno atual e nas imagens. Foi realizada a classificação supervisionada com base em amostras conhecidas para as classes: Floresta, Campestre, Agricultura, Silvicultura e Área Urbana/Solo Exposto.

Buscando uma análise da evolução temporal, foram utilizadas as classificações do uso e cobertura da terra dos anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e 2020 realizadas pelo projeto MapBiomias (SOUZA *et al.*, 2020). O projeto MapBiomias utiliza imagens de satélite da missão Landsat, com resolução espacial de 30 m, classificadas na plataforma *Google Earth Engine*. Para a geração das classificações, são utilizadas as sete bandas espectrais disponíveis, sendo que em cada uma destas, são coletados alguns parâmetros que compõe as 105 variáveis utilizadas no processo, como por exemplo, o valor mínimo e máximo de um pixel em um determinado período de tempo (ex. ano), a amplitude da variação e a mediana (MAPBIOMAS, 2022).

O MapBiomias realiza a classificação supervisionada do conjunto de imagens de um intervalo temporal anual, utilizando-se de amostras das classes floresta, campo, agricultura, pastagem, área urbana e água. Para tanto, se utiliza do algoritmo de aprendizado de máquinas denominado de “*Random Forest*”, sobre a nuvem de dados da plataforma *Google Earth Engine*. Os resultados são submetidos a regras de vizinhança, evitando assim pixels isolados ou de borda (MAPBIOMAS, 2022).

Visto inconsistências de classificação ou equivocadas, o próprio MapBiomias sugere a criação de regras adicionais, com base na tipologia do bioma analisado, assim como possíveis erros de classificação existentes. Para tanto, neste trabalho, foi realizada a comparação entre as classificações de uso e cobertura da terra geradas pelo MapBiomias e imagens temporais do *Landsat* para os mesmos anos, sendo

efetuada a edição matricial dos resultados para as classes corretas, conforme interpretação visual dos polígonos.

A próxima etapa foi o comparativo entre as matrizes de classificação da cobertura vegetal original (imagens aéreas de 1947) e as matrizes de classificação do MapBiomass, oriundas das imagens de satélite de 1985, 1995, 2005, 2015 e 2020, conforme a proposta de Costa *et al.*, (2019). Para tanto, foi utilizado o método *Analytic Hierarchy Process (AHP)*, proposto por Saaty (1980), para a modelagem comparativa de modelos desestruturados, utilizando-se para tal a matriz pareada de fatores conhecidos. A proposta original de Saaty (1980) foi adaptada por Saaty (2013), onde o critério paritário tem peso 1 e critérios “**melhor**” têm valores superiores a 1, conforme experiência da literatura e pesquisador. Já critérios “**pior**” têm valores inferiores a 1. Buscando o resultado matricial de números inteiros, a proposta de Saaty (2013) foi adaptada por Morais (2018) e Costa *et al.* (2019), que propuseram o critério paritário nulo para o valor intermediário (5) e reescalaram os critérios “**melhor**” e “**pior**”, conforme tabela 5.

Tabela 5 - Critérios de importância para matriz paritária

Valor do Peso de Importância	Definição do Peso ou da Importância
Muito pior	9
Pior	8
Moderadamente pior	7
Um pouco pior	6
Igual	5
Um pouco melhor	4
Moderadamente melhor	3
Melhor	2
Muito Melhor	1

Fonte: Adaptado de Morais (2018) e Costa *et al.* (2019).

Após a definição dos pesos comparativos, foi elaborada a tabela pareada das classes de uso e cobertura da terra com os pesos por classe comparada, conforme pode ser observado na tabela 6.

Para a aplicação da tabela 6, utilizou-se a ferramenta de geoprocessamento denominada calculadora *raster*. Para tanto, optou-se pela lógica Booleana da intersecção de conjuntos, como pode ser verificado no exemplo da figura 2. A matriz resultante apresenta os pesos do fator Cobertura Vegetal Original.

Tabela 6 - Matriz pareada comparativa de uso e cobertura da terra

Vegetação (CO)		1985-1995-2005-2015-2020				
		Floresta	Campestre	Silvicultura	Agricultura	Urbaniz./ Exposto
O r i g i n a l	Floresta	5	6	7	8	9
	Campestre	4	5	6	7	8
	Silvicultura	3	4	5	6	7
	Agricultura	2	3	4	5	6
	Urbanizada/ Solo Exposto	1	2	3	4	5

Fonte: Adaptado de Moraes (2018) e Costa *et al.* (2019)

Figura 2 - Exemplo de lógica booleana para a mudança e uso e ocupação da terra



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2 Parâmetro Cobertura Vegetal Atual (CA)

O parâmetro de Cobertura Vegetal Atual reflete a dinâmica dos recursos naturais renováveis, ou seja, a manutenção do ciclo da água, como o grau de proteção que a superfície do solo apresenta frente ao impacto das gotas de chuva. Indiretamente infere o possível aumento de porosidade e permeabilidade dos solos pela inserção de raízes, as quais consequentemente reduzem o escoamento superficial, mantendo a umidade no solo, assim como a matéria orgânica e a fertilidade (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014).

Na determinação do parâmetro CA foram utilizados os mesmos produtos gerados no parâmetro CO, sendo ponderados os pesos conforme o grau de proteção que a vegetação exerce sobre o solo. Sendo assim, foram consideradas as propostas concordantes de Hidalgo (1987), Beltrame (1994), Bueno (2016) e Nascimento *et al.* (2021) e sintetizadas na tabela 7.

Tabela 7 - Classificação do índice de proteção da vegetação atual

Classe	Índice	Peso
Floresta	(CA) ₁	1
Campestre	(CA) ₄	4
Silvicultura	(CA) ₅	5
Agricultura	(CA) ₆	6
Área Urbanizada/Solo Exposto	(CA) ₁₀	10

Fonte: Adaptado de Beltrame (1994) e Nascimento *et al.*, (2021).

5.3 Parâmetro Potencial Erosivo do Solo (K)

A avaliação do parâmetro Potencial Erosivo do Solo tange a suscetibilidade pedológica à erosão em diferentes taxas, devido às propriedades físicas, pedogenéticas e seus diversos usos. Nas propriedades físicas, as principais relações e quantificações relacionam-se com a textura, estrutura, permeabilidade e densidade (CREPANI *et al.*, 2008).

Nesse sentido, observando a importância do estudo das propriedades físicas no desenvolvimento de processos erosivos, vários autores criaram métodos indiretos para a determinação do fator K, sendo que nesta pesquisa opta-se pela metodologia proposta por Denardin (1990) e revista por Demarchi e Zimback (2014) e Almeida (2018), a qual é adaptada e apresentada na equação 7, conforme dados de campo disponíveis. Isso porque são necessárias as informações percentuais de areia, silte, argila e matéria orgânica, as quais estão disponíveis no trabalho de mapeamento de solos do município de Arroio Grande/RS, realizado pela Embrapa Clima Temperado e publicado por Cunha *et al.* (1996). Os resultados da matriz da equação 1 são fatiados em classes conforme os níveis de potencial erosivo, propostos por Moraes (2018) (Tabela 8).

Equação 1

$$K = (0,00000748 * M) + (0,004480 * P) - (0,0631175 * DMP) + (0,01039567 * R)$$

Onde:

K = é a erodibilidade dos solos, expresso em t.ha.h/ha.Mj.mm;

M = (Areia fina + Silte) * ((Areia fina + Silte) + Areia grossa), em porcentagens;

P = permeabilidade do solo, definida com base na descrição geral do perfil, codificada como: 1 = Muito baixa; 2 = Baixa; 3 = Moderada; 4 = Alta; 5 = Muito Alta;

R = (Areia grossa * (Teor de Matéria Orgânica/100)), em porcentagem;

DMP = é o diâmetro médio das partículas do solo definido pela Equação 2. Valores de areia, silte e argila expressos em porcentagem.

Equação 2

$$DMP = \left((0,62 * \text{Areia grossa}) + (0,15 * \text{Areia fina}) + (0,0117 * \text{silte}) + (0,00024 * \text{Argila}) \right) / 100$$

Tabela 8 - Fatiamento dos intervalos de classe do parâmetro K

Intervalos de K (t.ha.h/ha.MJ.mm)	Classe	Índice	Peso
<0,0199	Muito Baixa	K_1	1
0,0200 – 0,0270	Baixa	K_2	2
0,0271 – 0,0350	Média	K_3	3
0,0351 – 0,0480	Alta	K_4	4
>0,0481	Muito Alta	K_5	5

Fonte: adaptado de Lourenço (2013) e Morais (2018).

O mapa pedológico básico utilizado neste trabalho foi elaborado por Cunha *et al.* (1996), em escala 1:100.000, o qual foi comparado e atualizado com as classes pedológicas da folha SI-22, do mapeamento sistemático brasileiro e enquadrado no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da Embrapa (2018). O mapa pedológico básico foi digitalizado com o recorte da área de estudo, gerando um arquivo vetorial no formato *Shapefile*, o qual foi posteriormente convertido no formato de matriz.

Para a quantificação do fator K , utilizaram-se os parâmetros granulométricos e orgânicos do horizonte A. Com base no cálculo da equação 1, foram inseridos os pesos nas classes de solos através da ferramenta de geoprocessamento denominada calculadora *raster*. Cabe destacar que o trabalho de Cunha *et al.* (1996), utiliza pelo menos dois perfis pedológicos para estabelecer os parâmetros físicos de uma classe de solo, creditando assim, confiabilidade nas amostras e valores percentuais.

5.4 Parâmetro Declividade Média (DM)

A análise do parâmetro da Declividade Média é de suma importância porque é o fator que impacta diretamente na energia de transporte de partículas, uma maior velocidade de escoamento superficial, menor quantidade de água armazenada no solo, entre outros (BOGALE, 2021). Além disso, é um parâmetro que auxilia na quantificação das magnitudes dos picos de enchentes ou a menor oportunidade de infiltração e suscetibilidade à erosão dos solos dependem da rapidez com que ocorre

o escoamento superficial, estando fortemente relacionado com o relevo (LOURENÇO, 2013).

Autores como Araújo Junior (2002), Lourenço (2013) e Bogale (2021) salientam a importância da determinação do parâmetro DM, visto que os resultados dos seus trabalhos de DFC demonstram que podem ser definidas relações diretas da DM com picos de enchentes, escoamento da água superficial e processos erosivos instalados. A proposta de Beltrame (1994) contempla a geração dessa informação, pela importância que apresenta para a caracterização do relevo de uma bacia hidrográfica no DFC, obtendo-se um índice quantitativo que compõe a fórmula descritiva.

Visto as inúmeras adaptações na metodologia de Beltrame (1994) e principalmente o surgimento de novos produtos altimétricos, assim como de métodos digitais de elaboração de produtos geomorfométricos, nesta pesquisa optou-se pelo uso do Modelo Digital de Elevação do *Advanced Land Observing Satellite World 3D* (ALOS *World 3D*). Conforme Silva Junior *et al.* (2022), este produto apresenta resolução espacial e/ou acurácia altimétrica superior a outros produtos topográficos disponibilizados gratuitamente como o *Shuttle Radar Topography Mission - SRTM*, *ASTER Global Digital Elevation Model – AGDEM*.

A partir da grade regular com as altitudes do terreno do ALOS, é confeccionado o mapa de declividade, sendo o cálculo realizado em porcentagem (D) conforme equação 3, que corresponde à razão da distância vertical (dV) e a distância horizontal (dH), multiplicado por 100. A equação da declividade está presente na ferramenta *r.slope.aspect* do Qgis, resultando em uma matriz onde as células representam a declividade do terreno em por cento.

Equação 3

$$D = \left(\frac{dV}{dH} \right) * 100$$

Onde:

D = Declividade;

dV = Distância vertical;

dH = Distância Horizontal.

Já a elaboração das classes de declividade seguiu a proposta apresentada por Beltrame (1994) embasada em Lepsh *et al.* (1991), que definiu sete classes de

declividade de modo a subsidiar práticas de mecanização agrícolas e interferências sobre susceptibilidade dos solos à erosão. Sendo assim, a matriz de declividade foi fatiada em sete classes conforme a tabela 9.

Tabela 9 - Classes de relevo estabelecidas a partir das classes de Declividade

Classes de Relevo	Declividade	Índice	Peso
Plano	<2%	DM ₁	1
Suave Ondulado	2 a 5%	DM ₂	2
Ondulado	5 a 10%	DM ₃	3
Muito Ondulado	10 a 15%	DM ₄	4
Forte Ondulado	15 a 45%	DM ₅	5
Montanhoso	45 a 70%	DM ₆	6
Escarpado	>70%	DM ₇	7

Fonte: adaptado de Lepsh *et al.* (1991) e Beltrame (1994).

5.5 Parâmetro Erosividade da Chuva (R)

O parâmetro erosividade da chuva é um índice quantitativo expresso de forma numérica para uma determinada localidade, a qual representa a capacidade da chuva de causar erosão sobre uma superfície pedológica desprovida de cobertura vegetal (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014). Nesse processo, as componentes energia cinética total e a intensidade da chuva incidente determinam a erosividade do solo (GUERRA, 2005). Para tanto, visto a falta de dados climáticos em séries históricas compatíveis entre estações meteorológicas, Bertoni e Lombardi Neto (2014), sugerem o uso da precipitação total de uma determinada área.

Pela proposta de Lombardi Neto e Moldenhauer (1992), a erosividade da chuva (Fator *R*) é obtida a partir da média mensal do índice de erosão (EI) conforme a equação 4. Sendo assim, a erosividade da chuva é obtida através da soma dos valores de EI, visto que a equação 4 já apresenta as constantes de calibração numérica (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014).

Equação 4

$$EI = 67,355 \left(\frac{r^2}{P} \right)^{0,85}$$

Onde:

EI = média mensal do índice de erosão, em MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹

r = precipitação média mensal em milímetros

P = precipitação média anual em milímetros

Por fim, é realizado o enquadramento do resultado da matriz EI através do fatiamento em classes, conforme a proposta de Bertoni e Lombardi Neto (1990) (Tabela 10). Cabe destacar que processo semelhante é realizado em outras metodologias consagradas de avaliação da degradação dos solos, como é o caso da Equação Universal de Perda de Solos – *EUPS* de Wischmeier e Smith (1978).

Tabela 10 - Fatiamento dos intervalos de classe do parâmetro *R*

Intervalos de <i>R</i> (Mj.mm/há.h.ano)	Classe	Índice	Peso
<4.975	Muito Baixa	R ₁	1
4.975 - 5.747	Baixa	R ₂	2
5.748 - 6.520	Média	R ₃	3
6.521 – 7.293	Alta	R ₄	4
>7.293	Muito Alta	R ₅	5

Fonte: adaptado de Bertoni e Lombardi Neto (1990) e Beltrame (1994).

Inúmeros trabalhos já se utilizaram da metodologia proposta para a determinação do Fator *R* apresentado acima, sendo que se deve salientar as pesquisas de Neves (2012), Aquino e Oliveira (2013), Lourenço (2013), Bhering *et al.* (2014), Ruthes *et al.* (2016) e Morais (2018), as quais encontraram resultados satisfatórios nas estimativas de erosividade da chuva.

Com o intuito de calcular o fator *R* em áreas com ausência de dados ou em regiões com estações pluviométricas muito distantes (reduzindo a acurácia resultante), Passos *et al.* (2014) e Morais (2018), utilizaram os dados estimados de precipitação do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission-TRMM*. Para tanto, empregaram a série temporal de operação da plataforma, entre os anos de 1997 e 2015, afirmando ser uma alternativa viável e com dados condizentes para a estimativa de perda de solo em bacias hidrográficas.

O TRMM foi construído para a geração de dados de variabilidade de precipitação nos trópicos, entre as latitudes de 35° norte e 35° Sul, com uma série de dados contínua de mais de 17 anos. É um satélite geossíncrono de órbita Polar, a qual utiliza o *Microwave Imager (TMI)*, instrumento de medição eletromagnética na região das micro-ondas, quantificando o vapor de água, a água das nuvens e a intensidade de chuva (NASA, 2022).

5.6 Parâmetro de Densidade de Drenagem (DD)

A Densidade de Drenagem reflete o sistema de fraturamento de um maciço rochoso (lineamentos de Tipo 2), além das características morfológicas da bacia (STRIEDER e AMARO, 1997). Nesse sentido, Christofolletti (1974) afirma que em um mesmo ambiente climático, o comportamento hidrológico das rochas repercute na densidade de drenagem, ou seja, nas rochas onde a percolação encontra maior dificuldade há condições melhores para o escoamento superficial, gerando possibilidade para a esculturação dos canais.

Segundo Christofolletti (1980) o processo de análise morfométrica de uma bacia hidrográfica se inicia pela ordenação dos canais fluviais, visando o estabelecimento da hierarquia fluvial. Conforme Morais e Almeida (2010), a hierarquia fluvial é a análise classificatória da grandeza de importância de determinado curso fluvial no contexto de uma bacia hidrográfica. Apesar da hierarquia fluvial ser amplamente utilizada na análise de bacias hidrográficas, nos DFCs o parâmetro mais utilizado no que tange da hidrografia é a Densidade de Drenagem, pois esta apresenta a relação inversa com o comprimento dos rios. Portanto, à medida que aumenta o valor numérico da densidade ocorre a diminuição quase proporcional do tamanho dos componentes fluviais das bacias hidrográficas (LIMA e NERY, 2017).

Visto os diferentes tipos de análises hidrológicas que podem ser realizadas em uma bacia hidrográfica, Gebrehiwot *et al.* (2011), entendem que a DD faz parte de um complexo maior, que no caso integra-se aos estudos hidrogeológicos em bacias hidrográficas. Isso porque é uma forma de aumentar o poder preditivo da hidrologia das bacias hidrográficas, assim como de caracterizá-las com base nas variáveis mais influentes. Concordando com essas afirmações, Awasthi (2002), afirma que a avaliação da DD está intimamente associada com os processos de erosão, litologia, relevo e vegetação, ambos fatores importantes no DFC.

Como mencionado anteriormente, a DD estabelece a relação entre o comprimento total dos canais de escoamento com a área da bacia hidrográfica delimitada pelos divisores de águas, sendo calculada pela equação 5, conforme a proposta de Christofolletti (1980).

Equação 5

$$DD = Lt/A$$

Onde:

DD = densidade da drenagem;

Lt = comprimento total dos canais;

A = área da bacia.

Com o intuito de estabelecer uma qualificação da DD em bacias hidrográficas, Beltrame (1994) apresentou a classificação hierárquica conforme os fundamentos propostos por Villela e Mattos (1975) e em dados da própria autora apresentados no Atlas de Santa Catarina (1986). Cabe destacar que neste trabalho, a análise da DD foi realizada com a finalidade de compreender o tempo de escoamento superficial, ou seja, quanto maior o valor numérico de DD , mais rapidamente deverá ocorrer o fluxo de água na drenagem. A classificação de DD de Beltrame (1994) pode ser observada na tabela 11.

Tabela 11 - Classificação dos valores de Densidade de Drenagem

Valores de DD (km/km ²)	Qualificação da DD	Índice	Peso
<0,5	Baixa	DD_1	1
0,5-2,00	Mediana	DD_2	2
2,00-3,50	Alta	DD_3	3
>3,50	Muito Alta	DD_4	4

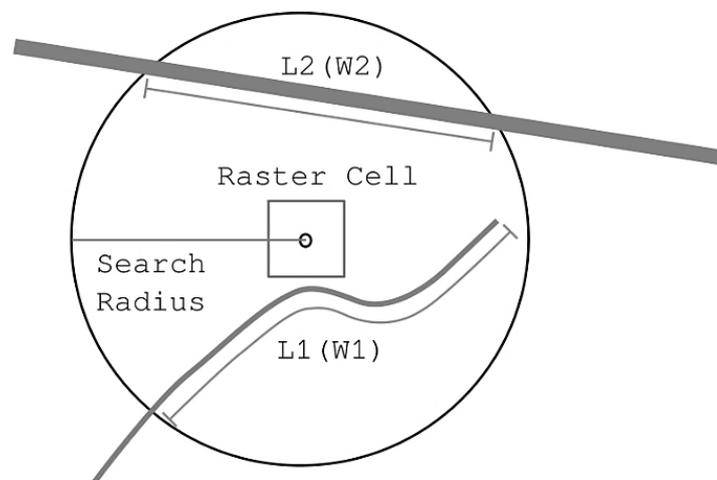
Fonte: adaptado de Beltrame (1994).

Para a geração da DD foram utilizados os arquivos vetoriais das drenagens das cartas topográficas do exército em escala 1:50.000 das folhas Arroio Grande (MI-3024-2) e Matarazzo (MI-3025-1). Para o processamento e geração do mapa de DD , utilizou-se o *Plugin* Densidade de Linhas, criado originalmente para ArcGis por Silverman (1986) e adaptado em C++ para Qgis, através do terminal *Grass*.

A ferramenta de Densidade de Linhas utiliza da busca geométrica circular célula a célula, através de uma janela móvel, tendo como referência a linha no formato vetorial. A medida é a soma ponderada de comprimentos de linhas que possuem intersecção com a geometria de pesquisa e por fim é dividida pela área da geometria de pesquisa.

Para a aplicação da ferramenta, pelo menos dois parâmetros devem ser informados, o primeiro é a distância interfluvial máxima e a segunda é a resolução espacial da matriz resultante. A figura 3 apresenta o método de Silverman (1986). A determinação da distância interfluvial máxima é realizada através da ferramenta de mapa de distâncias (*buffer*), até que a condição de raio de busca interfluvial seja satisfeita. Após a geração da matriz de *DD* por célula da matriz, esta é fatiada conforme o intervalo de classes preconizado na tabela 11, por Beltrame (1994).

Figura 3 - Método de Silverman (1986) para a geração da densidade de linhas



$$\text{LineDensity} = ((L1 * W1) + (L2 * W2)) / \text{circleArea}$$

Fonte: Silverman (1986).

5.7 Parâmetro Balanço Hídrico (BH)

A determinação do parâmetro denominado Balanço Hídrico é de suma importância porque reflete o possível excedente ou déficit hídrico, ou seja, corresponde principalmente a taxa de precipitação, evaporação e evapotranspiração. O resultado do balanço hídrico indica a duração e o período da estação seca, por exemplo (BELTRAME, 1994).

Para a determinação do balanço hídrico da bacia hidrográfica do Arroio Chasqueiro, na sua região média-alto curso, foram utilizadas séries históricas de 19 anos (2001-2019) dos valores de precipitação da Estação Pluviométrica da Barragem do Chasqueiro (3253029), sob gerenciamento da Cooperativa dos Proprietários do Distrito de Irrigação da Barragem do Arroio Chasqueiro – COODIC. Segundo Beltrame (1994), uma das equações mais utilizadas na literatura para a determinação

do balanço hídrico foi proposta por Thornthwaite e Mather em 1955, utilizando-se para tal a Evapotranspiração, Evaporação e Precipitação, conforme equação 6.

Equação 6

$$P = ET + Q$$

Onde:

P = média mensal do índice de erosão, em MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹;

ET = Evapotranspiração (mm) (normais ETo obtidas da Embrapa);

Q = Escoamento superficial (m³/s⁻¹)

Cabe destacar que a fórmula deve ser adaptada em função das características da área de estudo, sendo assim, são inseridas as áreas de influência de Evapotranspiração e Evaporação do lago da barragem. Conforme Collischonn e Dornelles (2013) e Collischonn (2022), na estimativa de evaporação de uma bacia com reservatório, aplica-se o coeficiente multiplicador variando entre 0,6 e 0,8 nos valores resultantes de Evaporação em um tanque Classe A, sendo o valor 0,7 o mais utilizado (TUCCI, 2004). Sendo assim, a fórmula do balanço hídrico com lago é apresentada na Equação 7.

Equação 7

$$P = ET \cdot (1 - f) + Q + E \cdot (f)$$

Onde:

P = Precipitação (mm);

ET = Evapotranspiração (mm) (normais ETo obtidas da Embrapa);

E = Evaporação (mm) (0,7x a normal de evaporação do tanque classe A Embrapa);

f = área da bacia (razão da área do reservatório pela área da bacia);

Q = Vazão (m³.s⁻¹)

Transformando a vazão (volume no exutório em determinado tempo) para Balanço hídrico em mm (BH), ou seja, lâmina de água resultante na área da bacia hidrográfica e reorganizando as variáveis tem-se a equação 8:

Equação 8

$$BH = P - ET \cdot (1 - f) - E \cdot (f)$$

Buscando enquadramento e a classificação do balanço hídrico, Beltrame (1994) propôs quatro índices de condicionamento hídrico para o Estado de Santa Catarina, variando de excelente à deficiente, sendo adaptada por Neves (2012) para o Rio Grande do Sul, conforme tabela 12.

Tabela 12 - Classificação qualitativa do balanço hídrico

Balanço Hídrico	Classe	Índice	Peso
Sem deficiência hídrica e excedente hídrico superior a 1.500 mm/ano	M. Baixo	BH ₁	1
Sem deficiência hídrica e excedente Hídrico entre 750 a 1.500 mm/ano	Alto	BH ₂	2
Sem deficiência hídrica e excedente Hídrico até 750 mm/ano	Médio	BH ₃	3
Com deficiência hídrica, pelo menos em algum mês/ano com qualquer excedente	Baixo	BH ₄	4

Fonte: adaptado de Beltrame (1994) e Neves (2012).

5.8 Fórmula Descritiva

Para a análise qualitativa do grau de preservação/degradação de cada setor da bacia hidrográfica do Arroio Chasqueiro, adaptou-se a fórmula descritiva de Beltrame (1994), conforme equação 9:

Equação 9

$$E(f_{ano}) = \{(CO * p) + (CA * p) + (DM * p) + (DD * p) + (R * p) + (BH * p) + (K * p)\}$$

Onde:

$E(f)$ = é o estado físico-conservacionista do setor da bacia;

CO = Grau de semelhança entre a cobertura vegetal original e atual;

CA = Grau de cobertura da vegetação atual;

DM = Declividade média.

DD = Densidade de Drenagem;

R = Erosividade da Chuva;

BH = Balanço hídrico;

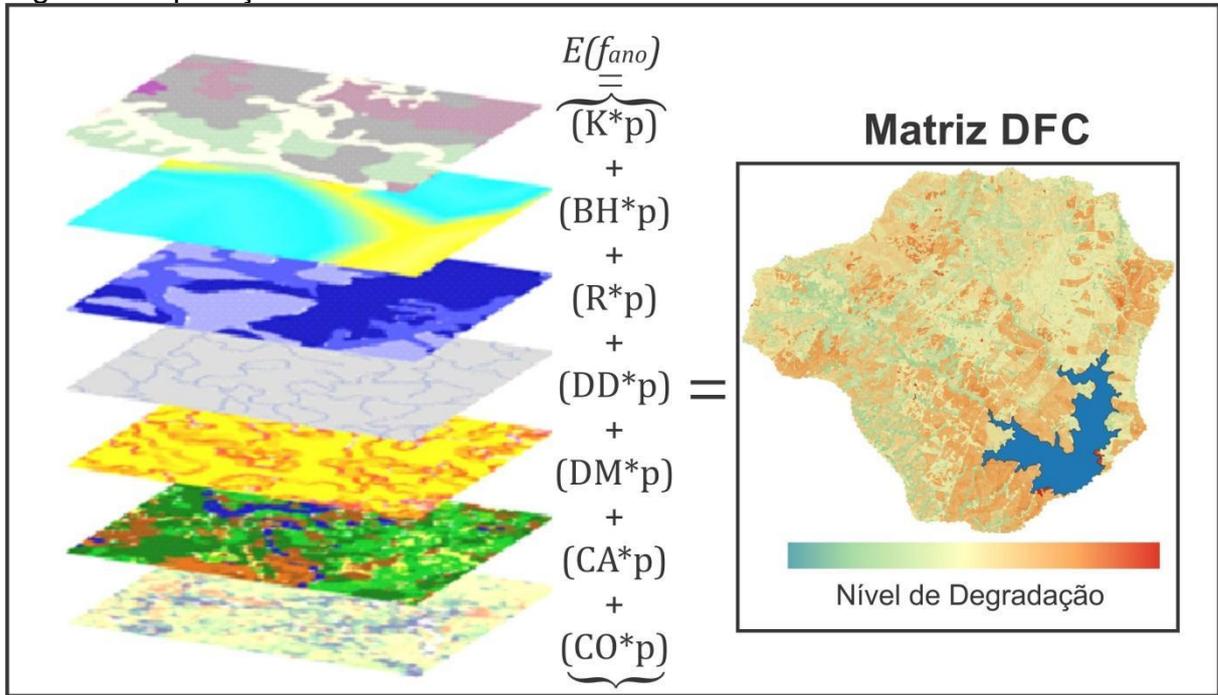
K = Erosividade do solo.

p = peso resultante da matriz pareada *AHP*

Cabe destacar que a fórmula é aplicada 5 vezes, uma para cada período de avaliação do uso e ocupação da terra (1985, 1995, 2005, 2015, 2020). Para a aplicação da equação 9, foi utilizada a ferramenta de geoprocessamento denominada

calculadora *Raster*, com o somatório dos sete fatores, nos 5 períodos analisados, utilizando-se da lógica Booleana conforme figura 4.

Figura 4 - Aplicação da fórmula descritiva do DFC



Fonte: Elaborado pelo autor.

A determinação dos pesos de cada parâmetro foi realizada a partir da construção de matriz de julgamento, a qual, segundo Salomon (2004), permite obter os valores de desempenho dos n elementos de um conjunto de dados, com relação a um determinado critério, assim como obter valores de importância dos critérios. Com isso, a construção da matriz de julgamento foi realizada seguindo uma Escala Fundamental de valores de intensidade de importância, apresentada na tabela 13, com base na experiência do autor. Assim, visto que a hipótese deste trabalho tange as significativas alterações no uso e ocupação da terra, os parâmetros Cobertura Original e Cobertura Atual são os que prevalecem, nesta ordem, sobre os demais. Já o Balanço Hídrico tem o menor grau de importância, pois é gerado um valor único para toda a bacia, não permitindo compartimentar áreas e classes. Autores como Lourenço (2013) e Morais (2018) recomendaram sequências de importância de parâmetros semelhantes a essa pesquisa, pois áreas que apresentam processos erosivos instalados e ausência de cobertura vegetal densa, estão na condição de Resistasia, onde a dinâmica de uso da terra tem importância fundamental na definição e análise de ambientes.

Tabela 13 - Escala de valores AHP para a comparação pareada

Intensidade da importância	Definição	Conceito
1	Importância igual	Fatores que contribuem igualmente
3	Importância moderada	Um elemento ligeiramente mais importante que o outro
5	Importância essencial	Um fator é claramente mais importante que outro
7	Importância demonstrada	Um fator é fortemente favorecido e sua relevância é demonstrada na prática
9	Importância extrema	A diferença de importância entre os fatores é da maior ordem possível
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre dois julgamentos	Diferenciação por julgamento

Fonte: Meirelles *et al.* (2007) adaptado de Saaty (1980).

Segundo Meirelles *et al.* (2007), a lógica da comparação par a par de n elementos é desenvolvida em uma matriz do tipo $A = (a_{ij})$ (Equação 10), na qual os coeficientes indicam estimativa de magnitude dos elementos x_i . Desse modo, uma matriz de razões é formada com os coeficientes relacionados aos pesos $a_{ij} = \frac{w_i}{w_j}$. Constata-se que esta é uma matriz recíproca ($a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}$) e, por isso, todas as entradas da diagonal tem valores igual a 1.

Equação 10

$$A = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} & \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} & \dots & \dots & \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix}$$

Com base na escala de valores AHP para a comparação pareada e a lógica de comparação par a par, obteve-se a matriz pareada comparativa dos critérios de julgamentos dos fatores DFC, apresentada na tabela 14.

Tabela 14 - Matriz pareada comparativa dos critérios de julgamento dos fatores DFC

Fatores	CO	CA	K	DM	R	DD	BH
CO	1	2	3	4	6	8	9
CA	1/2	1	2	3	5	6	7
K	1/3	1/2	1	2	4	5	6
DM	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4
R	1/6	1/5	1/4	1/2	1	2	3
DD	1/8	1/6	1/5	1/3	1/2	1	2
BH	1/9	1/7	1/6	1/4	1/3	1/2	1

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seguida, os valores de importância dos atributos foram obtidos através do autovetor w da matriz de julgamentos, conforme Equação 11.

Equação 11

$$A w = \lambda_{m\acute{a}x} w$$

Onde $\lambda_{m\acute{a}x}$ é o autovetor máximo. Seguindo procedimento de Oliveira e Belderrain (2008), o cálculo dos autovetores é realizado por meio da média geométrica de cada linha da matriz. Em seguida, os autovetores foram normalizados com o intuito de se obter o grau de importância de cada atributo da matriz. O cálculo de $\lambda_{m\acute{a}x}$ é realizado pela média da soma dos produtos dos autovetores pelos autovalores da matriz, conforme Equação 12.

Equação 12

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{A_w}{w_i}$$

Onde A_w é a matriz resultante do produto da comparação pareada pela matriz dos pesos a serem processados (w_i). A verificação de coerência dos julgamentos foi realizada com o uso do Índice de Consistência (IC), a qual considera o afastamento entre $\lambda_{m\acute{a}x}$ e n , conforme Equação 13.

Equação 13

$$IC = \frac{(\lambda_{m\acute{a}x} - n)}{n - 1}$$

A avaliação da aceitabilidade foi realizada pela Razão de Consistência (RC), conforme Equação 14.

Equação 14

$$RC = \frac{IC}{IR}$$

Onde *IR* é o Índice de Consistência Randômico, é derivado de uma amostra de 500 matrizes recíprocas geradas randomicamente e testadas por Saaty (1980), sendo apresentados na tabela 15, conforme o número de parâmetros. De acordo como Saaty (1980), para que os valores sejam considerados adequados, o valor de *RC* deve ser menor que 10%, ou seja, inferior a 0,1.

Tabela 15 - Escala de valores de *IR* para a comparação pareada no método AHP

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9
IR	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45

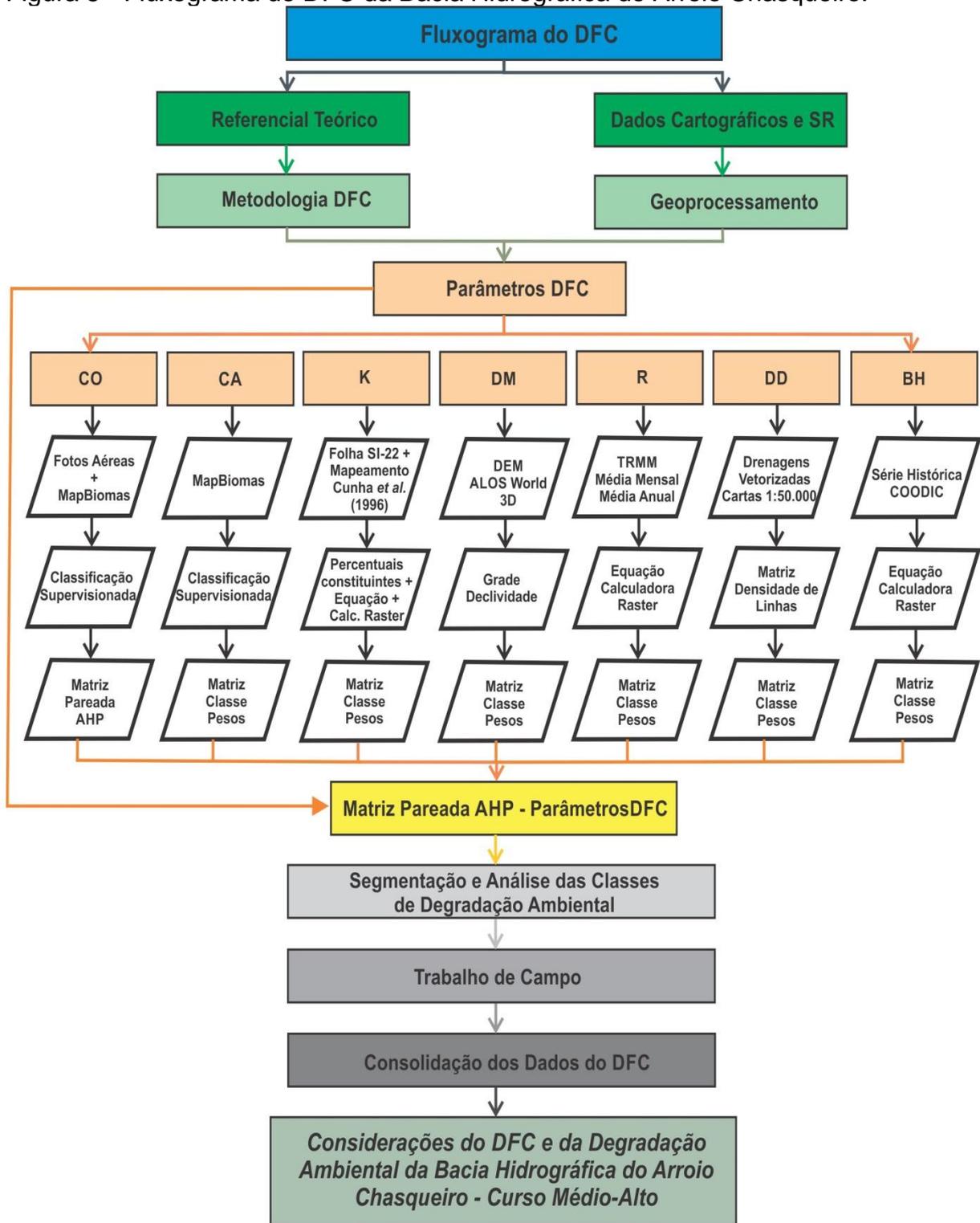
Fonte: Elaborado pelo autor.

5.9 Mapeamento Síntese do Diagnóstico Físico-Conservacionista

Visto que esta pesquisa não busca a setorização de ambientes (setorização por sub-bacias, por exemplo), mas sim a elaboração de um DFC com diferentes graus de conservação ou degradação, optou-se pela proposta de agrupamentos de frequências de resposta dos resultados da matriz da Fórmula Descritiva. Para tanto, a matriz resultante da Fórmula Descritiva no formato *TIFF* foi exportada no formato de planilha eletrônica através da ferramenta *Reporta Camada Raster* presente no *QGIS*, a qual exporta a matriz com três colunas de informação, onde as duas primeiras são as coordenadas em X e Y projetadas no sistema UTM e a terceira é a resposta quantitativa da matriz.

De posse da planilha eletrônica com os resultados da matriz DFC, foi realizada a segmentação de 5 classes conforme a resposta de resultados apresentada no gráfico de frequências. Por fim, no *Qgis* foi realizada a reclassificação da matriz resultante através da ferramenta *Reclassificar por Tabela* e os resultados discutidos conforme os aspectos de conservação e degradação presentes em cada classe, consolidando o DFC. A figura 5 apresenta o fluxograma metodológico desta pesquisa.

Figura 5 - Fluxograma do DFC da Bacia Hidrográfica do Arroio Chasqueiro.



Fonte: Elaborado pelo autor.

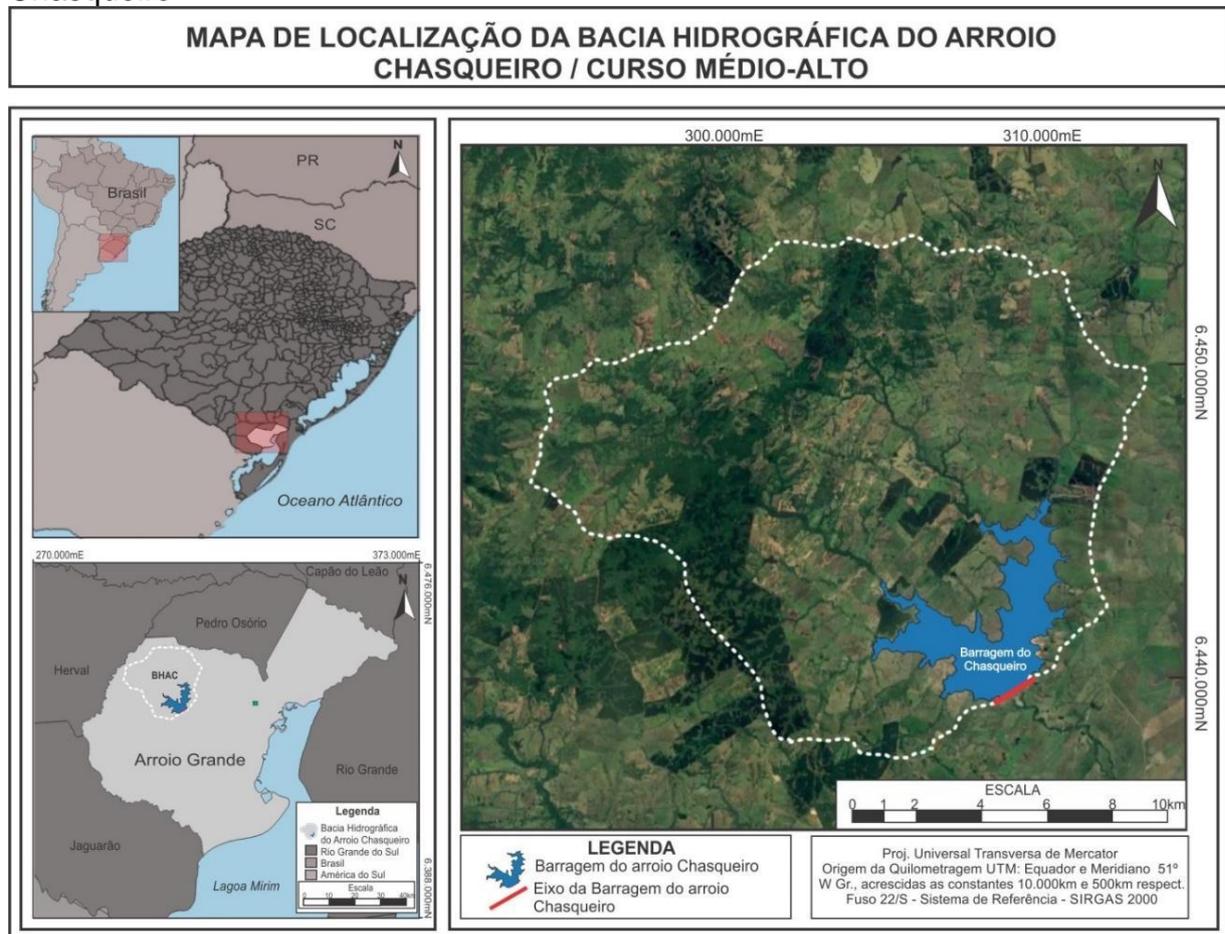
6 Caracterização da área de estudo

6.1 Localização

A bacia hidrográfica do Arroio Chasqueiro - BHAC, no seu médio-alto curso, está localizada no município de Arroio Grande/RS, sendo uma das Sub-bacias da Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo (Figura 6). Possui uma área aproximada de 249 km² e o seu canal principal, o Arroio Chasqueiro, estende-se por cerca de 18 km desde suas nascentes localizadas nos altos da Vila Airosa Galvão (239 m). Sua bacia de contribuição situa-se entre as longitudes 52° 57' 47" e 53° 11' 14" W e latitudes 32° 01' 19" e 32° 11' 07" S, compreendendo uma extensão de cerca de 21,5 km no sentido leste a oeste e 18,2 km no sentido norte a sul.

A área drenada pelo Arroio João Dias tem como limites físicos a sul/sudeste a Barragem do Arroio Chasqueiro; a norte a bacia do Arroio Lajeado; a oeste a bacia do Arroio Arachanes e a leste a bacia do Arroio Sarandi.

Figura 6 - Mapa de Localização do médio-alto curso da bacia hidrográfica do Arroio Chasqueiro



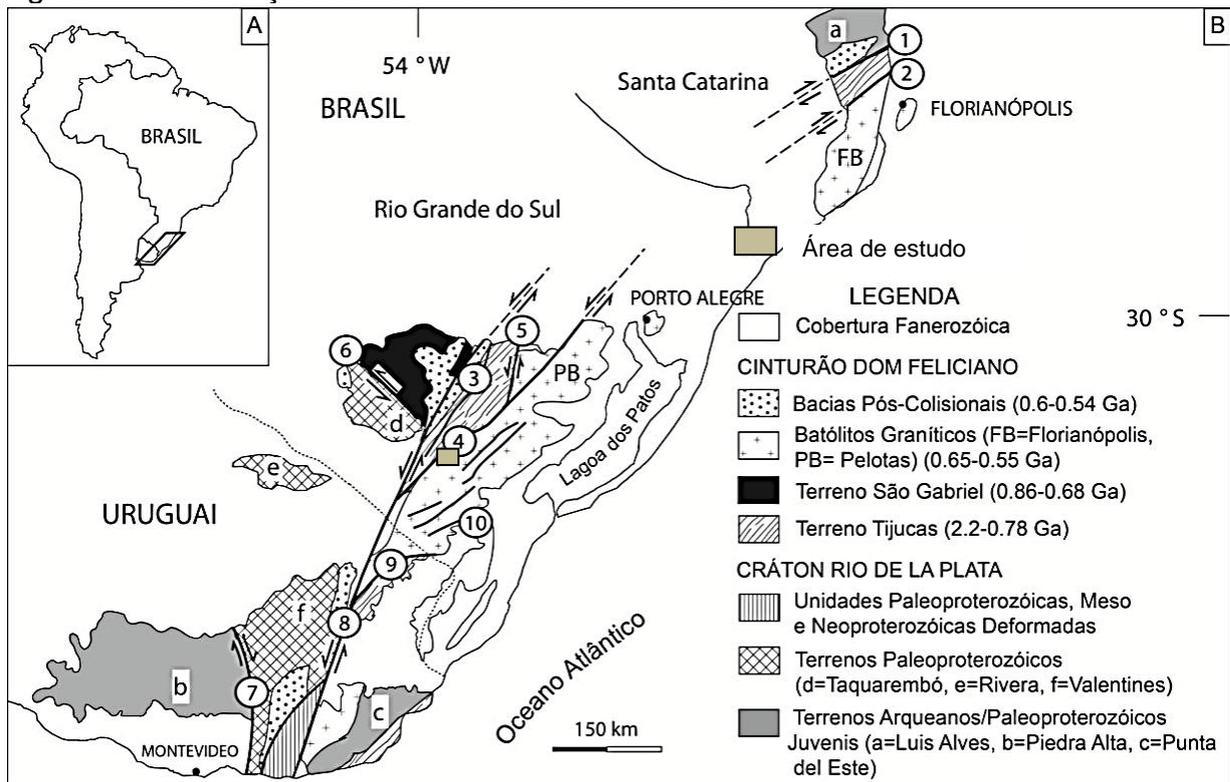
Fonte: Elaborado pelo autor.

6.2 Geologia Regional e Local

A área de estudo está localizada na unidade geológica mais antiga presente no estado do RS, denominada de Escudo Sul-Riograndense (ESRG). No ESRG, a área de estudo perfaz os terrenos da borda leste do Batólito de Pelotas (Figura 7), composto basicamente por suítes e complexos graníticos originados no ciclo brasileiro (950Ma-490Ma) e septos do embasamento.

De acordo com Philipp e Machado (2001, p.257), o “Batólito Pelotas é um complexo plutônico, multi-intrusivo e polifásico, resultante de uma longa evolução, consequência da adição de distintos processos tectônicos”. Philipp *et al.* (2002, p. 278) explicam que o “Batólito é constituído de várias suítes, cujo magmatismo teve duração de cerca de 70 milhões de anos (entre 630 Ma e 570 Ma)”, durante o Ciclo Brasileiro, ocorrido entre o final do Proterozóico Superior e início do período Paleozóico da era Fanerozóica (MENEGAT *et al.*, 1998).

Figura 7 - Localização do Batólito de Pelotas no ESRG



Fonte: adaptado de Philipp *et al.* (2012).

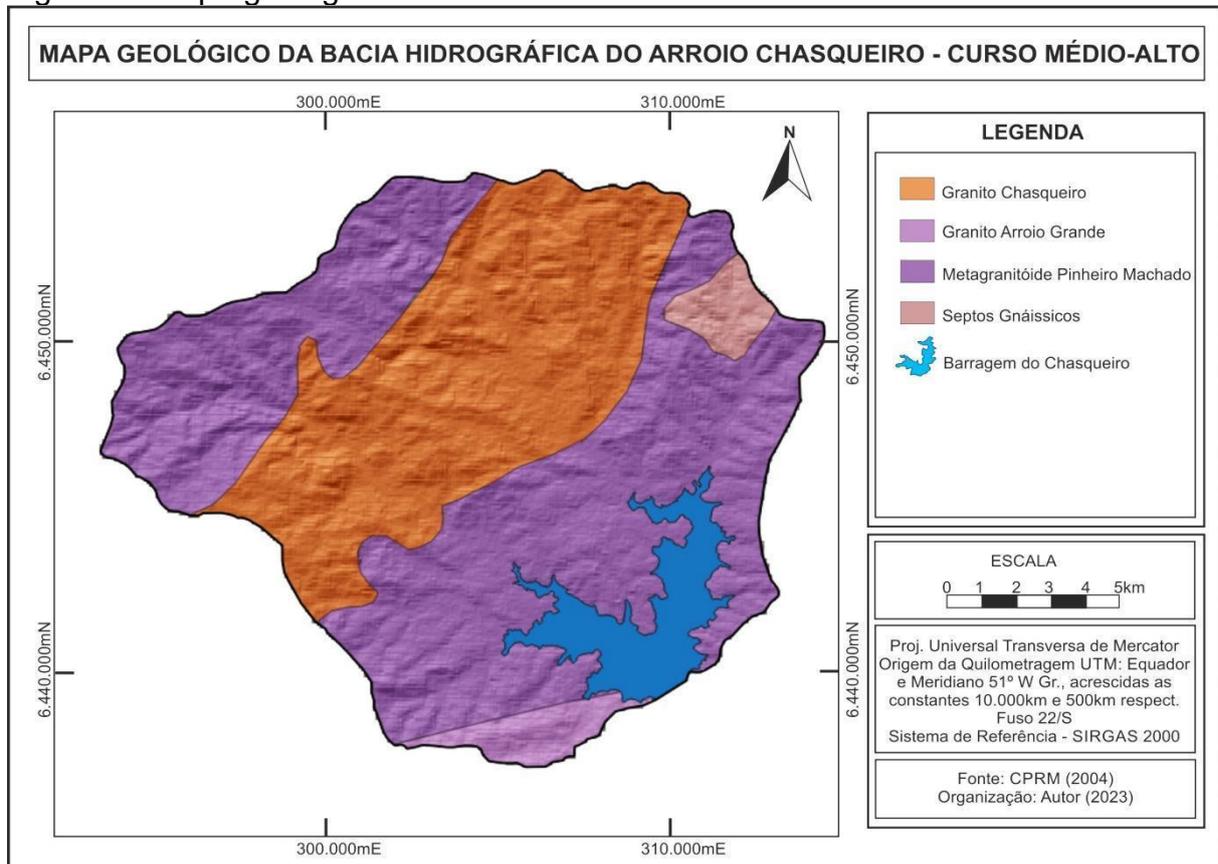
Dentre as suítes localizadas no Batólito Pelotas, a Suíte Pinheiro Machado concentra maior parte das litologias que ocorrem na BHAC. As litologias predominantes na Suíte Pinheiro Machado são caracterizadas por granitóides

metamorfizados da unidade Metagranitóide Pinheiro Machado, dentre eles dioritos e enclaves máficos, granito porfirítico e granodioritos equigranulares. De acordo com os estudos de Philipp (1991), na região de estudo, a litologia apresenta granodioritos a tonalíticos migmatizados com grandes e abundantes septos de paragnaisse, com aproximadamente 613 Ma. No interior da Suíte Pinheiro Machado, ocorrem os Septos Gnáissicos (781 Ma), com xenólitos apresentando dimensões que variam das centimétricas a quilométricas, com gnaisses, biotita gnaisse, quartzitos, mármore e anfibólitos.

Sequencialmente, ocorre na borda leste da área de estudo uma lente do Granito Arroio Grande, com cerca de 606 Ma, apresentando predominantemente leucogranitos, grossos, com foliação milonítica, englobando enclaves de gnaisses

Por fim, o Granito Chasqueiro, com cerca de 600 Ma, é representado por um granito porfirítico, grosso, com foliação localizada nas bordas. A maioria dos afloramentos existentes na área de estudo, estão relacionados ao Granito Chasqueiro. A figura 8 apresenta o mapa geológico da área de estudo.

Figura 8 - Mapa geológico da área de estudo



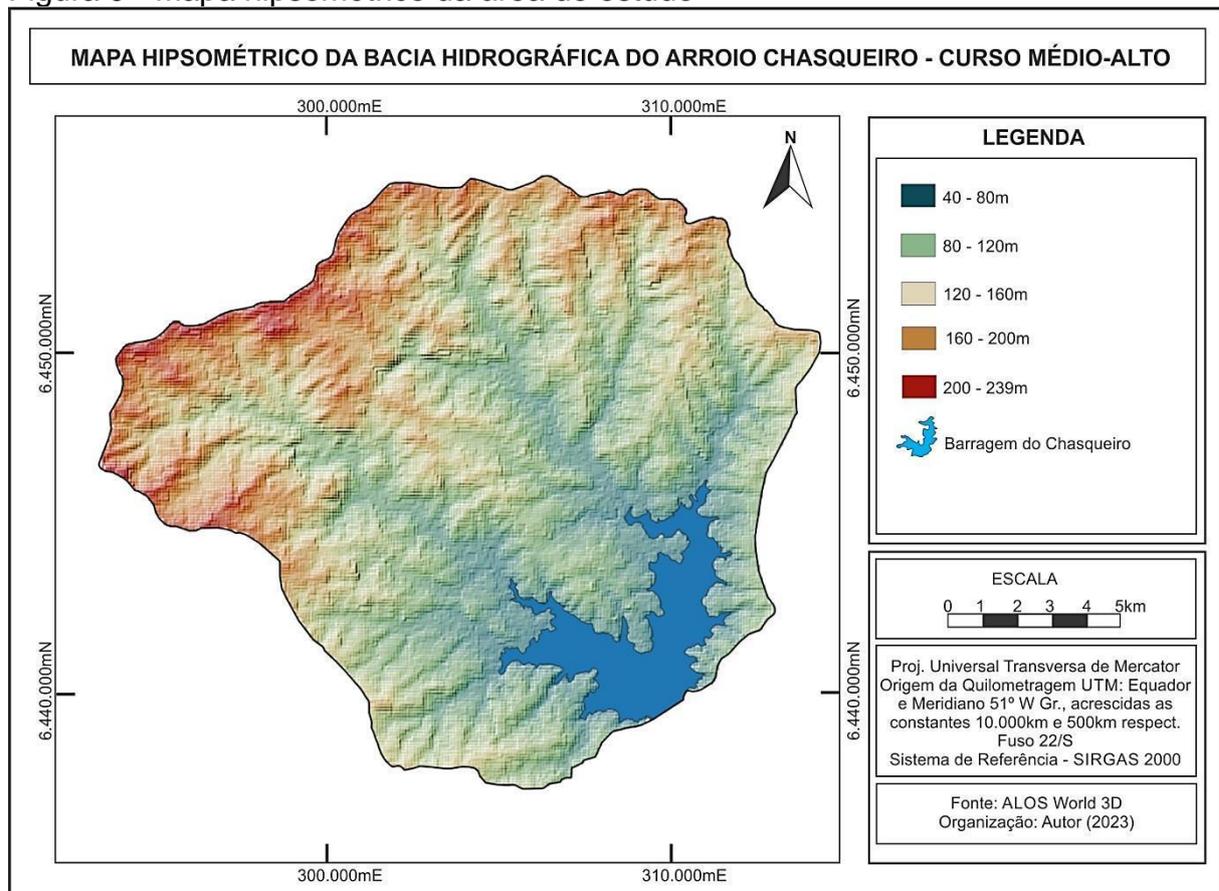
Fonte: Adaptado de CPRM (2022).

6.3 Geomorfologia

As formas de relevo da área de estudo estão dentro da zona morfoescultural do Escudo Cristalino Sul Rio-Grandense, sendo mapeados cinco tipos de formas semelhantes, através da interpretação dos mapas de declividade e amplitude topográfica. O mapeamento detalhado foi realizado por ALM (2023) e está resumidamente apresentado neste subcapítulo.

As maiores altitudes da BHAC estão localizadas no divisor de águas norte/noroeste, na região conhecida como Vila Airosa Galvão e Coxilha do Lageado, chegando a 239 m de altitude (Figura 9). Na região Nordeste as altitudes chegam a 225 m, na localidade de Rincão do Salso. Já as menores altitudes ocorrem na região sudeste, na borda da área alagada pela Barragem do Arroio Chasqueiro, definida pela cota de extravasamento do vertedouro em 42 m.

Figura 9 - Mapa hipsométrico da área de estudo

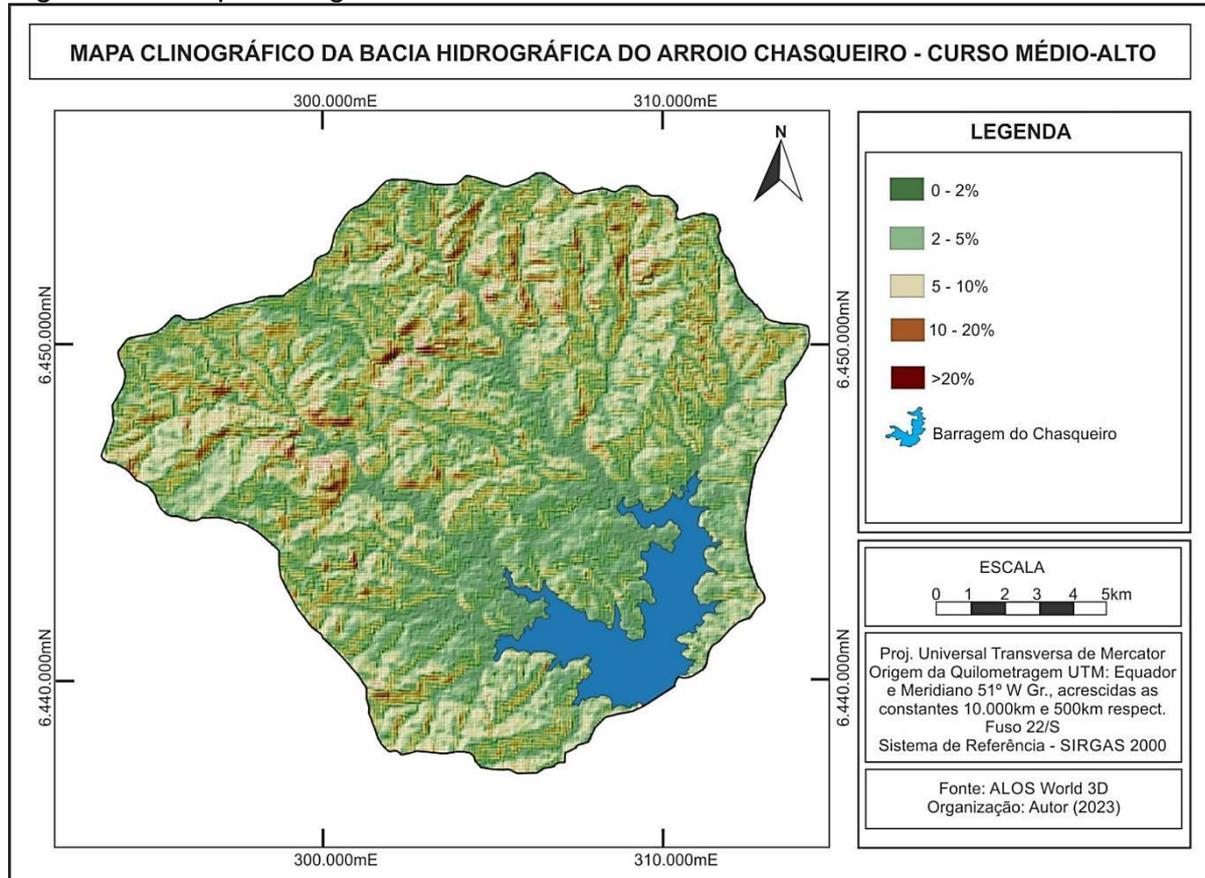


Fonte: Alos World 3D. Elaborado pelo autor.

Já no que se refere à declividade do terreno (Figura 10), as maiores declividades referem-se às regiões de encosta, limites entre as Unidades do Planalto

Rebaixado Sul Rio-grandense e o Planalto Residual Sul Rio-grandense. São basicamente as formas situadas sobre a unidade geológica do Granito Chasqueiro. Nessa região a declividade varia de 20 a 47%, predominando os 23%. Já nas regiões próximas aos vales dos Arroios Chasqueiro e Chasqueirinho, a declividade varia de 0 a 10%, predominando inclinações não superiores a 5%.

Figura 10 - Mapa clinográfico da área de estudo

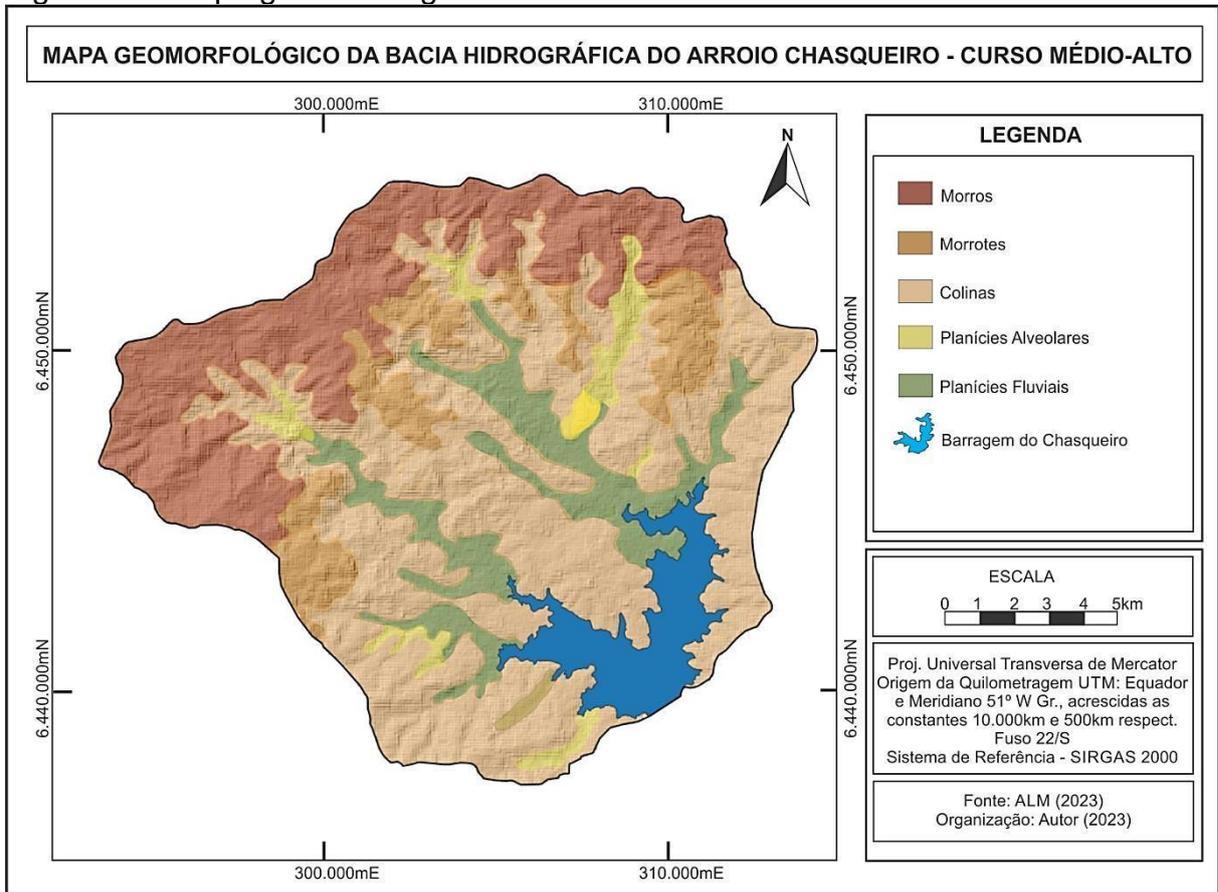


Fonte: Alos World 3D. Elaborado pelo autor.

Sendo assim, a morfografia das formas de relevo da BHAC é compartimentada em cinco padrões de formas semelhantes (Figuras 11 e 12), onde tem-se na região norte/noroeste Morros que limitam a leste o Planalto Residual Sul Rio-grandense. As amplitudes variam de 152 m a 239 m, com declividades altas superiores a 20%, predominantemente. Na borda dos Morros, ocorrem Morrotes, já no Planalto Rebaixado Sul Rio-grandense, originados a partir do rebaixamento das formas pretéritas do Planalto Residual Sul Rio-grandense. Apresentam declividades de média a altas, entre 15 e 30%, principalmente nas vertentes mais inclinadas perpendiculares

ao *Trend* dos lineamentos estruturais preferenciais NW/NE. As altitudes variam de 123 a 181 m.

Figura 11 - Mapa geomorfológico da área de estudo



Fonte: ALM, 2023. Elaborado pelo autor.

As Colinas são as formas de relevo predominantes na área da BHAC, caracterizadas por declividades médias entre 5 e 10% e altitudes que não ultrapassam os 120 metros e amplitudes entre 20 e 60 m. Em geral, estão localizadas nos terrenos interfluviais do curso médio dos Arroios Chasqueiro e Chasqueirinho, com topos arredondados a quase planos.

A unidade Planícies Fluviais é representada pelas áreas do leito maior dos Arroios Chasqueiro e Chasqueirinho e mais dois tributários principais. As declividades variam de 0 a 5%, predominando inclinações próximas a 2% e altitudes não superiores a 60 m e amplitudes de 35 a 60m. São áreas onde a aggradação supera a degradação, com a tendência ao desenvolvimento de depósitos quaternários. Por fim, as Planícies Alveolares, são o resultado da formação de depósitos em planície causados pelo estreitamento do leito maior das drenagens supracitadas. As

declividades variam de 0 a 5%, predominando inclinações próximas a 2% e altitudes não superiores a 80 m e amplitudes de 60 a 90 m.

Figura 12 - A) Formas em Morros; B) Morrotes; C) Colinas; D) Planícies Fluviais; E) Planícies Alveolares



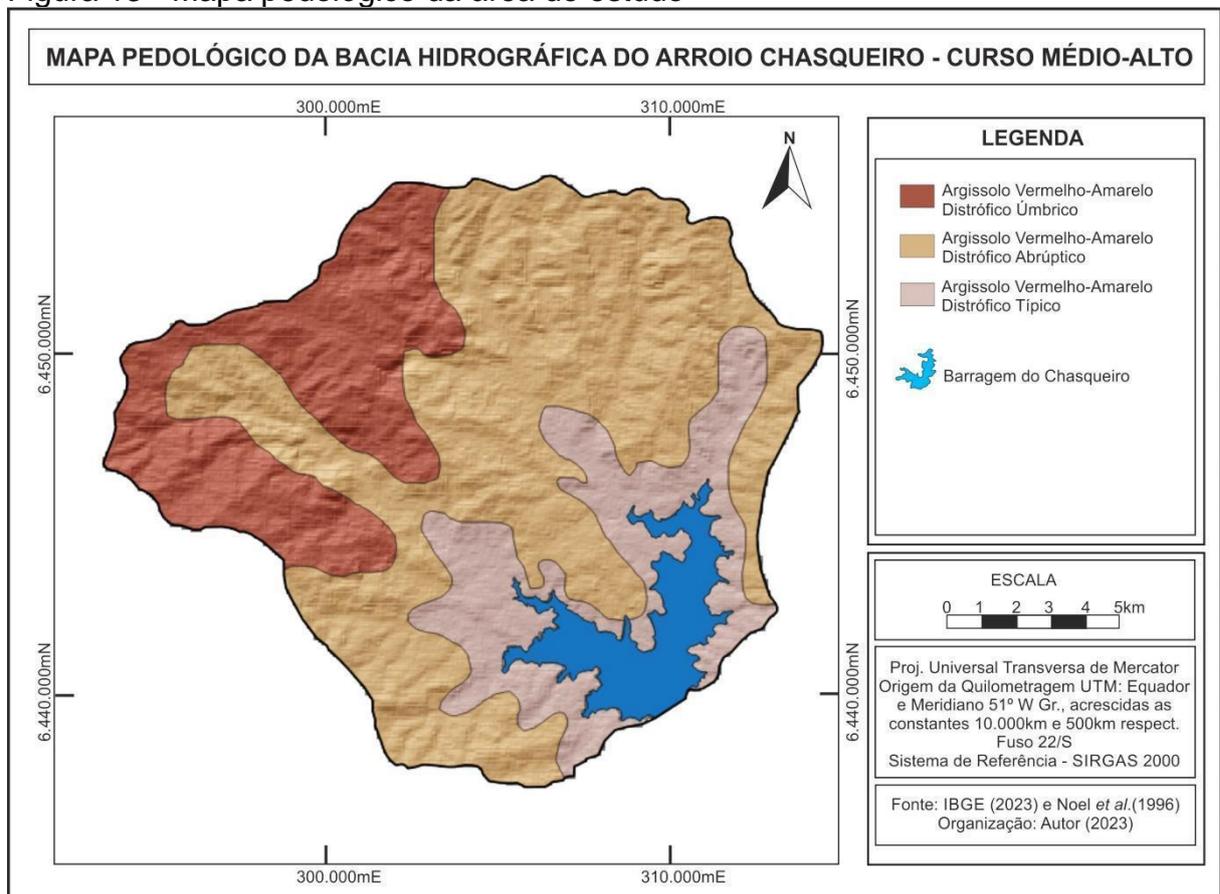
Fonte: Elaborado pelo autor.

6.4 Pedologia

A área de estudo apresenta uma relativa homogeneidade nos solos mapeados por Cunha *et al.* (1996) e IBGE (2023), sendo necessário para a sua individualização a utilização do 4º nível categórico (Subgrupo) da classificação de solos de Santos *et al.* (2018) para a individualização e descrição dos mesmos.

Em termos gerais, ocorrem 3 Subgrupos (4º nível categórico) dos Argissolos Vermelho-Amarelo, conforme figura 13. Apresentam características marcantes como: aumento de argila do horizonte superficial A para o subsuperficial B que é do tipo textural (Bt), geralmente acompanhado de boa diferenciação também de cores e outras características. As cores do horizonte Bt variam de amareladas a avermelhadas, e as do horizonte A, são sempre mais escurecidas. São pouco profundos a profundos, horizontes bem definidos, visto as características morfológicas e analíticas de cor, textura e estrutura entre os horizontes ser de progressiva a abrupta (SANTOS *et al.*, 2018).

Figura 13 - Mapa pedológico da área de estudo



Fonte: Adaptado de Cunha *et al.* (1996) e IBGE (2023). Elaborado pelo Autor.

Segundo Cunha *et al.* (1996), os Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos úmbricos (PVA Du) ocorrem em relevo ondulado na forma de morros e bordas de coxilhas, com energia de média a alta. São normalmente bem drenados, com argila de atividade baixa (Tb). Os horizontes apresentam sub-horizonte A1 (0 cm – 15 cm de profundidade), A2 proeminente mais consolidado e de aspecto homogêneo e

horizonte B textural mais argiloso que o A; o sub-horizonte B2 apresenta fragmentos com cerosidade a sua volta sobrepostos ao horizonte C. Não apresentam erosão e rochas aparente.

Os Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos abrupos (PVA Da) ocorrem em relevo ondulado nas bordas de coxilhas, com energia de média a alta. São normalmente bem drenados, com argila de atividade baixa (Tb). Os horizontes apresentam sub-horizonte A1 (0 cm – 15 cm de profundidade), A2 proeminente mais consolidado e de aspecto homogêneo e horizonte B com mudança textural abrupta; o sub-horizonte B2 apresenta fragmentos com cerosidade a sua volta sobrepostos ao horizonte C. Apresentam baixo potencial erosivo e rochas aparente (CUNHA *et al.*, 1996).

Os Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos típicos (PVA Dt) ocorrem em relevo aplainado de colinas e rampa, com energia baixa. São normalmente bem drenados, com argila de atividade baixa (Tb). Os horizontes apresentam sub-horizonte A1 (0 cm – 20 cm de profundidade), A2 típico consolidado e de aspecto homogêneo e horizonte B com mudança textural típica; o sub-horizonte B2 apresenta fragmentos com cerosidade a sua volta sobrepostos ao horizonte C. Apresentam baixo potencial erosivo e sem rochas aparente (CUNHA *et al.*, 1996).

6.5 Clima

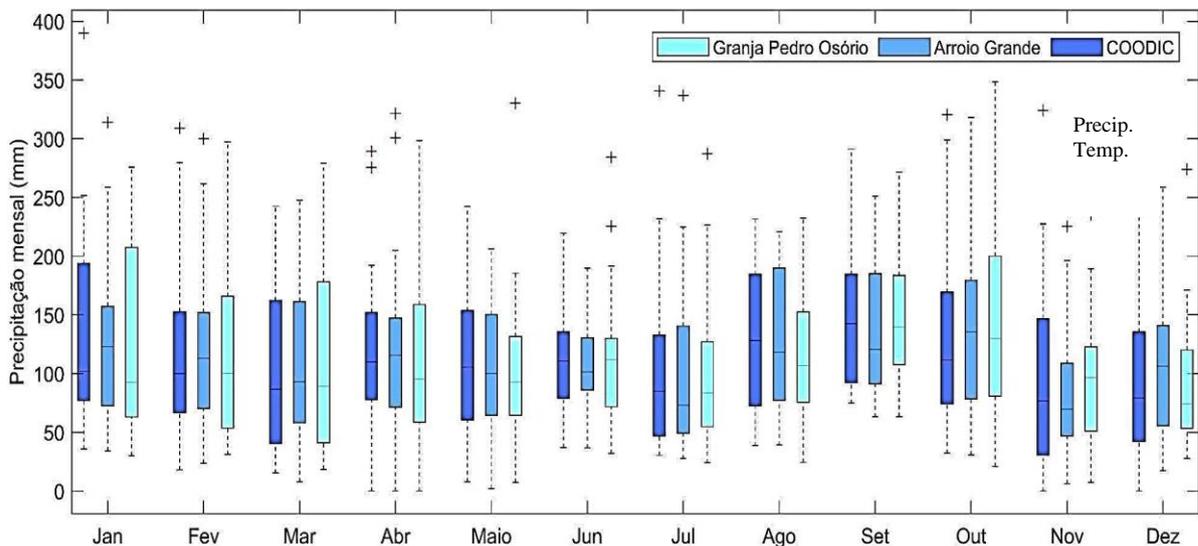
Segundo a classificação de Köppen e conforme ALM (2023), a área de estudo apresenta o Clima Subtropical Úmido (Cfa), sendo clima temperado, (com verões suaves e chuvas bem distribuídas), com temperatura média anual do ar de 17,8 °C, com estações bem definidas. Para o mês de janeiro, considerado o mais quente, a temperatura média do ar é de 23,2 °C, enquanto para o mês de julho, considerado o mais frio, a temperatura média do ar é de 12,3 °C (ALM, 2023).

Para a análise pluviométrica da região, foi realizado um compilado de dados entre os anos de 2001 e 2019 através de três estações pluviométricas: COODIC, Granja Coronel Pedro Osório e Arroio Grande. Cabe enfatizar que somente a estação pluviométrica do Chasqueiro encontra-se dentro dos limites da bacia em análise, as demais estações estão situadas no entorno, no entanto, a análise dos dados é importante, devido a influência climática exercida sobre a região.

A partir da série histórica analisada é possível observar que a precipitação é relativamente bem distribuída ao longo dos meses, sendo uma característica do Cfa,

com verões quentes e chuvas bem distribuídas ao longo de todo o ano, conforme pode ser observado na figura 14. Quando analisada a mediana, os maiores volumes precipitados ocorrem no mês de setembro (142,4 e 139,5 mm) na estação da COODIC e Granja Coronel Pedro Osório, e para o mês de outubro (135,5 mm) na estação de Arroio Grande. Já as menores medianas ocorrem em novembro (76,6 e 69,5 mm) na estação da COODIC e Arroio Grande, e para o mês de dezembro (74,1 mm) na estação da Granja Coronel Pedro Osório (ALM, 2023).

Figura 14 - Precipitação (mm) mensal para a Bacia Hidrográfica do Arroio Chasqueiro no período entre 2001 - 2019



Fonte: ALM (2023).

6.6 Hidrografia

Conforme a classificação adotada pelo IBGE, a BHAC, pertence à bacia hidrográfica da Lagoa Mirim-São Gonçalo, a qual encontra-se inserida na Bacia Hidrográfica Litorânea. Em geral, os rios desta região apresentam perfis longitudinais compartimentados em duas secções clinográficas, com baixa sinuosidade e declives acentuados no trecho a qual o leito está assentado sobre os terrenos do Escudo Sul Rio-grandense. Já no curso das drenagens sobre a Planície Costeira, as declividades são baixas e sinuosos.

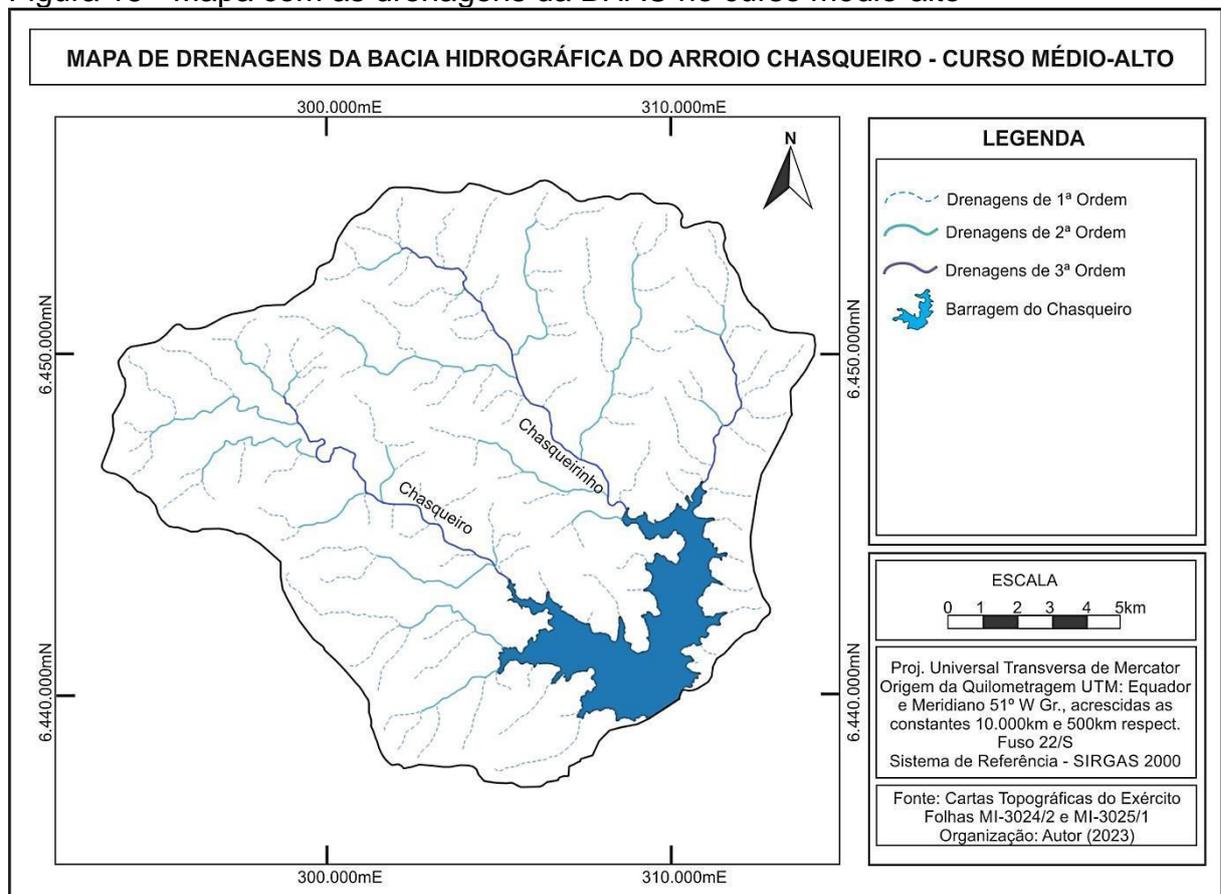
Com relação às drenagens, a BHAC no seu curso médio-alto, apresenta o Arroio Chasqueiro como canal principal e mais três importantes tributários, os Arroios Chasqueirinho e os outros dois com nomes não conhecidos. Na BHAC foram

mapeadas 145 drenagens (Figura 15), sendo 120 de 1ª ordem, 22 de 2ª ordem e 3 de 3ª ordem, conforme a classificação de Strahler (1952), *apud* Christofoletti (1980).

O Arroio Chasqueiro nasce nos altos da bacia, próximo a Vila Airosa Galvão, com sua nascente mais elevada localizada a 239 m de altitude e deságua na própria barragem do Chasqueiro, em altitude próxima a 42 m (dependente do nível da barragem), totalizando 18,063 km de extensão. Já o Arroio Chasqueirinho, possui um comprimento total de 14,435 km, com suas nascentes nos altos da Coxilha do Lageado, em altitude próxima a 225 m. A figura 15 apresenta o mapa com as drenagens existentes na BHAC.

A barragem do Chasqueiro, em sua cota de extravasamento de vertedouro (42 m), recobre uma área aproximada de 17,20 km² (1.720 hectares), a qual ocorre geralmente entre os meses de outubro e novembro. Já os níveis mínimos geralmente são alcançados nos meses de abril e maio, quando a cota pode alcançar os 30 m, recobrando uma área de 12,31 km² (1.123 hectares), aproximadamente.

Figura 15 - Mapa com as drenagens da BHAC no curso médio-alto



Fonte: Cartas topográfica do Exército. Elaborado pelo autor.

7 Resultados dos Parâmetros DFC

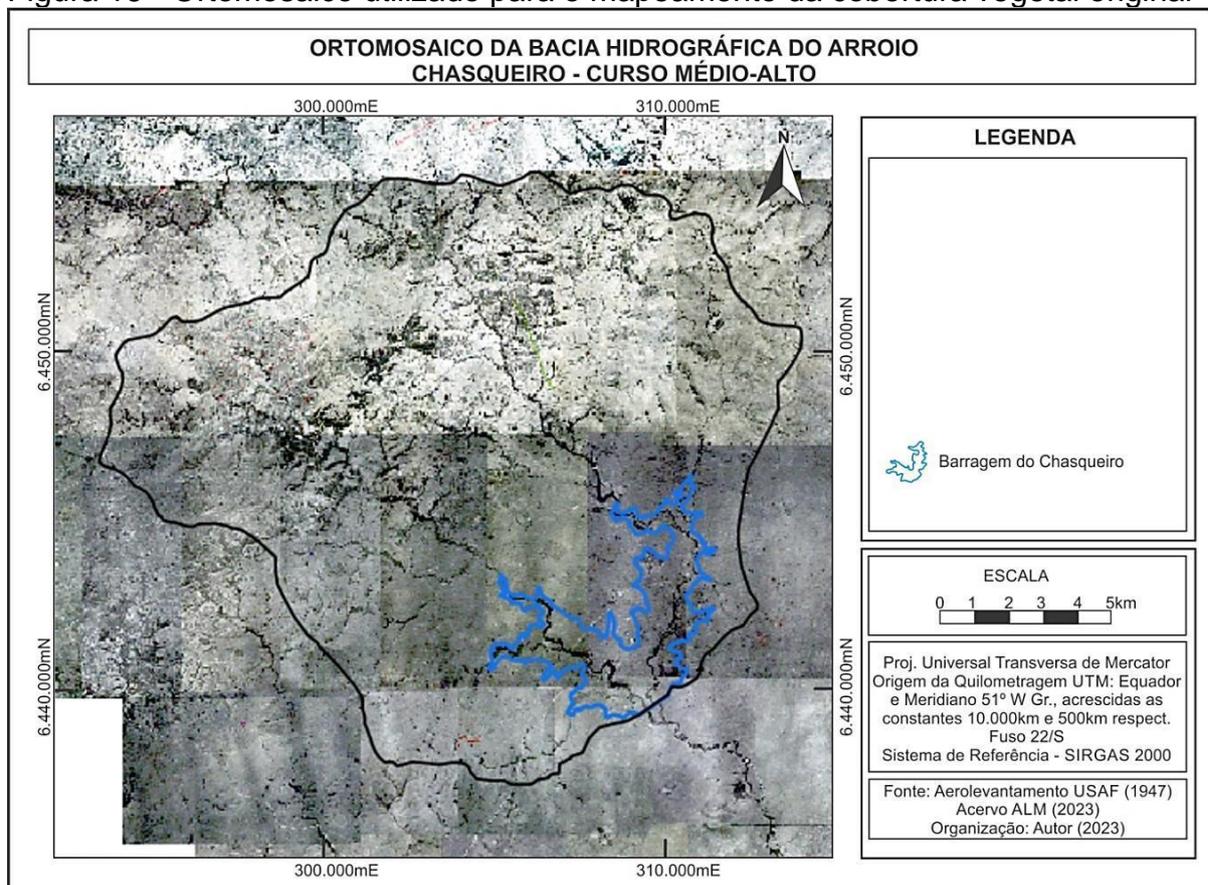
7.1 Parâmetro Cobertura Vegetal Original (CO)

7.1.1 Uso e Cobertura da terra dos anos analisados

A área de estudo está inserida no Bioma Pampa, predominando em sua cobertura original a formação de Campo Arbustivo com tipologia campestre natural, entremeada por vegetação arbustiva e florestal de baixa estatura (GIRARDI-DEIRO, 1999). Segundo o mapeamento de Hasenack *et al.* (2010), a região onde está inserida a BHAC, apresenta uma significativa variabilidade de espécies hibernais de Gramíneas, especialmente as Flechilhas (*Nassella* spp. e *Piptochaetium* spp.).

Para a análise da cobertura vegetal original, recorreu-se aos dados pretéritos disponíveis, sendo que o aerolevanteamento de 1947, realizado pela USAF (*United States Air Force*), como fonte de mapeamento (Figura 16). Este aerolevanteamento também foi utilizado por Sondotécnica (1976), para as modelagens de aporte de sedimentos no reservatório e, por conseguinte, a estimativa de sua vida útil.

Figura 16 - Ortomosaico utilizado para o mapeamento da cobertura vegetal original



Fonte: Acervo ALM (2023), organizado pelo autor.

Sendo assim, os resultados do mapeamento de uso e cobertura original, demonstram que no ano de 1947, mais de 90% da área de estudo era composta pela Formação Campestre, concordando com a análise e descrição de Girardi-Deiro (1999), para a composição do Bioma Pampa. Estava preservada principalmente nos terrenos de morros, morrotes e colinas. Em geral, predominam espécies herbáceas com padrão graminóide natural, ocorrendo manchas de origem exótica invasora ou de uso forrageiro em pequenas áreas (GIRARDI-DEIRO,1999).

Já nas margens dos cursos fluviais foram encontradas Formações Florestais em 8,46% da área (21,0563 km²), principalmente margeando os cursos dos Arroios Chasqueiro e Chasqueirinho. Além disso, na área do Granito Chasqueiro, também ocorriam significativos polígonos de Formação Florestal, visto o contexto de afloramentos rochosos existentes. A formação florestal é representada por vegetação lenhosa com espécies arbóreas ou arbóreo-arbustivas, com predomínio de dossel contínuo, incluindo partes de floresta ombrófila, decidual, semidecidual e parte das formações pioneiras.

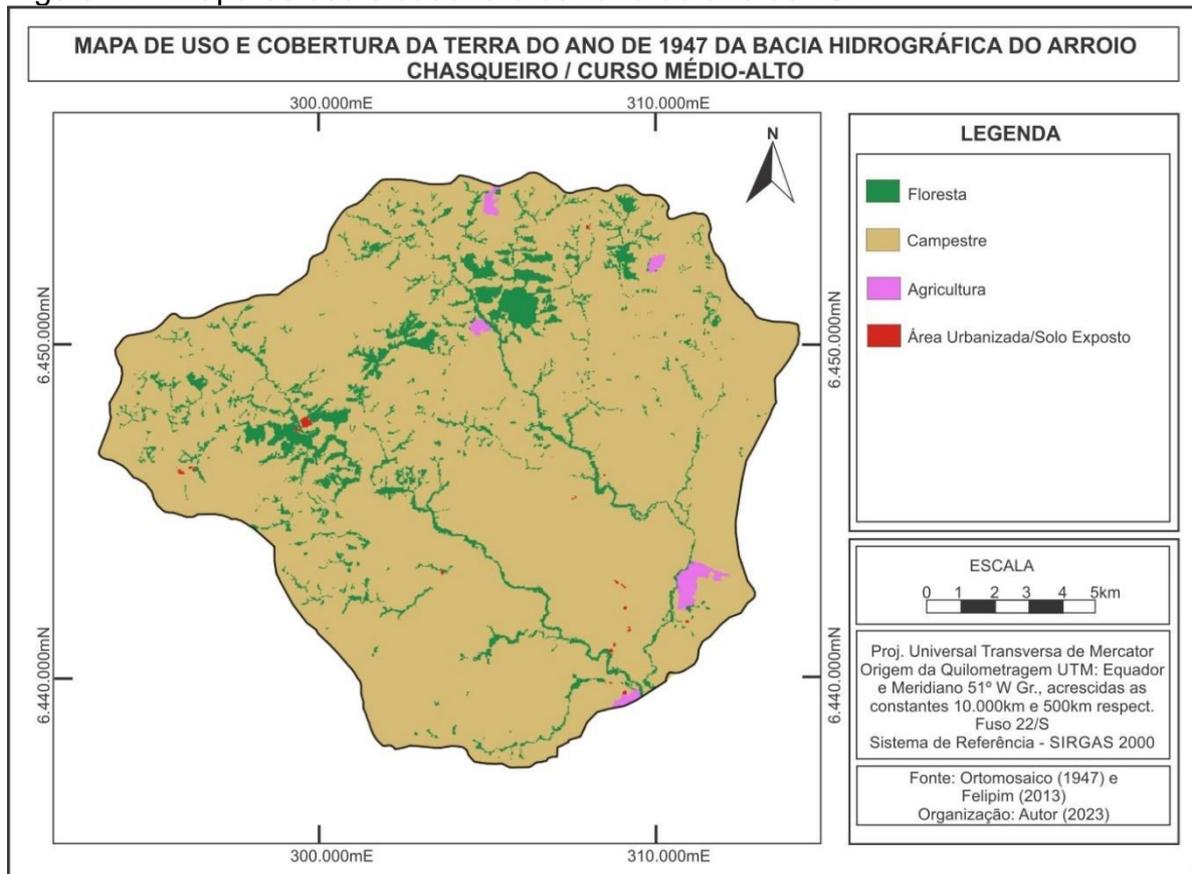
Em 0,71% da área de estudo, foram encontrados polígonos com cultivos agrícolas temporários, segundo Sondotécnica (1976) relacionados ao cultivo de forrageiras como a alfafa e o milho forrageiro. Já em polígonos menores, totalizando 0,10%, foram encontradas áreas com solo exposto, relacionadas principalmente ao desenvolvimento do cultivo convencional de culturas temporárias e de estruturas agropecuárias, principalmente de mangueiras e piquetes. A tabela 16 apresenta o resumo das áreas de uso e cobertura do solo para o ano de 1947 e a figura 17 apresenta o mapa resultante.

Tabela 16 - Uso e cobertura da terra mapeado para o ano de 1947

Classe	Área (%)	Área (ha)	Área (km²)
Floresta	8,46	2.105,63	21,0563
Campestre	90,73	22.581,75	225,8175
Agricultura	0,71	177,97	1,7797
Área Urbanizada/Solo Exposto	0,10	24,67	0,2467
Total		24.890,02	248,9002

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 17 - Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 1947



Fonte: Ortomosaico USAF (1947). Elaborado pelo autor.

A partir do ano de 1985, os dados de uso e cobertura da terra foram obtidos do projeto MapBiomias coleção 8. Comparando-se os dados do ano de 1947 com 1985, nota-se uma significativa expansão das áreas com culturas temporárias, sendo que, conforme informações da COODIC, estão relacionadas diretamente com o plantio de culturas de verão (milho) e inverno (trigo), neste período. As culturas agrícolas ocupam principalmente as áreas com morfologia em colinas, pois são formas que facilitam a mecanização agrícola. Os polígonos com agricultura ocupam cerca de 8,94% da área de estudo, um incremento próximo a 1.250% entre 1947 e 1985.

Também ocorreu um crescimento expressivo na formação florestal, ocupando aproximadamente 16% da área, um aumento de 185% no período. As áreas urbanizadas/solo exposto também cresceram, chegando a 0,2057%, principalmente por causa das áreas de extração mineral para a construção da Barragem do Chasqueiro.

Visto a construção da barragem *supracitada*, o mapeamento do ano de 1985 é o primeiro a apresentar a área alagada em sua totalidade, onde a barragem ocupa 17,8981 km², ou seja, 7,1908% da área de estudo. Com a expansão das áreas das

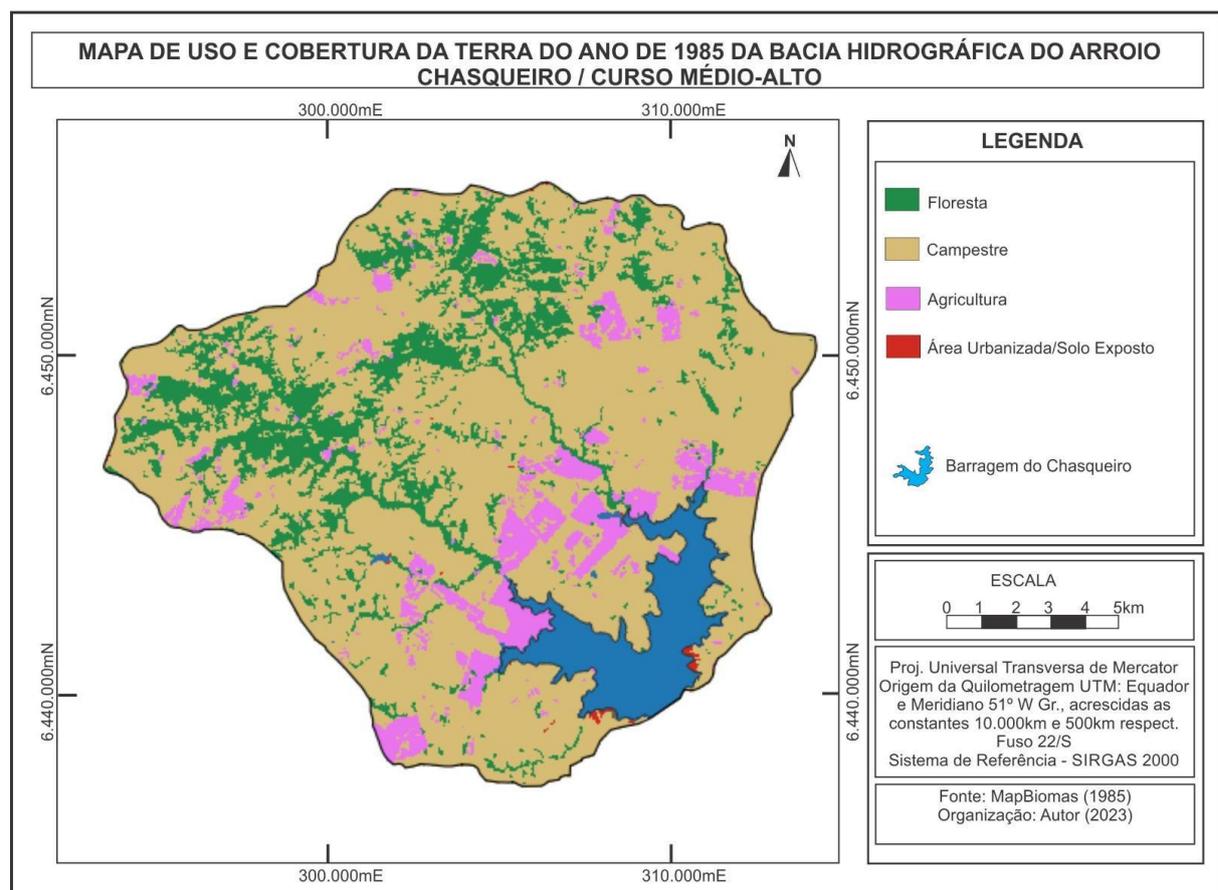
classes citadas anteriormente, a classe campestre foi a que apresentou redução de área no período, passando de 225,81 km² para 168,5371km², uma redução de aproximadamente 25%. Os dados de uso e cobertura da terra do ano de 1985 foram resumidos na tabela 17 e apresentados espacialmente na figura 18.

Tabela 17 - Uso e cobertura da terra para o ano de 1985

Classe	Área (%)	Área (ha)	Área (km ²)
Floresta	15,9471	3.969,20	39,6920
Campestre	67,7127	16.853,71	168,5371
Agricultura	8,9437	2.226,10	22,2610
Área Urbanizada/Solo Exposto	0,2057	51,20	0,5120
Barragem	7,1908	1.789,81	17,8981
Total		24.890,02	248,9002

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 18 - Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 1985



Fonte: MapBiomias, 1985. Elaborado pelo autor.

O mapeamento do uso e cobertura do solo para o ano de 1995 evidencia o crescimento e evolução das áreas ocupadas com culturas temporárias, além disso, a inserção da atividade da Silvicultura. As áreas ocupadas com agricultura tiveram um

crescimento de aproximadamente 8%, chegando a 9,6048% da área de estudo. Já os polígonos de Silvicultura, as quais não foram identificados antes de 1995, totalizam 0,3396% da área. Segundo informações da COODIC, a partir dos anos de 1990, começa o plantio de espécies arbóreas, principalmente o Eucalipto, inicialmente com a finalidade de geração de energia e produção de carvão vegetal e posteriormente para a produção de celulose. Em geral, recobrem áreas com solos mais rasos em relevos de morrotes e colinas, ocorrendo pequenas lentes em áreas com afloramentos rochosos.

As áreas com floresta nativa tiveram pequeno crescimento (4%), chegando a 16,5505% da área de estudo. Em contrapartida, a área campestre manteve o processo de retração, chegando a 66,1474% da área de estudo e uma diminuição de aproximadamente 2,2% em comparação com o decênio anterior.

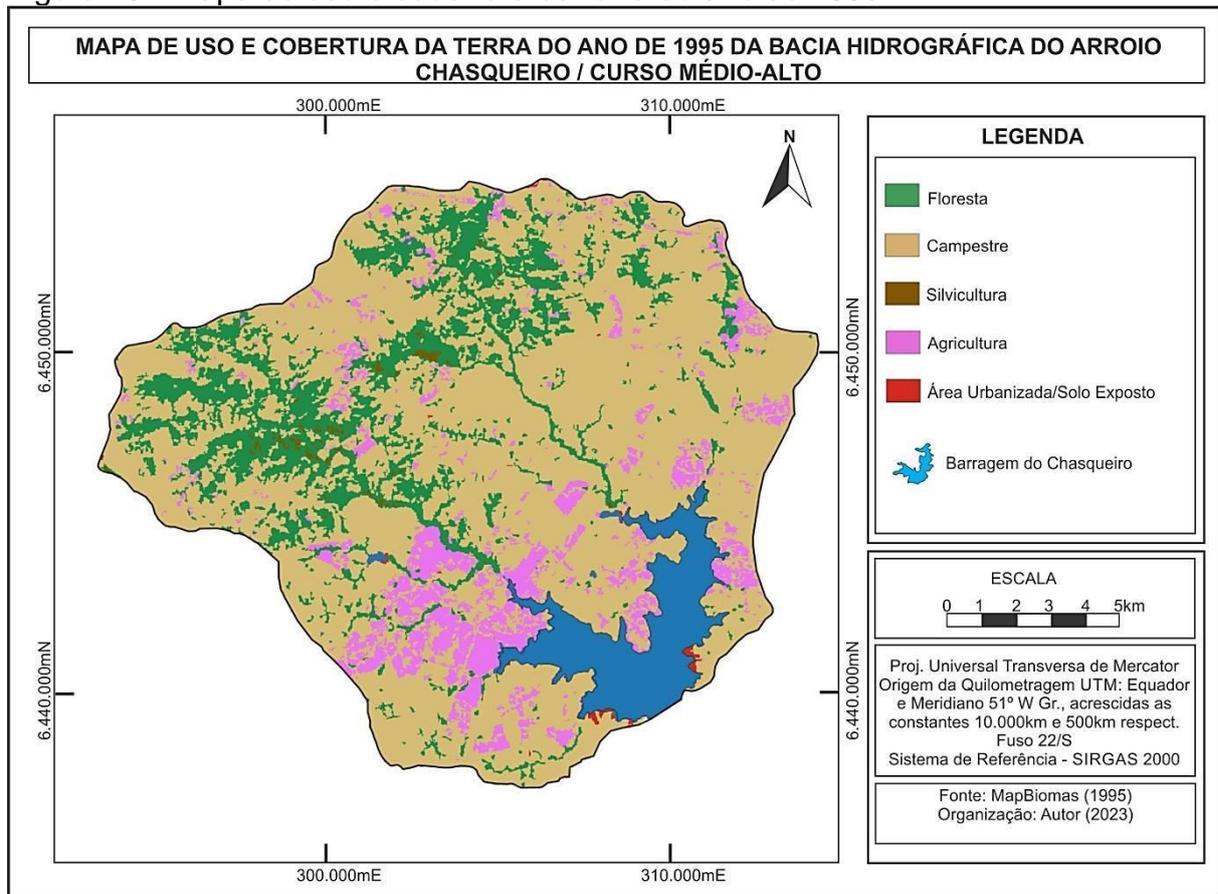
A área urbanizada/Solo exposto permaneceu praticamente a mesma, ocupando cerca de 0,2%. Da mesma forma ocorreu com a classe barragem, a qual apresentou praticamente a mesma área superficial mapeada em 1985, com 17,8124 km² e 7,1564% da área de estudo. A figura 19 apresenta o mapa de uso e cobertura da terra para o ano de 1995 e a tabela 18 apresenta de forma sintética os resultados quantitativos das áreas dos polígonos mapeados.

Tabela 18 - Uso e cobertura da terra para o ano de 1995

Classe	Área (%)	Área (ha)	Área (km²)
Floresta	16,5505	4.119,43	41,1943
Campestre	66,1474	16.464,10	164,6410
Silvicultura	0,3396	84,54	0,8454
Agricultura	9,6049	2.390,66	23,9066
Área Urbanizada/Solo Exposto	0,2012	50,05	0,5005
Barragem	7,1564	1.781,24	17,8124
Total		24.890,02	248,9002

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 19 - Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 1995



Fonte: MapBiomias, 1995. Elaborado pelo autor.

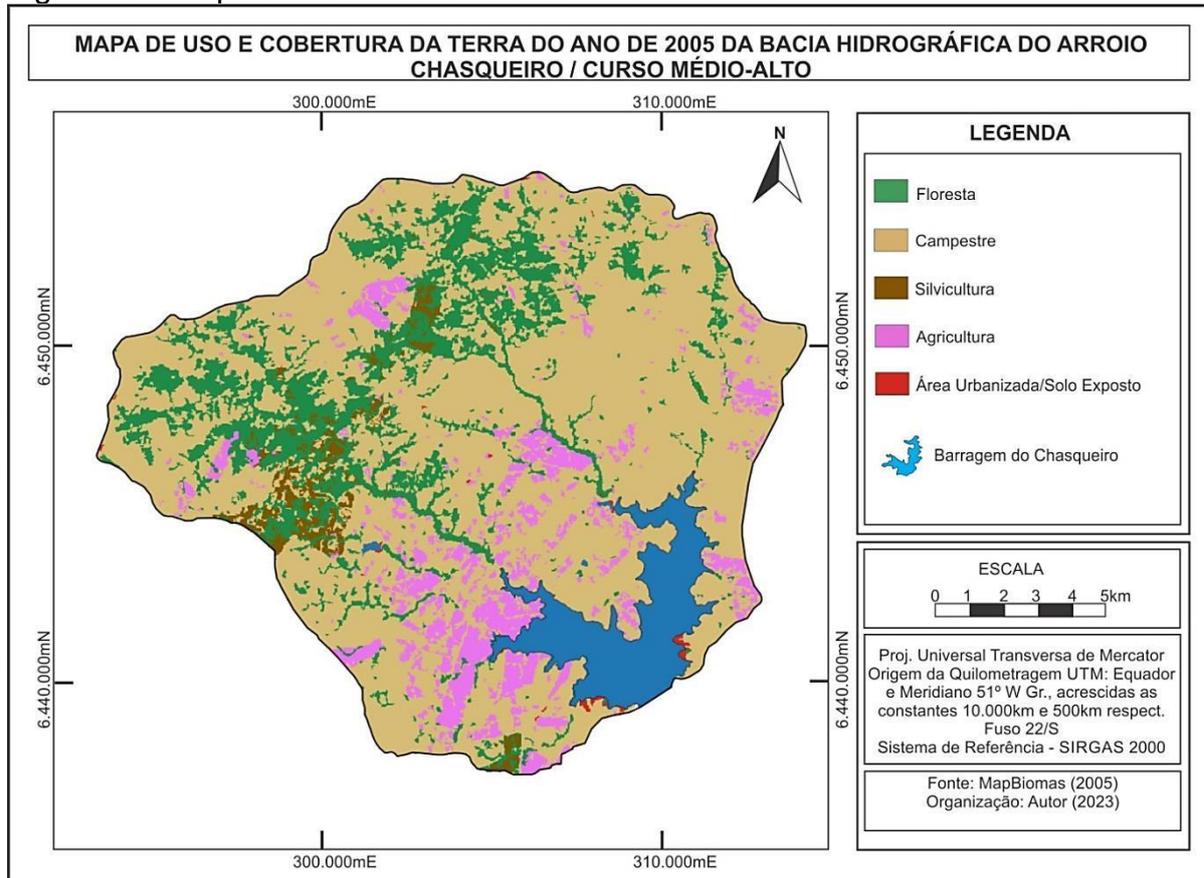
Na análise do mapeamento de uso e cobertura da terra do ano de 2005, observa-se o significativo crescimento das áreas com silvicultura (530% no período), principalmente de Eucalipto. Esse cenário iniciou-se nos anos de 1990 e a partir dos anos 2000 se intensifica, com plantio voltado para a indústria, principalmente de celulose. Esse processo de expansão das áreas de silvicultura sobre os campos do bioma Pampa foi observado por Binkowski (2009), Vélez *et al.* (2015) e Mengue *et al.* (2020). Mengue *et al.* (2020) afirma que esse processo ocorreu a partir dos anos 2000, principalmente a partir de 2004, com um crescimento contínuo, motivado pela demanda mundial de celulose.

As áreas com culturas agrícolas apresentaram uma retração de aproximadamente 9%, entre os períodos de 1995 a 2005. Essa redução ocorreu principalmente nas áreas oeste e noroeste da bacia, retornando em sua maioria a condição campestre.

Consequente, a classe campestre apresentou uma redução de 1,4% na sua área total. De forma semelhante, a classe floresta também apresentou uma redução,

de aproximadamente 1,3%, principalmente em polígonos na região nordeste da bacia. Por fim, a classe área urbanizada/solo exposto teve um crescimento de cerca de 12%, chegando a 56,77 hectares. A figura 20 apresenta o mapa de uso e cobertura da terra para o ano de 2005 e a tabela 19 apresenta os resultados quantitativos das áreas dos polígonos mapeados.

Figura 20 - Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2005



Fonte: MapBiomias 2005, elaborado pelo autor.

Tabela 19 - Uso e cobertura da terra para o ano de 2005

Classe	Área (%)	Área (ha)	Área (km ²)
Floresta	16,3473	4.068,84	40,6884
Campestre	65,3207	16.258,33	162,5833
Silvicultura	2,1503	535,20	5,352
Agricultura	8,7982	2.189,89	21,8989
Área Urbanizada/Solo Exposto	0,2281	56,77	0,5677
Barragem	7,1554	1.780,99	17,8099
Total		24.890,02	248,9002

Fonte: Elaborado pelo autor

Na análise do período entre 2005 e 2015 observa-se a crescente expansão das áreas ocupadas com silvicultura, passando de 5,35 para 25,8889 km² (10,4013% da

área de estudo), um aumento de mais de 380%. Também ocorreu um crescimento expressivo (157,24%) nas áreas agrícolas, principalmente com a cultura da soja. Esse processo foi discutido por Kuplich *et al.* (2018), Moreira (2019), Moreira *et al.* (2019), Oliveira (2020), Meyer (2021) e Montebianco (2021), sendo consenso entre os autores que os fatores de valorização da *commodity* soja vem influenciando a ocupação das áreas do bioma Pampa, anteriormente ocupados pela formação campestre.

Em contrapartida as áreas campestres tiveram uma retração de aproximadamente 38% no período analisado, e uma redução aproximada 56% em comparação com a área mapeada em 1947, ocupando 99,9405 km². Já a classe Floresta apresentou um crescimento de 19,21%, chegando a 48,5044 km², o que demonstra a recuperação de algumas áreas florestais, principalmente a mata ciliar próxima as nascentes das principais drenagens da bacia.

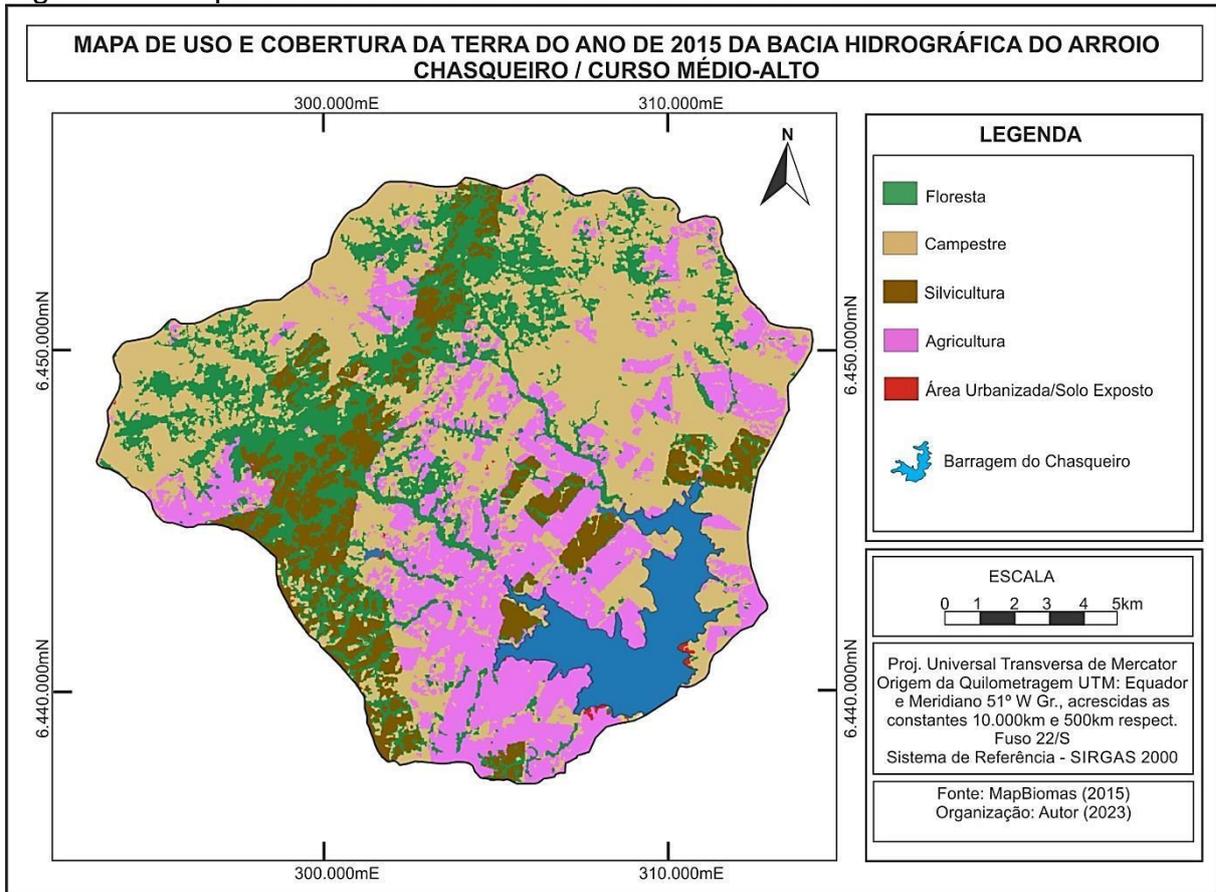
Por fim, a classe Área urbanizada/solo exposto, apresentou uma redução de 26,21% em sua área, chegando a 0,4189 km². A tabela 20 apresenta os resultados quantitativos das áreas dos polígonos mapeados e a figura 21 apresenta o mapa de uso e cobertura da terra para o ano de 2015.

Tabela 20 - Uso e cobertura da terra para o ano de 2015

Classe	Área (%)	Área (ha)	Área (km ²)
Floresta	19,4875	4.850,44	48,5044
Campestre	40,1528	9.994,05	99,9405
Silvicultura	10,4013	2.534,10	25,3410
Agricultura	22,6322	5.633,18	56,3318
Área Urbanizada/Solo Exposto	0,1683	41,89	0,4189
Barragem	7,1579	1.781,57	17,8157
Total		24.890,02	248,9002

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 21 - Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2015



Fonte: MapBiomas 2015, elaborado pelo autor.

No ano de 2020 ainda predominava na área de estudo o uso da terra com cobertura vegetal da formação campestre (Figura 22), totalizando 94,4545 km², representando 37,9487% da área de estudo e uma retração de 5,49% entre os anos de 2015 e 2020.

Figura 22 - Formação Campestre



Fonte: Elaborado pelo autor.

No mesmo período, a formação florestal (Figura 23) continuou com a tendência de crescimento (4,82%), chegando a 50,841 km² e 20,4262% da área de estudo.

Figura 23 - Formação florestal



Fonte: Elaborado pelo autor

Os polígonos de Silvicultura tiveram um pequeno crescimento no período (2,86%), chegando 26,6296 km² (Figura 24). A classe agricultura também seguiu a

tendência de pequeno crescimento (5,40%), totalizando 59,3728% da área de estudo (Figura 25).

Figura 24 - Polígonos de Silvicultura



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 25 - Áreas de agricultura



Fonte: Elaborado pelo autor.

Já a classe área urbanizada/solo exposto apresentou uma pequena redução (4,01%), perfazendo 0,4021 km², sendo que as principais exposições desta classe continuam ocorrendo às margens da barragem do Chasqueiro (Figura 26).

Figura 26 - Área urbanizada/solo exposto



Fonte: Elaborado pelo autor.

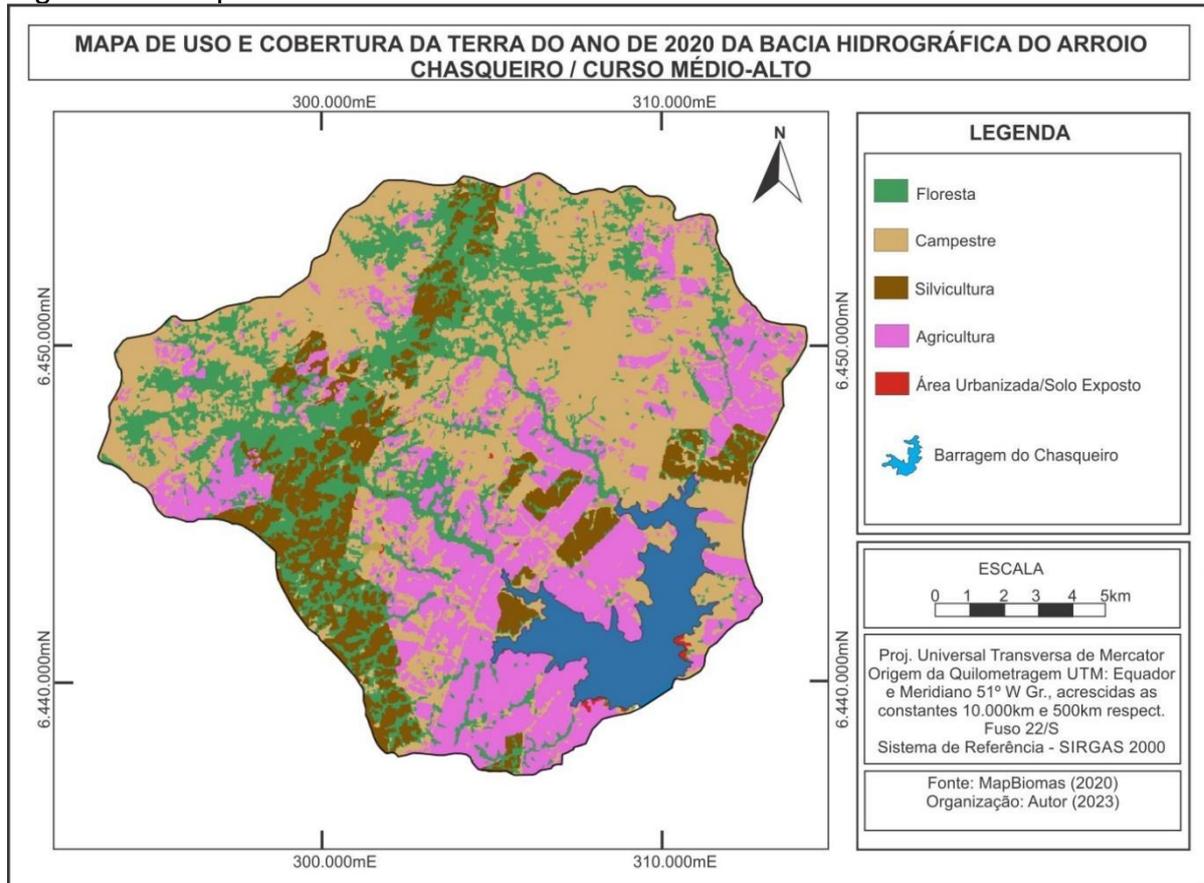
A tabela 21 apresenta a distribuição quantitativa das áreas mapeadas para o ano de 2020 e a figura 27 apresenta o mapa de uso e cobertura da terra do mesmo ano. Já, a figura 28 apresenta a distribuição estatística entre 1947, 1985, 1995, 2005, 2015 e 2020.

Tabela 21 - Uso e cobertura da terra para o ano de 2020

Classe	Área (%)	Área (ha)	Área (km ²)
Floresta	20,4263	5.084,10	50,8410
Campestre	37,9487	9.445,45	94,4545
Silvicultura	10,6989	2.662,96	26,6296
Agricultura	23,8541	5.937,28	59,3728
Área Urbanizada/Solo Exposto	0,1615	40,21	0,4021
Barragem	6,9105	1.720,02	17,2002
Total		24.890,02	248,9002

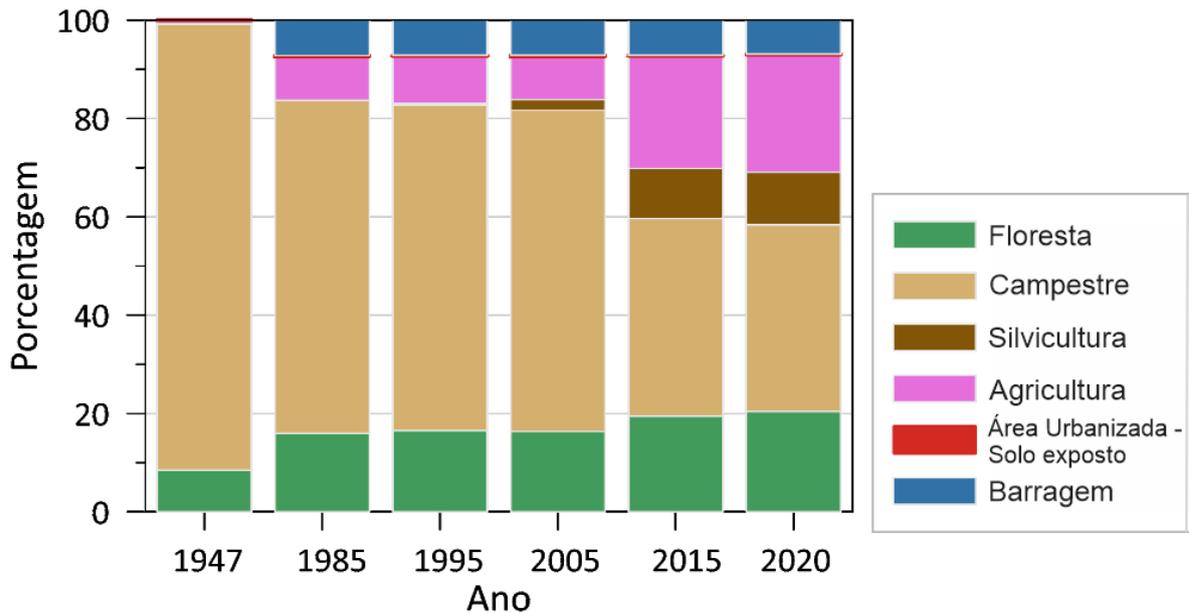
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 27 - Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2020



Fonte: MapBiomias, 2020. Elaborado pelo autor

Figura 28 - Gráfico percentual do uso e cobertura da terra entre os anos de 1947 e 2020



Fonte: Elaborado pelo autor

7.1.2 Matriz Pareada do Parâmetro Cobertura Vegetal Original (CO)

A partir da tabela da matriz pareada comparativa de uso e cobertura da terra, foram comparados os mapas dos anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e 2020 com a referência do ano de 1947, variando os pesos de importância de muito pior (peso 9) a muito melhor (peso 1). Para tanto foi aplicada a álgebra booleana de intersecção através do operador lógico “AND”, ou seja, pareando o conjunto A (1947) com o conjunto b (anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e 2020). A lógica booleana pode ser analisada no Anexo 1.

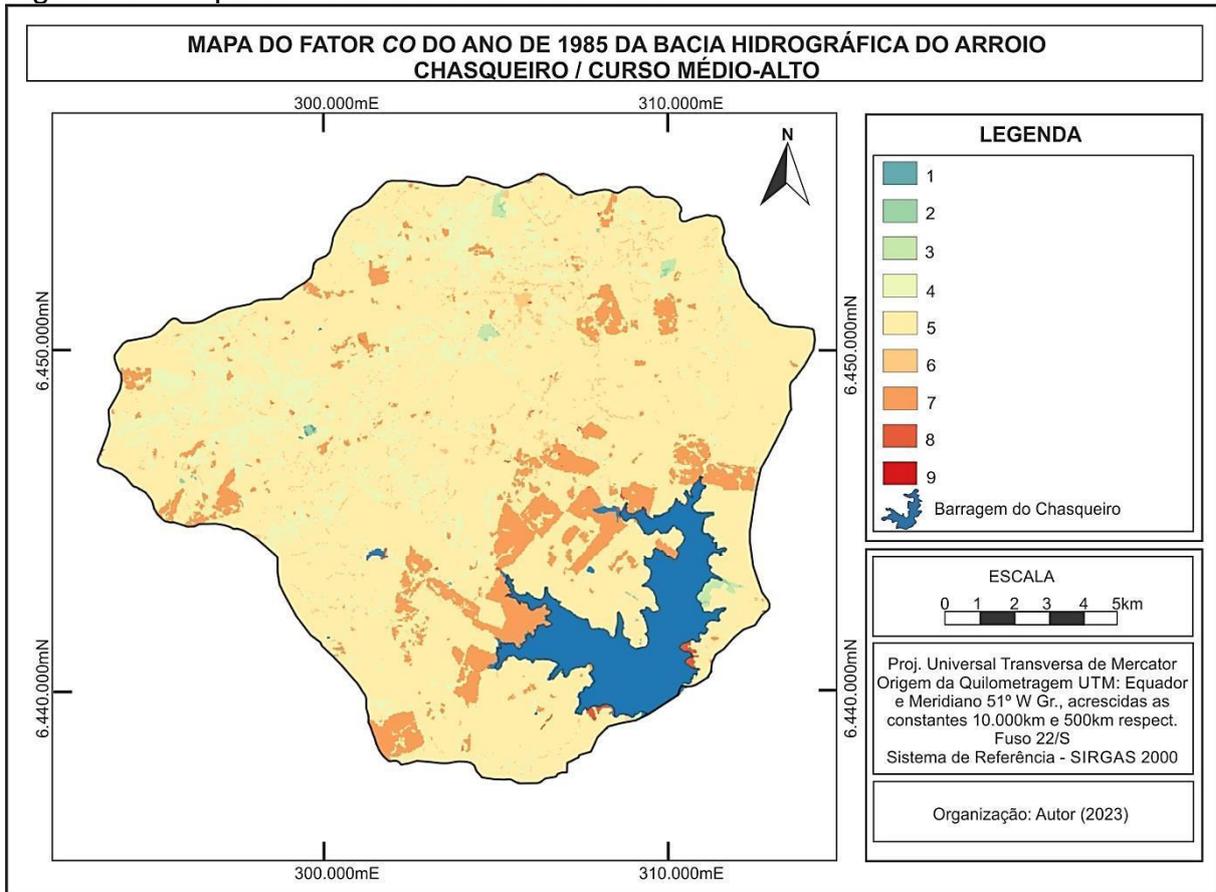
Na análise pareada de 1947-1985 observa-se que já é apresentada a área do reservatório da barragem do Chasqueiro, sendo essa classe não considerada na matriz pareada, visto que não existe significância entre as classes primitivas e a classe barragem. Em termos percentuais, em aproximadamente 78% da bacia as condições de uso e ocupação da terra se mantiveram iguais e em aproximadamente 11%, houve uma melhora na cobertura da mata ciliar, principalmente. Já a condição de piora foi encontrada em aproximadamente 11% da área de estudo, principalmente próximo à barragem do Chasqueiro, onde no período, foram mapeadas lavouras temporárias. Os resultados quantitativos da matriz mapeada de 1947-1985 podem ser avaliados na tabela 22, assim como o mapa resultante do Fator CO foi apresentado na figura 29.

Tabela 22 - Áreas resultantes da matriz pareada 1947-1985

Classe	Área (%)	Área (ha)	Área (km ²)
Muito Melhor (1)	0,0213	4,8910	0,0489
Melhor (2)	0,1195	27,4357	0,2744
Moderadamente Melhor (3)	0,4293	98,5850	0,9858
Um Pouco Melhor (4)	10,3801	2.383,8463	23,8385
Igual (5)	77,8135	17.870,2499	178,7025
Um Pouco Pior (6)	1,4346	329,4573	3,2946
Moderadamente Pior (7)	9,5392	2.190,7267	21,9073
Pior (8)	0,2622	60,2209	0,6022
Muito Pior (9)	0,0003	0,0764	0,0008
Total		22.965,4892	229,6549

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 29 - Mapa do Fator CO do ano de 1985



Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando o comparativo entre os anos de 1947-1995, observa-se um pequeno aumento nas áreas classificadas Um Pouco Pior, mas principalmente o contínuo crescimento das áreas Moderadamente Piores (peso 7), visto a expansão das áreas com culturas temporárias ocupando os terrenos anteriormente classificados como Campestres. No período de 1947-1995 as principais áreas desta mudança de uso da terra ocorreram na região sudoeste da bacia, principalmente próximo ao Arroio Chasqueiro e a barragem de mesmo nome.

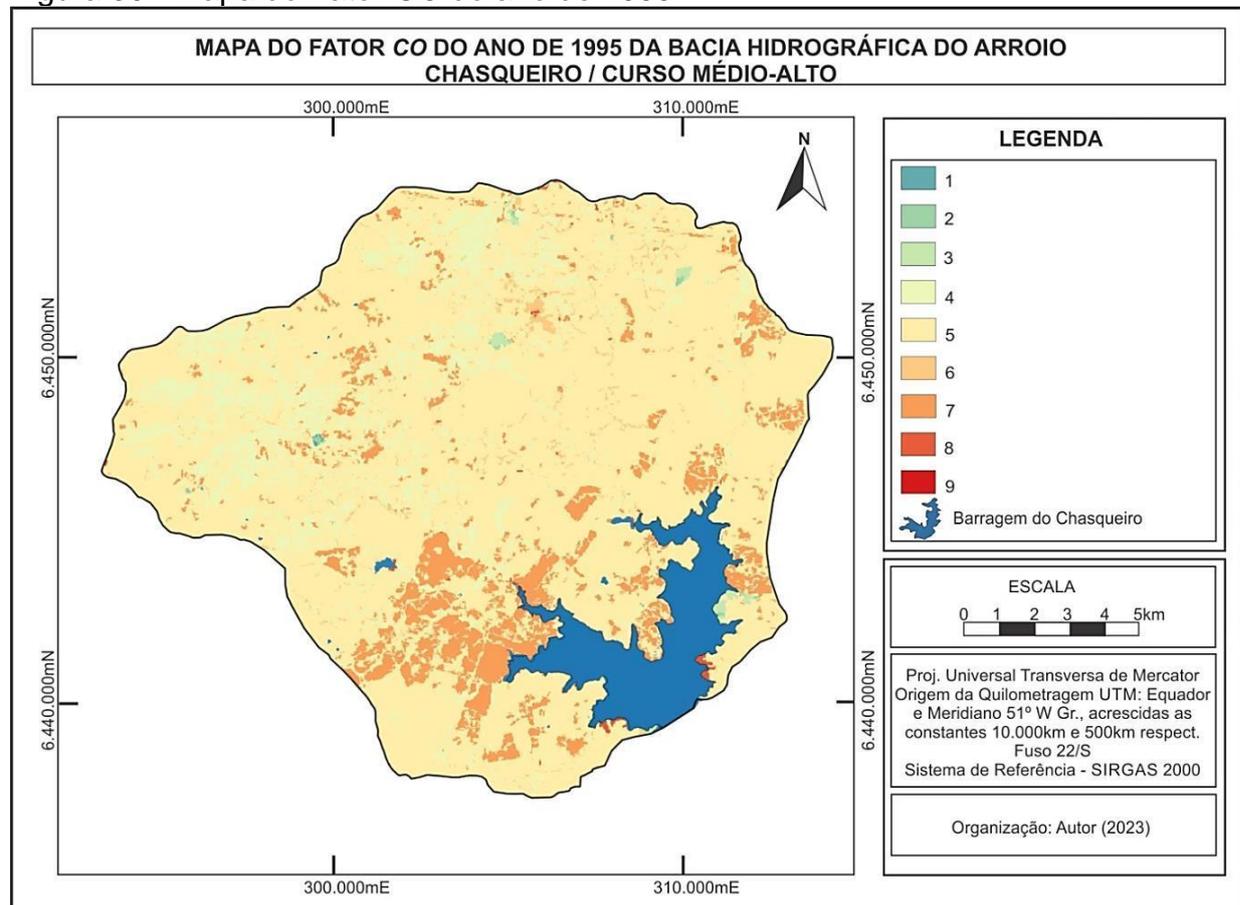
Já as melhoras de resposta que ocorreram na área de estudo entre 1947-1995 tangem a recuperação da mata ciliar em alguns pontos e a inserção de polígonos de silvicultura sobre algumas áreas onde eram desenvolvidas culturas temporárias, chegando a uma melhora próxima a 12% no período. A tabela 23 apresenta os resultados quantitativos dos polígonos de cada classe pareada e a figura 30 apresenta o mapa com a distribuição espacial dos resultados.

Tabela 23 - Áreas resultantes da matriz pareada 1947-1995

Classe	Área (%)	Área (ha)	Área (km ²)
Muito Melhor (1)	0,0199	4,5853	0,0459
Melhor (2)	0,1186	27,2828	0,2728
Moderadamente Melhor (3)	0,3515	80,8550	0,8085
Um Pouco Melhor (4)	11,3503	2.610,7447	26,1074
Igual (5)	75,9722	17.474,8400	174,7484
Um Pouco Pior (6)	1,5034	345,8117	3,4581
Moderadamente Pior (7)	10,4133	2.395,2333	23,9523
Pior (8)	0,2701	62,1315	0,6213
Muito Pior (9)	0,0007	0,1528	0,0015
Total		23.001,6371	230,0164

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 30 - Mapa do Fator CO do ano de 1995



Fonte: Elaborado pelo autor.

A matriz pareada entre os anos de 1947-2005 demonstra que, as principais pioras de classificação (um pouco pior e moderadamente pior) tiveram um crescimento de aproximadamente 13% e estão relacionadas principalmente com as áreas de silvicultura e agricultura, sobre as áreas campestres. Esse processo ocorreu,

sobretudo, próximo à barragem do Chasqueiro e nos terrenos da parte norte/noroeste da bacia.

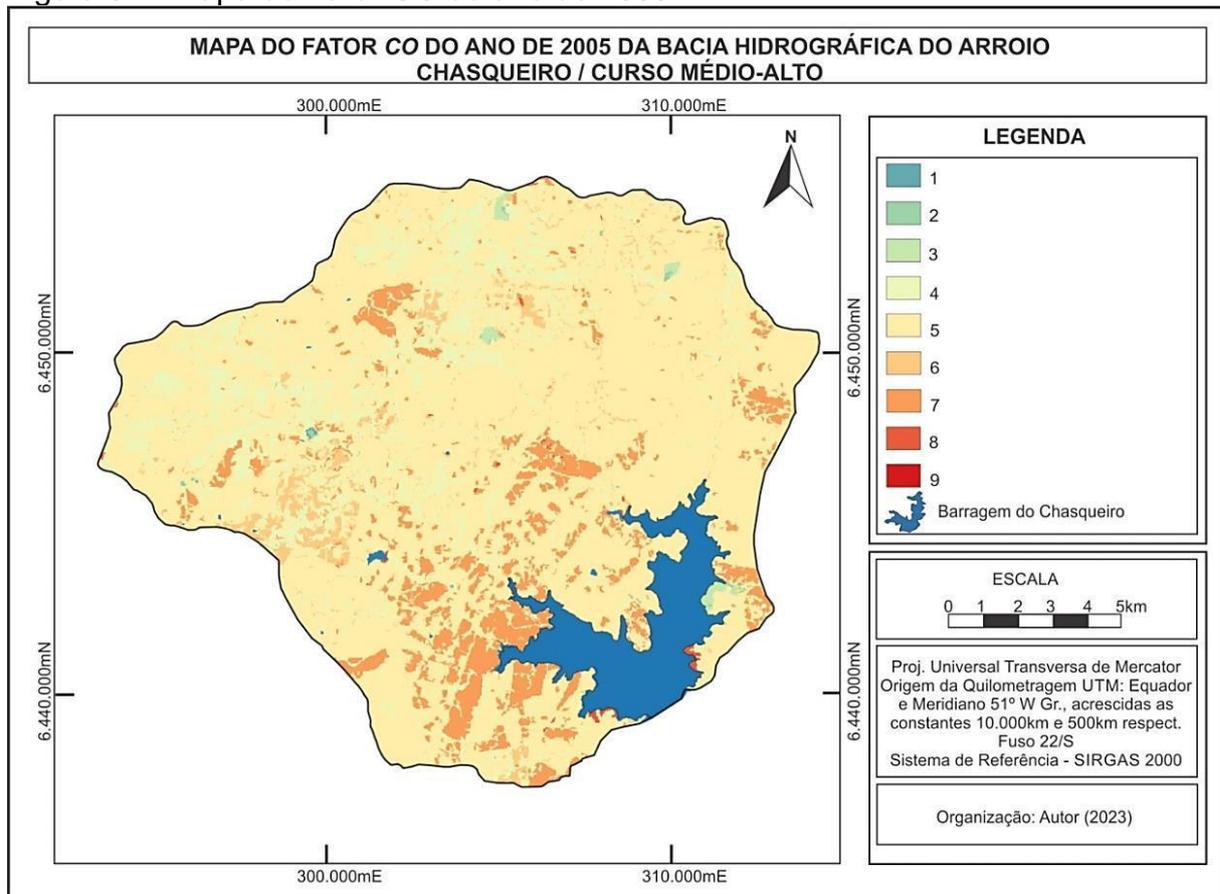
Já as respostas com uma condição de melhora no uso da terra, continuaram praticamente iguais ao período anteriormente analisado, mantendo-se aproximadamente em 12% e reflete a recuperação de algumas áreas com mata ciliar (classe floresta), as quais estavam na condição de campestre em 1947. Os resultados descritos do Fator CO pareado entre os anos de 1947-2005 podem ser avaliados na tabela 24 e figura 31.

Tabela 24 - Áreas resultantes da matriz pareada 1947-2005

Classe	Área (%)	Área (ha)	Área (km²)
Muito Melhor (1)	0,0216	4,9675	0,0497
Melhor (2)	0,1205	27,7414	0,2774
Moderadamente Melhor (3)	0,4403	101,3362	1,0134
Um Pouco Melhor (4)	11,1354	2.562,6749	25,6267
Igual (5)	74,8401	17.223,4864	172,2349
Um Pouco Pior (6)	3,3201	764,0719	7,6407
Moderadamente Pior (7)	9,8284	2.261,8760	22,6188
Pior (8)	0,2932	67,4810	0,6748
Muito Pior (9)	0,0003	0,0764	0,0008
Total		23.013,7118	230,1371

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 31 - Mapa do Fator CO do ano de 2005



Fonte: Elaborado pelo autor

No período de análise da matriz pareada de 1947-2015 observa-se um significativo crescimento das áreas com resposta de piora nas classes 6 e 7, próximo aos 38% (tabela 25). As respostas da classe 6 referem-se as áreas anteriormente em uso da terra como campestre e em 2015 ocorrendo a silvicultura. Já na classe de resposta 7, referem-se as áreas campestres convertidas para a agricultura temporária, principalmente da soja.

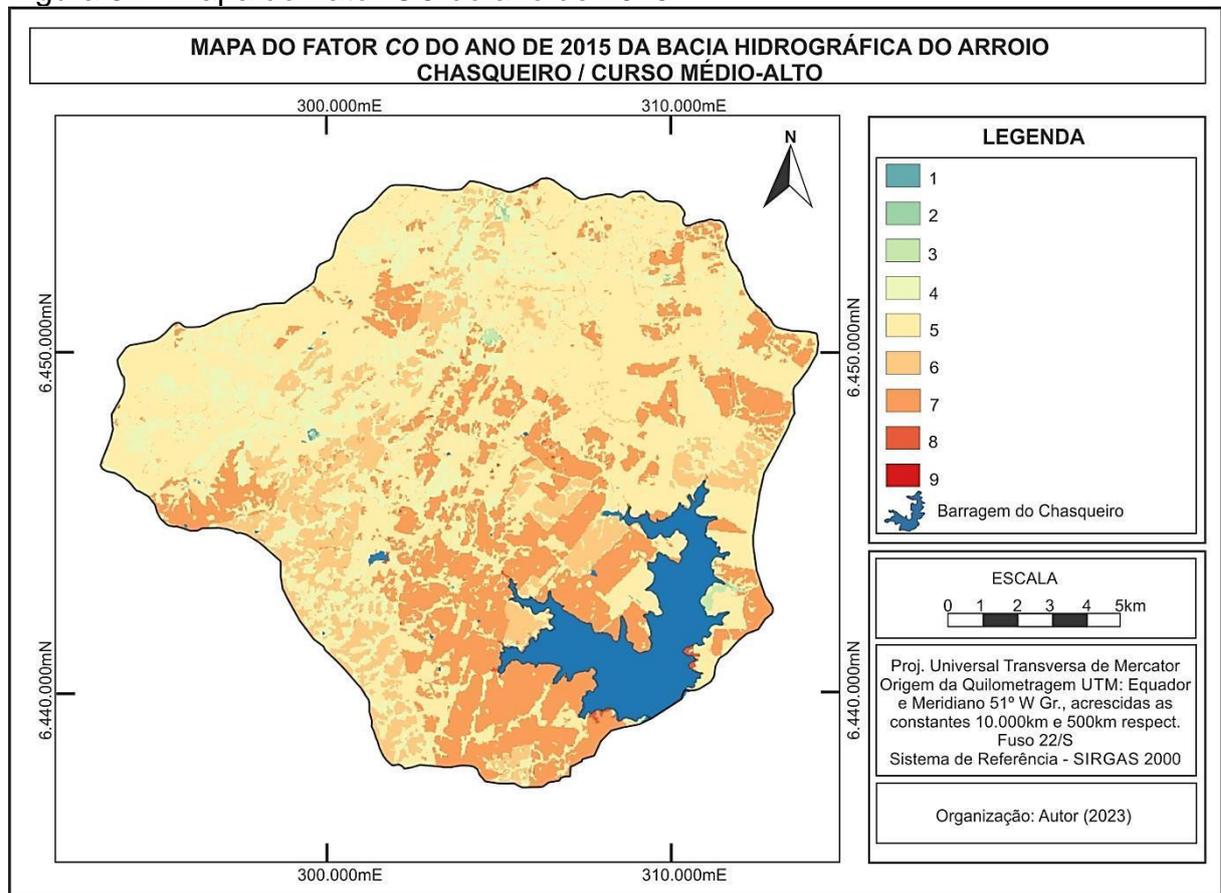
Já as melhoras na resposta do parâmetro CO foram encontradas principalmente na recomposição da mata ciliar (classe Floresta), assim como já havia ocorrido nas séries anteriormente analisadas, chegando a condição de Um Pouco Melhor (classe 4) em aproximadamente 14% da área, como pode ser observado na tabela 25 e na figura 32.

Tabela 25 - Áreas resultantes da matriz pareada 1947-2015

Classe	Área (%)	Área (ha)	Área (km ²)
Muito Melhor (1)	0,0239	5,5024	0,0550
Melhor (2)	0,1100	25,2958	0,2530
Moderadamente Melhor (3)	0,2697	62,0551	0,6206
Um Pouco Melhor (4)	14,3036	3.290,7519	32,9075
Igual (5)	48,8148	11.230,5887	112,3059
Um Pouco Pior (6)	11,6714	2.685,1801	26,8518
Moderadamente Pior (7)	24,4997	5.636,5398	56,3654
Pior (8)	0,3066	70,5379	0,7054
Muito Pior (9)	0,0003	0,0764	0,0008
Total		23.006,5281	230,0653

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 32 - Mapa do Fator CO do ano de 2015



Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, na matriz pareada entre a cobertura original de 1947 e a mais atual de 2020, foram encontrados resultados semelhantes ao período anterior, com o avanço das culturas temporárias e da silvicultura sobre as áreas campestres, em uma condição de Um Pouco Pior a Moderadamente Pior, em aproximadamente 38% da área. Em contrapartida as condições de Um Pouco Melhor foram encontradas em

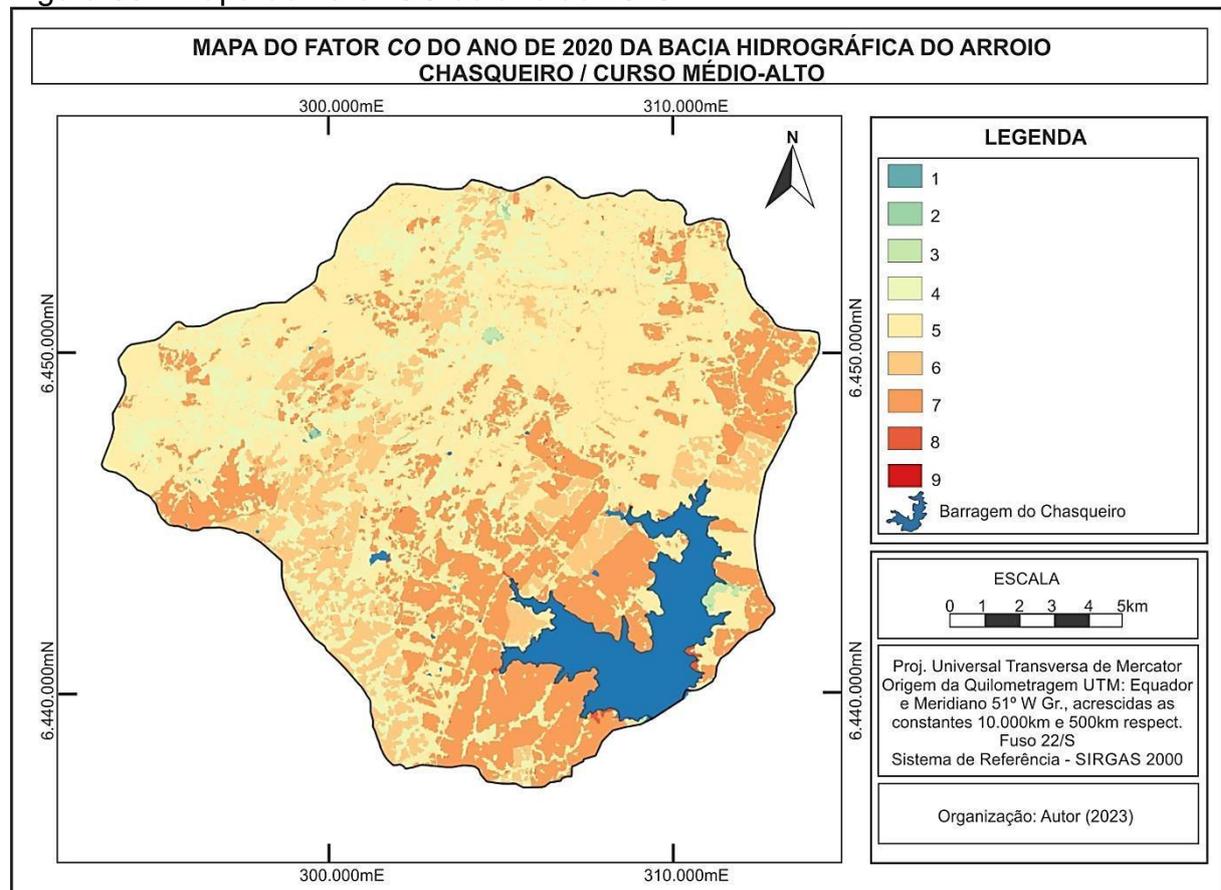
aproximadamente 15% da área e em locais de recomposição de mata ciliar. A tabela 26 apresenta os resultados quantitativos da matriz pareada 1947-2020 e a figura 33 apresenta o respectivo mapa do Fator CO do período.

Tabela 26 - Áreas resultantes da matriz pareada 1947-2020

Classe	Área (%)	Área (ha)	Área (km ²)
Muito Melhor (1)	0,0189	4,3561	0,0436
Melhor (2)	0,1231	28,4292	0,2843
Moderadamente Melhor (3)	0,3055	70,5379	0,7054
Um Pouco Melhor (4)	15,2547	3.521,8534	35,2185
Igual (5)	46,4091	10.714,5077	107,1451
Um Pouco Pior (6)	12,0223	2.775,5879	27,7559
Moderadamente Pior (7)	25,5384	5.896,0705	58,9607
Pior (8)	0,3280	75,7347	0,7573
Muito Pior (9)	0,0000	0,0000	0,0000
Total		23.087,0774	230,8708

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 33 - Mapa do Fator CO do ano de 2020



Fonte: Elaborado pelo autor.

7.2 Parâmetro Cobertura Vegetal Atual (CA)

Este parâmetro reflete os usos e a ocupação atual da terra na bacia em estudo, e conseqüentemente reflete o grau de proteção da superfície do solo perante a ação da chuva (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014). Foram utilizados os dados de uso e cobertura da terra disponibilizados pelo MapBiomas da coleção 8, sendo os resultados mais atualizados até o momento.

No ano de 2020 ainda predominava na área de estudo o uso da terra com cobertura vegetal da formação campestre, sendo que este uso e cobertura vem sendo substituído por talhões com silvicultura, principalmente com espécies de Eucaliptos. Este processo vem ocorrendo principalmente nas áreas onde ocorrem os afloramentos rochosos do Granito Chasqueiro (Figura 34).

Figura 34 - Áreas de silvicultura



Fonte: Elaborado pelo autor.

Além disso, observa-se um significativo avanço das culturas temporárias, principalmente da soja. No caso da soja, esta vem sendo cultivada em plantio convencional, ou seja, práticas tradicionais de preparo do solo através do revolvimento do solo por meio da aração, subsolagem e gradagem de destorroamento e de nivelamento (MONTEBLANCO, 2021) (Figura 35). As principais áreas de expansão com culturas temporárias estão localizadas onde a topografia é de suave a ondulada, principalmente na unidade de relevo em colinas.

Figura 35 - Plantio convencional de soja



Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se também que a formação florestal está presente como mata ciliar na grande maioria das drenagens, com ausências pontuais em tributários do Arroio Chasqueiro, principalmente nas áreas próximas ao reservatório da barragem do Chasqueiro (Figura 36).

Figura 36 - Ausência de mata ciliar nas margens das drenagens



Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, a classe área urbanizada/solo exposto representa os locais sem cobertura vegetal, principalmente às margens da Barragem do Chasqueiro. Alguns desses locais referem-se a antigas jazidas de materiais utilizados na construção do

eixo do barramento, principalmente de rochas e argilas (Figura 37a) (SILVA *et al.*, 2023). Outros locais com solo exposto referem-se a áreas com processos erosivos instalados, relacionados à dinâmica de flutuação do nível da barragem (Figura 37b).

Figura 37 - a) Jazida de materiais utilizados na construção da barragem; b) Processos erosivos instalados as margens do reservatório



Fonte: Elaborado pelo autor.

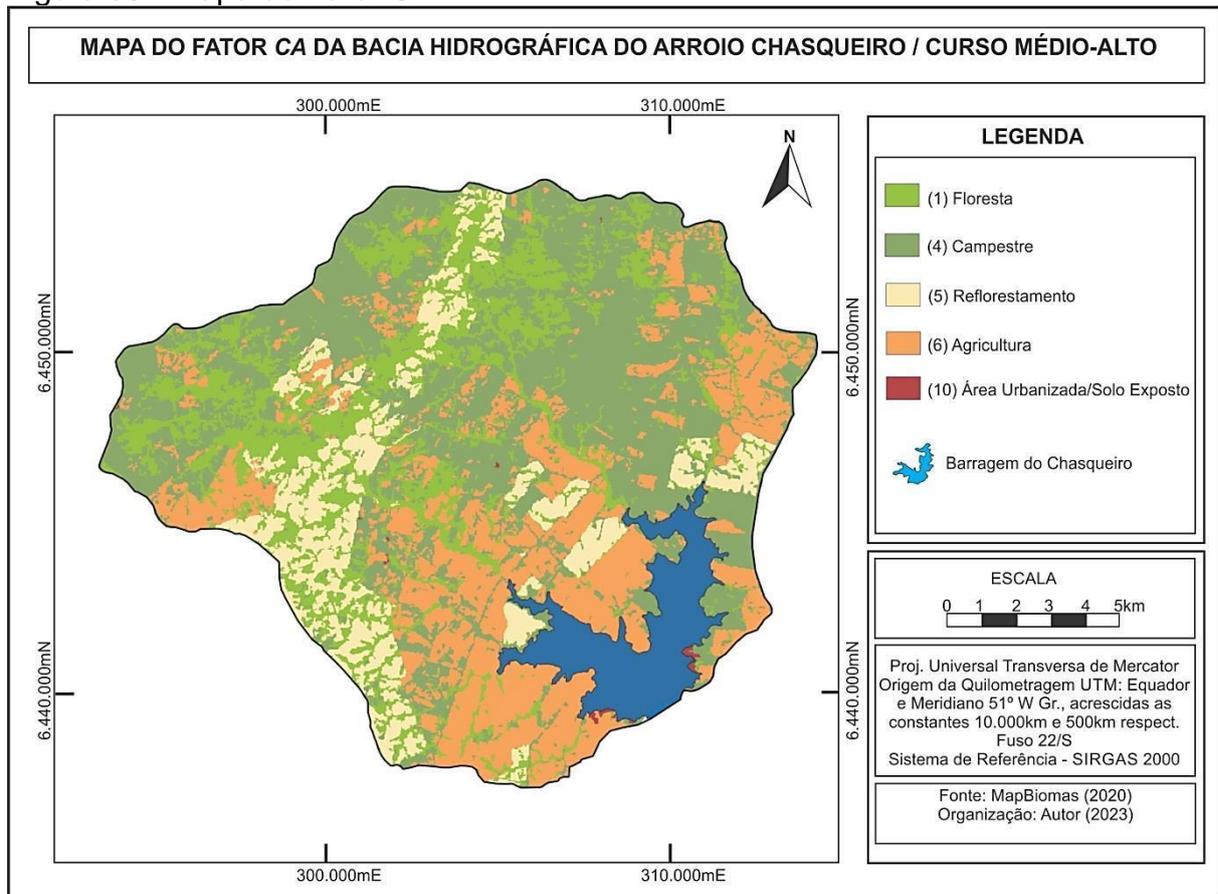
A tabela 27 apresenta o resumo de enquadramento de classes da cobertura vegetal atual, assim como a área ocupada por cada classe. Cabe destacar que a figura 38 apresenta o enquadramento do Fator CA, sendo o mapa base o mesmo utilizado no uso e ocupação da terra para o ano de 2020, mas com a ponderação de pesos adaptada de Beltrame (1994) e Nascimento *et al.* (2021).

Tabela 27 - Uso e cobertura atual e as respectivas áreas por classe

Classe de Cobertura Vegetal	Índice	Área (ha)	Área (km ²)
Floresta	CA ₁	5.084,10	50,8410
Campestre	CA ₄	9.445,45	94,4545
Silvicultura	CA ₅	2.662,96	26,6296
Agricultura	CA ₆	5.937,28	59,3728
Área Urbanizada/Solos Exposto	CA ₁₀	40,21	0,4021
	Total	23.170,00	231,700

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 38 - Mapa do Fator CA



Fonte: MapBiomias 2020, elaborado pelo autor.

7.3 Parâmetro Potencial Erosivo do SOLO (K)

O potencial erosivo dos solos reflete o efeito integrado da infiltração de água e de sua resistência à desagregação e transporte pelos fatores de intemperismo (ALMEIDA, 2018). Segundo Wischmeier e Smith (1978), as características texturais, de estrutura, permeabilidade e conteúdo de matéria orgânica, condicionam a desagregação e erosão do solo.

Portanto, na BHAC foram mapeados e ponderados três subgrupos de solos, individualizadas no 4º nível categórico de classificação, ambos Argissolos Vermelho-Amarelo. Para a ponderação da erodibilidade, foram utilizadas as descrições e quantificações realizadas por Cunha *et al.* (1996) nos solos da BHAC, resumidas na tabela 28.

Tabela 28 - Informações básicas dos solos da BHAC

Solo	Areia Fina (%)	Areia Grossa (%)	Silte (%)	Argila (%)	Matéria Orgânica (%)	Permeabilidade
PVA Du	18,1	17,8	22,1	14,3	1,5	Baixa (2)
PVA Da	16,5	14	13	16,5	2,9	Baixa (2)
PVA Dt	10,3	14,3	27,9	9,2	1,1	Moderada (3)

Legenda: PVA (Du) – Distrófico Úmbrico; (Da) – Distrófico Abrúptico; (Dt) – Distrófico Típico
 Fonte: Cunha *et al.* (1996), elaborado pelo autor.

Para a aplicação da equação do parâmetro K proposta por Denardin (1990), foram calculadas as variáveis M , P , R e DMP , e multiplicados pelas constantes da equação 1. Os resultados da variável M , R e DMP podem ser observados nas tabelas 29, 30 e 31, abaixo.

Tabela 29 - Resultados da variável M

Solo	Areia Grossa (%)	Areia Fina (%)	Silte (%)	M
PVA Du	17,80	18,10	22,10	2.331,60
PVA Da	14,00	16,50	13,00	1.283,25
PVA Dt	14,30	10,30	27,90	2.005,50

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 30 - Resultados da variável R

Solo	Areia Grossa (%)	Matéria Orgânica (%)	R
PVA Du	17,80	1,50	0,2670
PVA Da	14,00	2,90	0,4060
PVA Dt	14,30	1,10	0,1573

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 31 - Resultados da variável DMP

Solo	Areia Grossa (%)	Areia Fina (%)	Silte (%)	Argila (%)	DMP
PVA Du	17,80	18,10	22,10	14,30	0,1401300
PVA Da	14,00	16,50	13,00	16,50	0,1131106
PVA Dt	14,30	10,30	27,90	9,20	0,1073964

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados da equação 1, a qual reflete a erodibilidade do solo (K), podem ser observados na tabela 32. Os solos Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico Úmbrico e Típico tiveram os piores resultados e enquadrados como baixo potencial erosivo, com resultados de K variando de 0,02033136 a 0,02329779. Já a classe de solos Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico Abrúptico apresentou um muito baixo potencial erosivo, com valores de k de 0,01564009. Resultados semelhantes de K

foram encontrados para a classe dos Argissolos Vermelho-Amarelos por Aquino e Oliveira (2013), Lourenço (2013), Morais (2018) e Almeida (2018), creditando acurácia aos resultados.

A tabela 33 apresenta o enquadramento de erodibilidade da BHAC, conforme intervalos de classe propostos na tabela 8 e espacializados na Figura 39.

Tabela 32 - Resultados calculados para o parâmetro *K*

Solo	(0,00000748*M)	(0,004480*P)	(0,0631175*DMP)	(0,01039567*R)	K
PVA Du	0,017440368	0,00896	0,00884466	0,002775644	0,02033136
PVA Da	0,00959871	0,00896	0,00713926	0,004220642	0,01564009
PVA Dt	0,01500114	0,01344	0,00677859	0,001635239	0,02329779

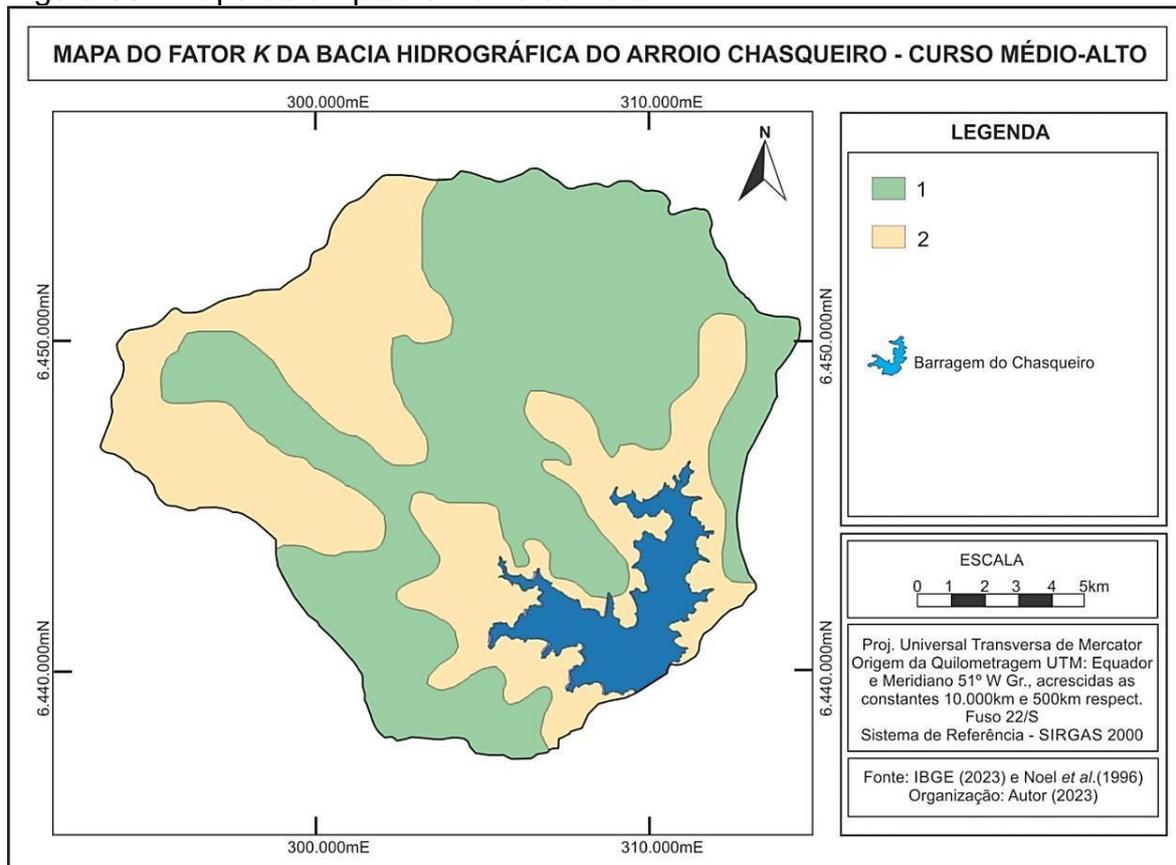
Obs.: Resultados de K em (t.ha.h/ha.Mj.mm)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 33 - Resultados de enquadramento do parâmetro *K*.

Solo	Classe de K	Peso	Área (ha)	Área (km ²)
PVA Du	Baixa	2	5.677,10	56,7710
PVA Da	Muito Baixa	1	12.895,20	128,9520
PVA Dt	Baixa	2	4.597,90	45,9790
Total			23.170,20	231,7020

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 39 - Mapa de enquadramento do Fator *K*

Fonte: Elaborado pelo autor.

7.4 Parâmetro Declividade Média (*DM*)

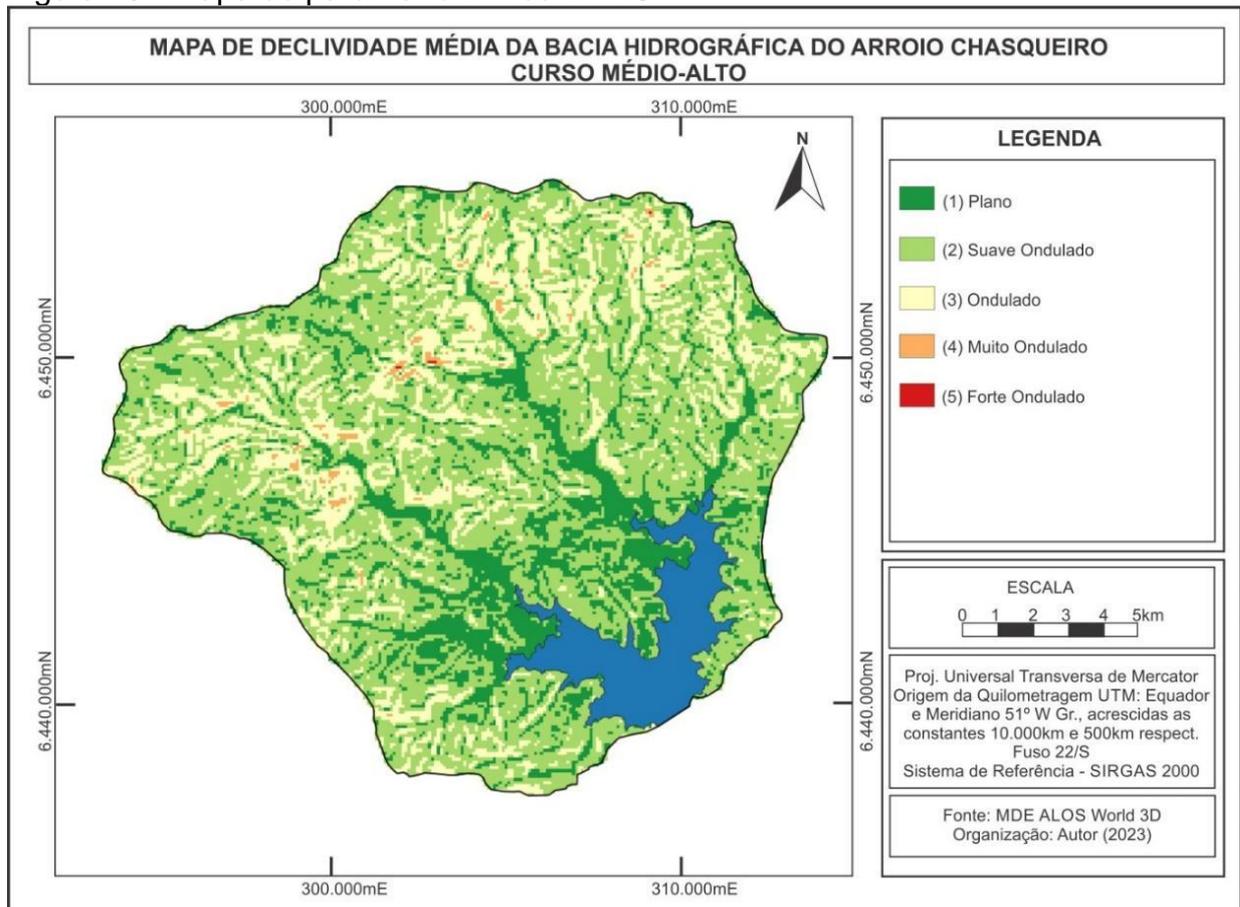
A utilização do parâmetro da declividade média é de suma importância no DFC porque auxilia no entendimento e nas quantificações do transporte de materiais, na avaliação das taxas de infiltração e escoamento superficial, instalação de processos erosivos, entre outros. Para a determinação desse parâmetro foi fatiada a grade de declividade, gerada a partir do MDE Alos World 3D, conforme a proposta de Beltrame (1994), a qual está baseada na proposta de classificação de relevo de Lepsh *et al.* (1991). A tabela 34 apresenta a quantificação das classes de *DM* e a figura 40 apresenta o mapa com a distribuição espacial.

Tabela 34 - Parâmetro *DM* com suas respectivas áreas por classe

Intervalos de Declividade Média	Classe	Índice	Área (ha)	Área (km ²)
<2%	Plano	DM ₁	5.236,14	52,3614
2 a 5%	Suave Ondulado	DM ₂	12.682,02	126,8202
5 a 10%	Ondulado	DM ₃	5.084,30	50,8430
10 a 15%	Muito Ondulado	DM ₄	163,87	1,6387
15 a 45%	Forte Ondulado	DM ₅	4,39	0,0439
Total			23.170,72	231,7072

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 40 - Mapa do parâmetro DM da BHAC



Fonte: Elaborado pelo autor.

As menores declividades da BHAC no seu curso médio-superior encontram-se no leito maior das principais drenagens (Arroio Chasqueiro e Chasqueirinho), as quais ficam próximas a 2%, com relevo plano. Já, mas áreas de rampas das colinas nas proximidades do reservatório da barragem do Arroio Chasqueiro as declividades não superam os 5%, caracterizando um relevo suavemente ondulado.

Na região central da bacia, na borda dos morros do Planalto Rebaixado Sul Rio-grandense ocorre um relevo ondulado com declividades de 5 a 10%. Os morros em patamares superiores ao relevo ondulado são os que apresentam declividade entre 10 e 15%, principalmente nas encostas das formas mais onduladas. Por fim, as formas preservadas do Planalto Residual Sul Rio-grandense são as que apresentam as maiores declividades da Bacia, variando de 15 a 45%. Estas formas apresentam uma orientação sudoeste/nordeste e acompanham os lineamentos principais do Escudo Sul-Riograndense.

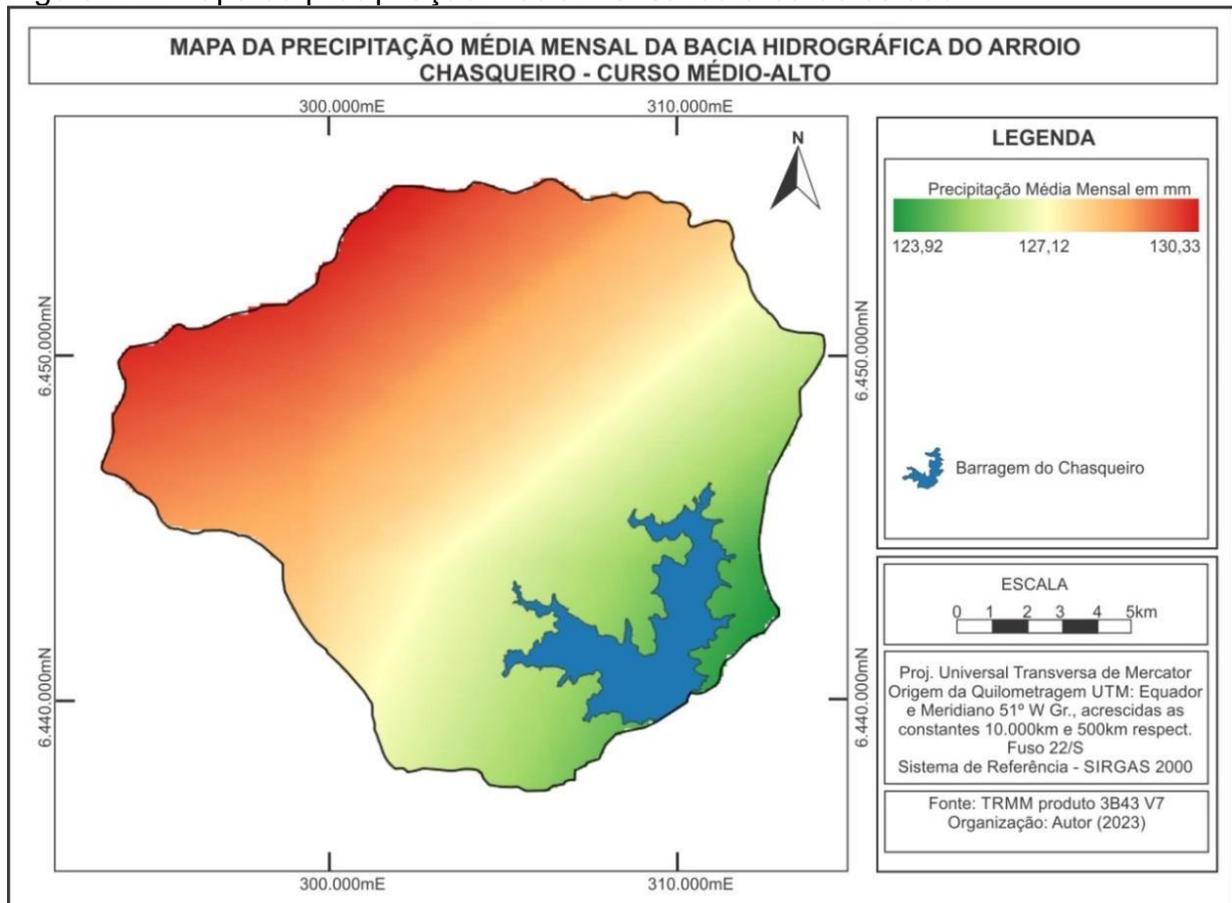
7.5 Parâmetro Erosividade Da Chuva (R)

O parâmetro Erosividade da Chuva corresponde à capacidade da chuva em causar erosão sobre a superfície de solo, sendo este desprotegido da cobertura vegetal (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014). Sendo assim, para a determinação do fator R , optou-se pela equação 4, a qual é calculada através da obtenção dos dados de precipitação média mensal e média anual em milímetros, do satélite TRMM, instrumento 3B43 V7, com médias determinadas entre 01/01/1998 e 31/12/2019.

Os resultados dos valores das médias mensais são condizentes com outras pesquisas em latitudes semelhantes, como é o caso de Neves (2012), Santos (2013) e Nachtigall (2018), a qual se baseia no trabalho de Lago (2000). O trabalho de Lago (2000) é o que apresenta resultados mais próximos aos encontrados nesta pesquisa, inclusive nas regiões próximas à Lagoa Mirim.

Conforme Lago (2000) as menores precipitações mensais na região ocorrem nos meses de novembro e dezembro e os maiores índices entre os meses de agosto a outubro. Sendo assim, na área de estudo às médias mensais distribuídas variaram de 123,92 mm na região próxima a barragem do Chasqueiro e 130,33 nas regiões a NW, culminando nos divisores de águas (Figura 41).

Figura 41 - Mapa da precipitação média mensal da área de estudo

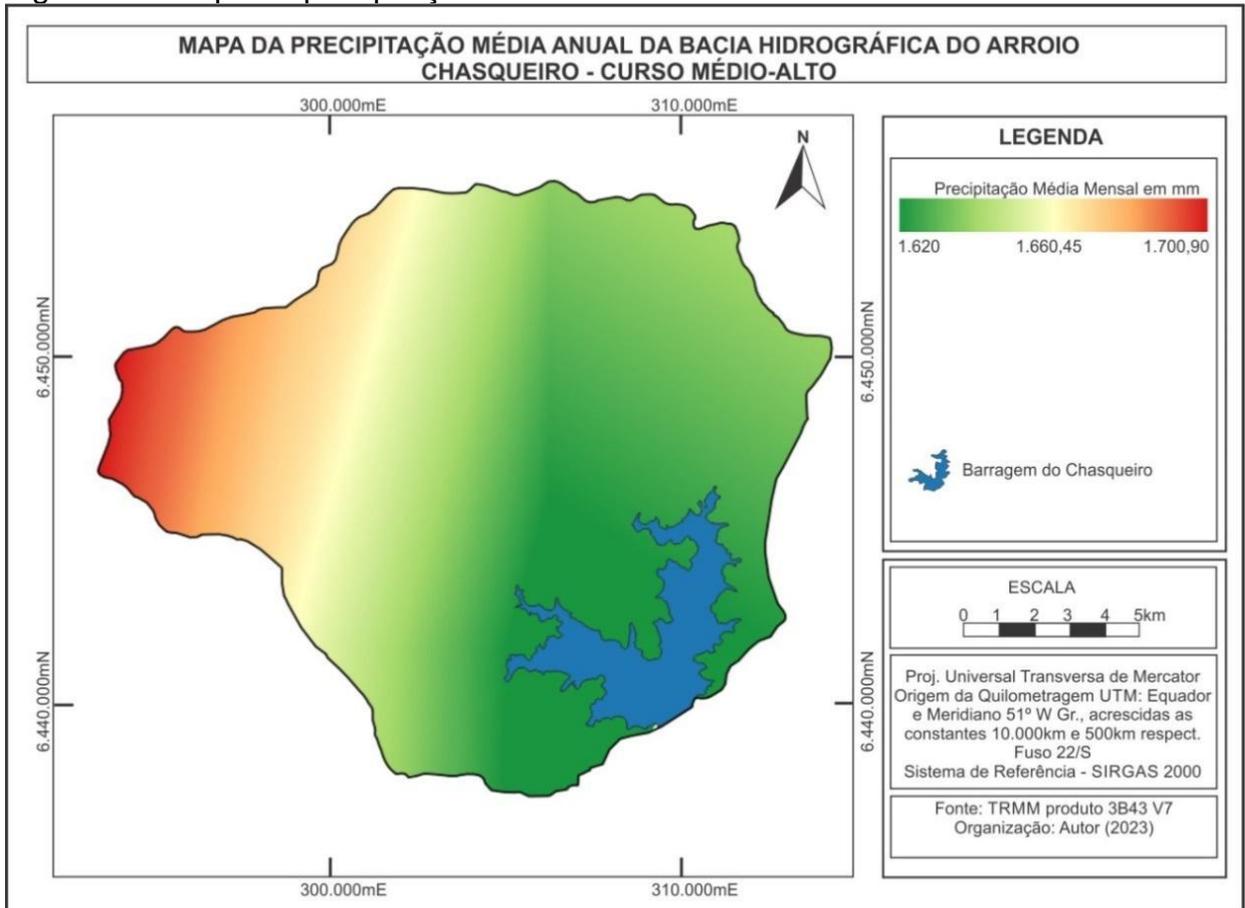


Fonte: TRMM, elaborado pelo autor.

Já as médias anuais também resultaram em índices próximos aos de Lago (2000), Neves (2012), Santos (2013) e Nachtigall (2018). Os menores índices pluviométricos (1.620 mm anuais) também foram encontrados na região da barragem do Chasqueiro e os maiores índices (1.700,90 mm anuais) nas regiões dos divisores de água, próximo a localidade da Vila Airosa Galvão. A distribuição da precipitação média anual pode ser observada na figura 42.

Aplicada a equação da Erosividade da Chuva, através da ferramenta da calculadora raster, foram encontrados valores que variaram de 5.466,70 a 5.841,80 MJ.mmha.h.ano. Onde os menores valores estão próximos à região do talude da barragem do Chasqueiro e os maiores na região norte da bacia (Figura 43).

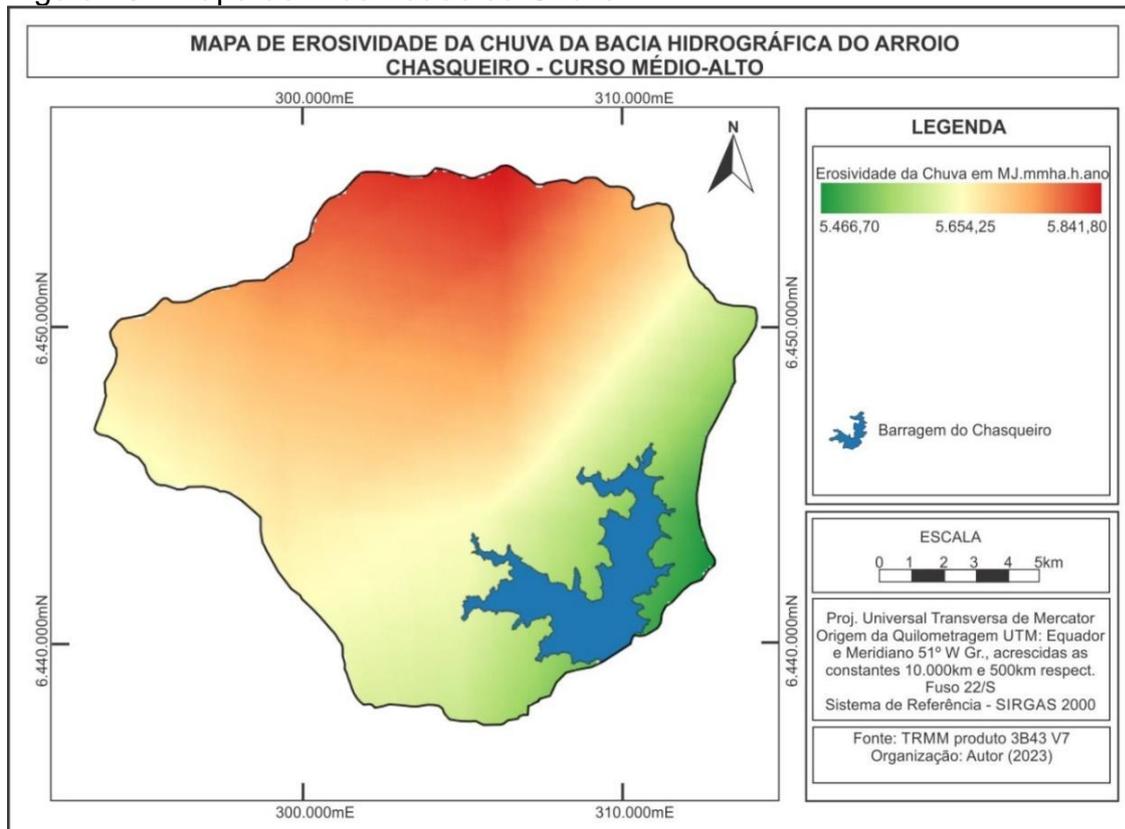
Figura 42 - Mapa da precipitação média anual da área de estudo



Fonte: TRMM, elaborado pelo autor.

Aplicada a equação da Erosividade da Chuva, através da ferramenta da calculadora *raster*, foram encontrados valores que variaram de 5.466,70 a 5.841,80 MJ.mmha.h.ano. Onde os menores valores estão próximos à região do talude da barragem do Chasqueiro e os maiores na região norte da bacia (Figura 43).

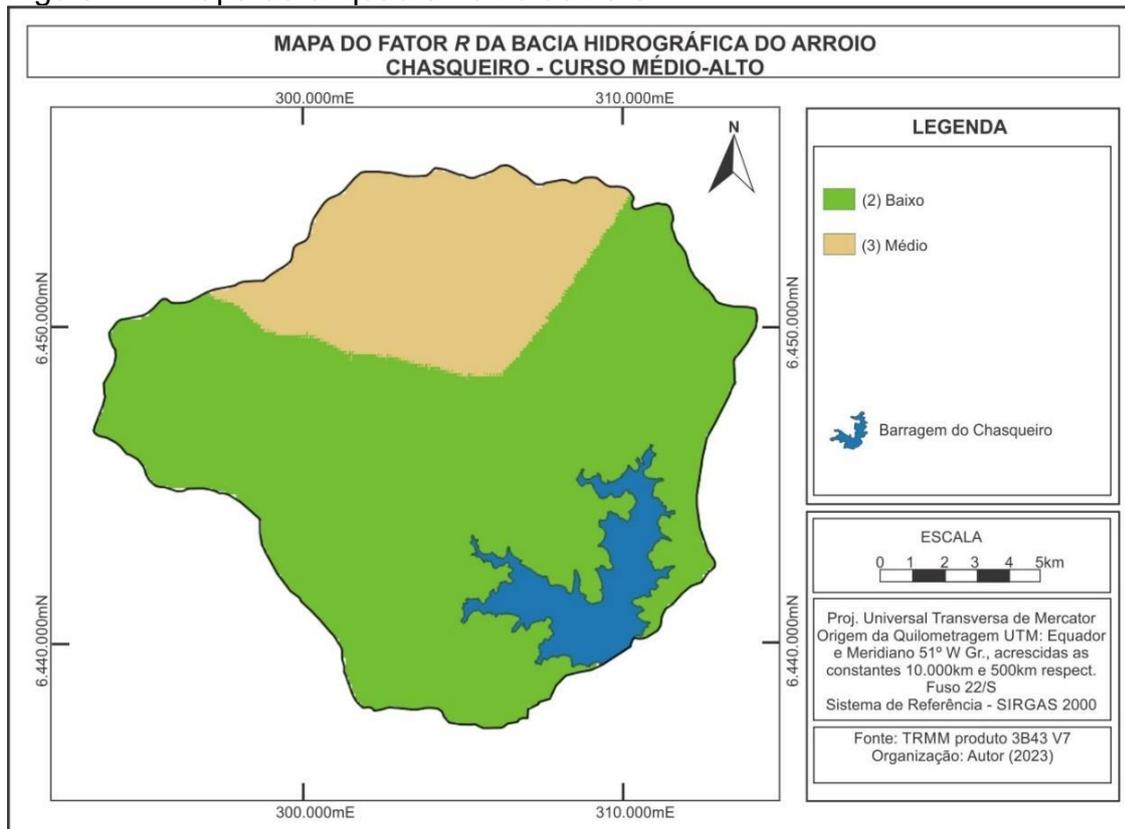
Figura 43 - Mapa de Erosividade da Chuva



Fonte: TRMM, elaborado pelo autor.

Por fim, foi realizado o enquadramento da erosividade da chuva conforme classes preconizadas por Bertoni e Lombardi Neto (1990) e Beltrame (1994). Na área de estudo foram encontradas duas classes (Figura 44), predominando a classe erosiva baixa, principalmente no setor médio da bacia, mais próximo à barragem do Chasqueiro, totalizando 175,387 km². Já no setor norte da bacia, na região conhecida como Coxilha do Lageado, foi classificado com o fator R médio, totalizando 56,315 km².

Figura 44 - Mapa do enquadramento do Fator R



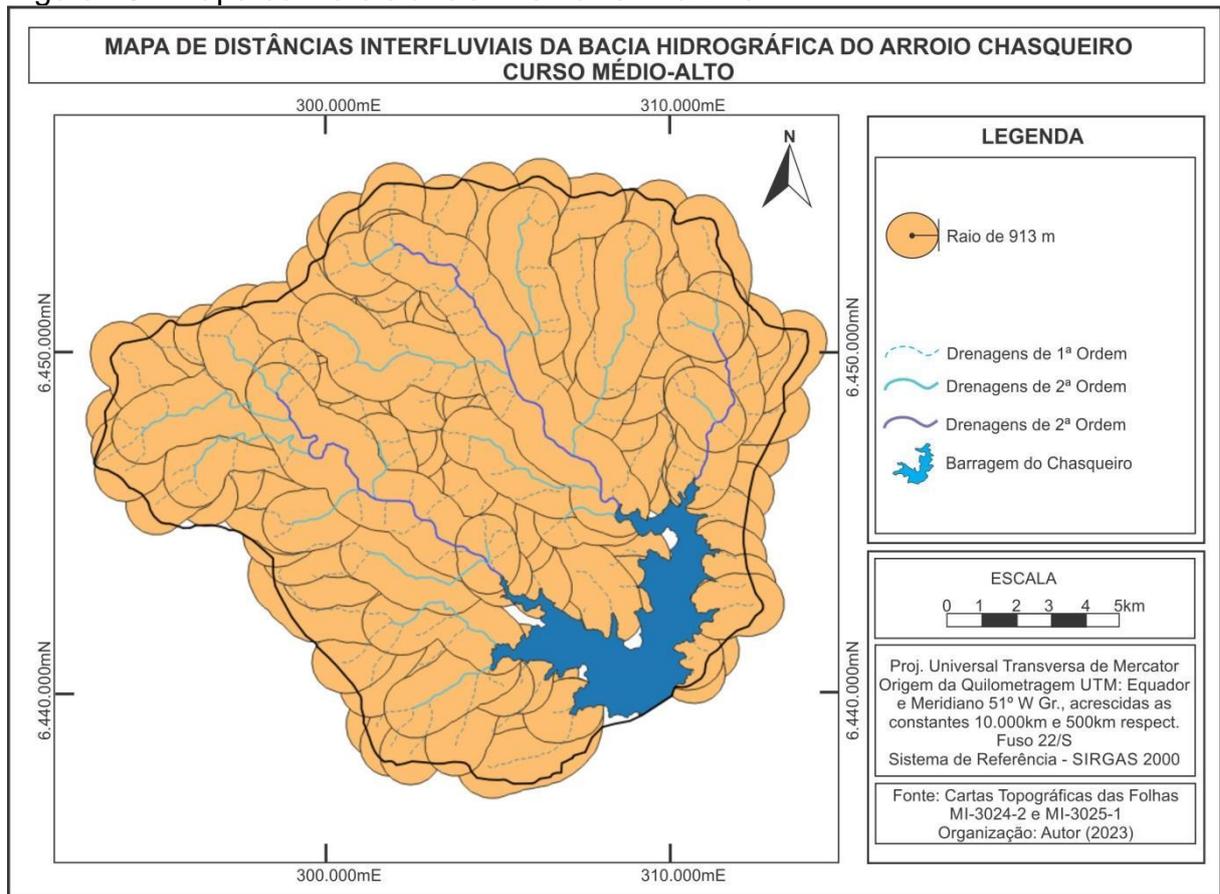
Fonte: TRMM, elaborado pelo autor.

7.6 Parâmetro Densidade de Drenagem (DD)

A BHAC no seu curso médio-alto apresenta um padrão de drenagem Dendrítico, típico no Escudo Sul-Riograndense. Possui como tendência, confluências em ângulos agudos de graduações variadas, mas sem alcançar a geometria de ângulo reto (CHRISTOFOLLETTI, 1980).

Na configuração de bacia com padrão dendrítico, as distâncias interfluviais tendem a diminuir na direção de aproximação das confluências de drenagens. Para a determinação da distância interfluvial máxima, foram gerados vários mapas de distâncias, até que a condição de limite interfluvial fosse satisfeita. O resultado foi a determinação da distância interfluvial máxima de 913 metros, encontrada na borda oeste da bacia, conforme figura 45.

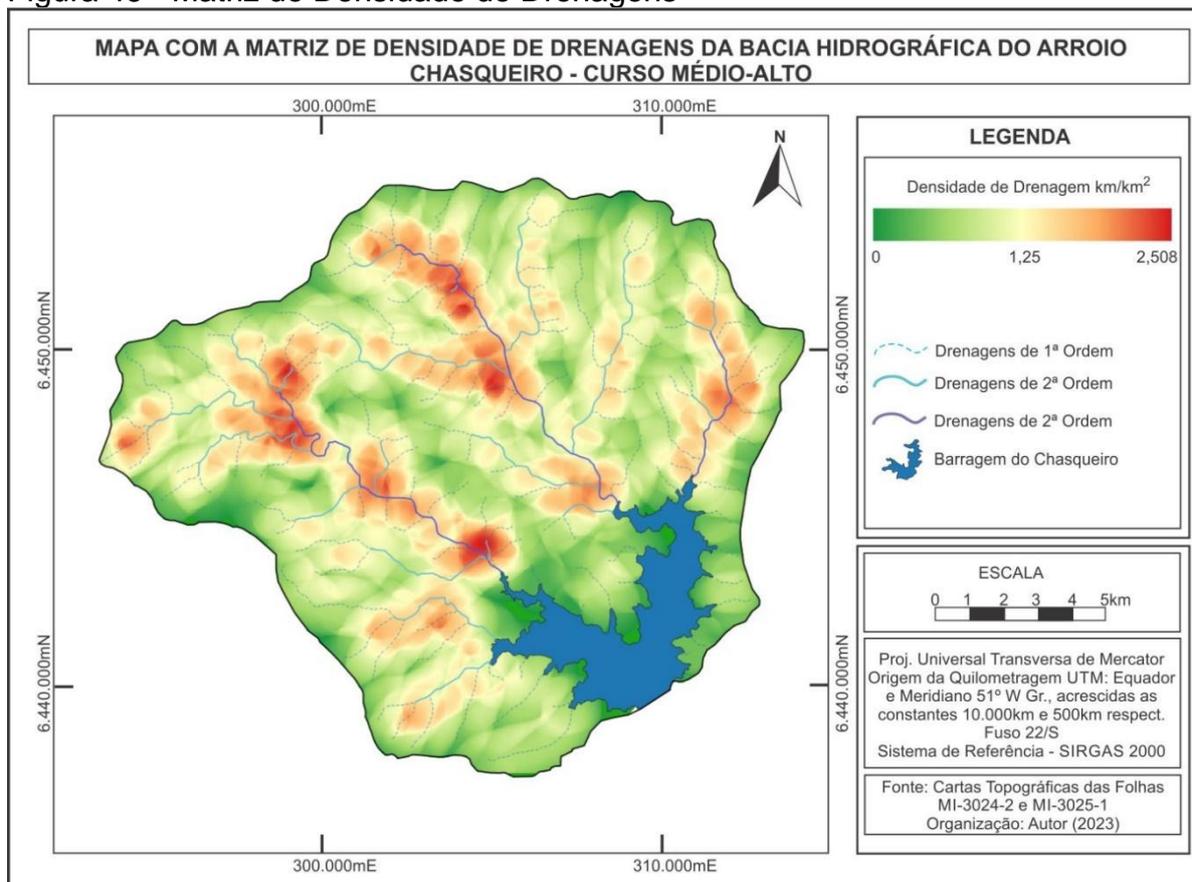
Figura 45 - Mapa com a distância interfluvial máxima



Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da definição da distância interfluvial máxima, foi aplicado o *plugin* de densidade de linhas, presente no QGIS e resultando na matriz de densidade de drenagens. Na figura 46, pode-se observar que a densidade de drenagem variou de 0 (valor teórico) até 2,508 km de drenagem por km² de área da bacia. As maiores densidade estão próximas às confluências dos rios, principalmente nos cursos principais dos Arroios Chasqueiro e Chasqueirinho.

Figura 46 - Matriz de Densidade de Drenagens



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o enquadramento na metodologia de Beltrame (1994), a matriz de densidade de drenagens foi fatiada, através da definição de 4 classes. Na área de estudo, foram encontradas 3 classes (Figura 47), sendo que a primeira, denominada de Baixa densidade de drenagens (entre 0 e 0,5 km/km²), refere-se aos locais próximos ao lago da barragem do Chasqueiro, nos divisores de águas na borda da bacia e pequenas áreas distribuídas pela bacia, totalizando 4.200,43 ha.

A densidade mediana de drenagens é a que predomina na área de estudo, com 18.235,55 hectares. Está intimamente relacionada à homogeneidade da estrutura litológica, composta basicamente por rochas ígneas da família dos granitóides. Essa classe é representada pela densidade variando de 0,05 a 2,00 km de drenagens por km² de área da bacia.

Por fim, a densidade de drenagens alta, refere-se às áreas com as principais confluências de drenagens da bacia, principalmente do Arroio Chasqueiro e Chasqueirinho, totalizando 703,51 ha. Resultados semelhantes foram encontrados por Neves (2012) na bacia do Arroio Pelotas, a qual apresenta litologia e pedologia

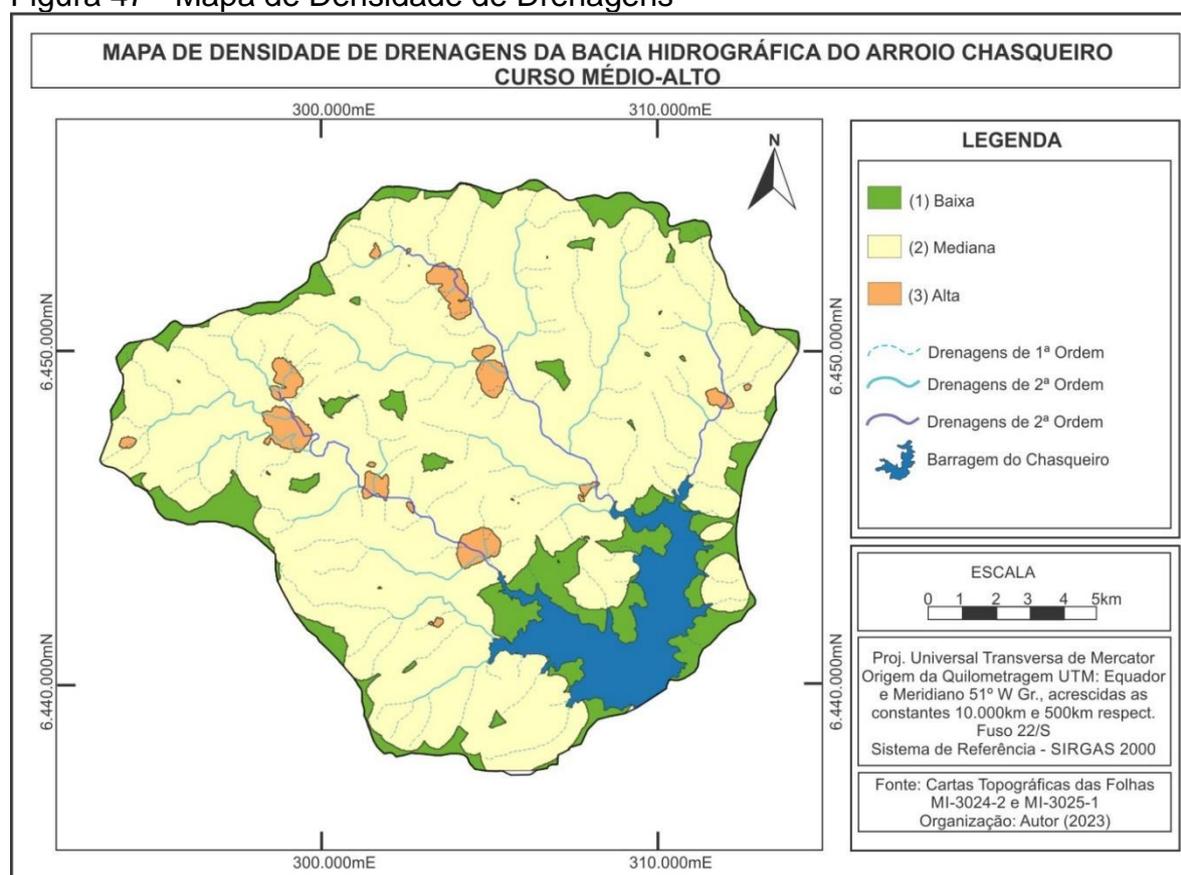
semelhante à BHAC. A tabela 35, apresenta de forma resumida as classes e suas respectivas áreas de densidade de drenagem e a figura 47 apresenta o mapa com a distribuição espacial das classes.

Tabela 35 - Densidade de drenagem com suas respectivas áreas por classe

Intervalos de Densidade de Drenagem	Classe	Índice	Área (ha)	Área (km ²)
<0,5	Baixa	DD ₁	4.200,43	42,0043
0,5-2,00	Mediana	DD ₂	18.235,55	182,3555
2,00-3,50	Alta	DD ₃	703,51	7,0351
Total			23.139,49	231,3949

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 47 - Mapa de Densidade de Drenagens



Fonte: Elaborado pelo autor.

Segundo Morais (2018), a interpretação da densidade de drenagem contribui para interpretações de características litológicas e tectônicas em mapeamentos geológicos, além de ser valioso para interpretações sobre morfogênese e morfodinâmica, baseadas em interferências sobre diferenças de permeabilidade, como por exemplo, diferenças sobre a profundidade dos materiais permeáveis. A

densidade de drenagem também permite o entendimento dos processos de esculturação dos canais fluviais e do potencial erosivo de uma bacia hidrográfica.

7.7 Parâmetro Balanço Hídrico (BH)

Para a determinação do Balanço Hídrico na Bacia Hidrográfica do Arroio Chasqueiro, no seu curso médio-alto, são necessários os dados de precipitação, evaporação, evapotranspiração, área da bacia e área do reservatório. Os dados de precipitação foram obtidos da estação pluviométrica da barragem do Chasqueiro (Tabela 36), entre os anos de 2001 e 2019.

Tabela 36 - Precipitação mensal entre os anos de 2001 e 2019

Precipitação Mensal													
Ano	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Total
2001	197,3	118,0	226,7	144,8	143,5	112,9	177,8	39,6	192,4	224,0	227,4	155,5	1959,9
2002	196,8	91,3	174,0	289,3	124,9	139,9	144,9	221,5	176,5	174,9	205,0	235,4	2174,4
2003	35,6	279,5	113,9	173,9	80,8	219,4	30,3	130,2	141,5	83,8	141,6	76,7	1507,2
2004	101,8	98,3	38,8	139,0	242,3	123,3	46,3	72,2	93,0	111,3	100,0	73,2	1239,5
2005	45,2	18,0	65,3	192,2	143,6	51,1	95,8	72,7	291,0	164,0	26,0	51,0	1215,9
2006	132,5	134,0	150,5	55,0	61,5	102,0	42,0	126,0	83,0	65,0	94,5	185,0	1231,0
2007	74,0	80,0	204,0	159,0	195,0	171,0	59,0	231,5	85,9	136,3	151,8	118,8	1666,3
2008	105,5	142,5	134,3	27,4	205,3	80,7	114,2	185	91,2	47,5	32,0	44,0	1209,6
2009	245,7	163,0	51,3	0	61,0	84,0	33,0	158,9	127,4	88,2	324,2	141,5	1478,2
2010	90,8	308,9	58,6	78,6	102,4	47,9	231,9	38,6	115,9	40,0	29,5	39,5	1182,6
2011	127,8	32,5	93,8	84,0	85,4	130,2	50,6	188,8	74,9	80,9	36,5	81,4	1066,8
2012	79,9	170,6	37,3	76,8	7,6	76,6	106,1	70,8	102,3	76,1	52,8	143,1	1000,0
2013	65,2	121,6	25,7	119,9	163,8	108,5	74,0	119,4	221,16	141,45	177,5	40,1	1378,31
2014	190,5	250,2	189,2	113,4	35,7	138,2	169,1	109,2	143,3	214,3	59,7	107,9	1720,7
2015	251,5	87,1	41,5	0	108,4	132,5	101,5	133,4	247,6	320,4	124,8	129,2	1677,9
2016	80,4	101,6	242,5	275,4	50,3	36,9	68,1	101,8	75,8	122,5	93,6	127,3	1376,2
2017	102,2	87,6	125,0	118,0	214,6	129,0	34,4	183,9	149,6	32,2	15,4	25,5	1217,4
2018	83,5	30,0	79,4	90,8	59,9	87,7	340,6	204,4	225,53	298,7	36,6	40,2	1577,33
2019	389,8	53,1	15,3	88,6	55,8	41,0	120,5	148	154,7	71,7	0	0	1138,5
Média	136,63	124,62	108,79	117,16	112,72	105,93	107,37	133,46	146,98	131,22	101,52	95,542	1421,986

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados de evaporação foram obtidos da estação agroclimatológica do Capão do Leão/RS, a qual é a estação com dados de evaporação mais próxima a área de estudo. O período utilizado é o da série 1971 até o ano de 2000, sendo a que apresenta menor quantidade de ausência de dados. Os dados são referentes ao método do Tanque "Classe A" e podem ser consultados na tabela 37.

Assim como os dados de evaporação, os dados de evapotranspiração também foram obtidos da estação agroclimatológica do Capão do Leão/RS, e pelo mesmo período e método, sendo apresentados na tabela 38.

Tabela 37 - Dados de Evaporação em mm da estação agroclimatológica do Capão do Leão/RS

Dia	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Anual
1971	-	132,3	118,4	101,1	60,1	64,9	62,0	77,2	84,3	126,9	198,3	266,4	1291,9
1972	161,1	105,7	122,2	101,7	67,3	50,2	47,8	55,4	102,1	116,4	153,1	217,7	1300,7
1973	199,0	143,7	155,1	87,6	58,6	51,4	47,5	73,9	92,0	134,6	185,2	153,5	1382,1
1974	175,7	124,4	120,2	108,9	53,5	51,8	54,3	73,8	80,5	154,5	173,9	197,6	1369,1
1975	212,9	156,3	140,7	105,6	62,1	52,9	71,1	62,9	83,9	143,1	161,8	220,4	1473,6
1976	180,3	187,9	135,2	94,8	58,4	59,9	52,9	68,3	96,0	153,7	166,5	197,8	1451,6
1977	194,3	132,1	148,6	91,7	61,7	41,1	62,4	63,8	92,6	136,8	187,6	215,9	1428,6
1978	219,7	181,2	136,8	111,0	75,8	52,6	43,9	70,7	114,6	126,4	167,3	218,6	1518,6
1979	257,1	200,2	131,5	84,6	75,7	54,3	62,7	67,0	100,3	119,4	174,2	191,0	1518,0
1980	224,1	189,8	143,7	98,3	73,0	55,3	70,0	83,0	117,6	123,9	163,1	184,4	1526,2
1981	205,1	163,5	139,8	122,3	81,3	49,7	67,6	90,8	91,6	150,1	197,1	222,5	1581,4
1982	220,8	155,7	164,7	140,9	80,8	50,9	60,7	72,8	98,0	170,5	151,2	214,7	1581,7
1983	195,1	134,8	152,9	93,6	63,5	52,3	56,0	77,1	104,6	150,8	169,9	198,1	1448,7
1984	158,9	160,2	156,2	112,8	61,5	52,5	56,4	74,5	89,4	134,8	175,0	222,3	1454,5
1985	216,6	182,9	158,0	92,8	71,0	53,6	53,7	58,5	94,1	147,3	193,2	224,4	1546,1
1986	233,1	173,0	140,6	89,2	80,0	57,3	60,7	76,8	99,6	149,6	162,7	219,6	1542,2
1987	192,7	179,4	160,8	89,6	71,2	64,3	75,7	74,4	120,2	155,2	184,1	184,4	1552,0
1988	193,8	171,3	175,6	117,4	76,3	56,1	68,0	84,3	85,3	173,8	220,6	251,8	1674,3
1989	232,5	203,9	168,6	113,5	88,9	-	-	78,3	97,9	157,8	141,4	207,1	1489,9
1990	210,1	118,9	129,1	95,6	73,6	58,6	64,2	84,2	99,3	135,7	170,4	228,1	1467,8
1991	240,0	208,7	158,3	114,4	77,4	55,9	63,8	69,7	112,4	139,0	165,4	197,9	1603,0
1992	233,9	150,1	156,7	98,6	81,5	60,2	66,0	88,4	95,7	159,8	196,3	236,6	1623,8
1993	198,7	174,5	155,4	138,4	83,6	59,2	67,7	86,1	92,4	126,5	180,9	205,3	1568,7
1994	227,3	131,2	159,5	109,5	69,7	60,2	56,8	83,7	116,0	130,4	185,6	242,7	1572,6
1995	192,4	156,5	163,3	131,7	71,7	66,2	67,5	69,7	120,6	154,2	191,1	252,3	1637,2
1996	165,3	184,8	168,3	113,3	72,6	61,5	66,7	80,3	96,3	143,1	198,6	211,1	1561,9
1997	222,3	132,1	174,1	125,7	84,7	70,7	77,0	92,4	111,5	147,0	165,5	203,4	1606,4
1998	155,4	130,3	140,7	92,5	65,2	55,3	64,4	82,6	105,6	165,0	202,6	222,0	1481,6
1999	199,3	168,5	161,8	105,0	75,7	60,3	62,7	86,5	122,6	156,5	212,1	249,2	1660,2
2000	236,7	197,0	142,8	102,6	80,9	59,2	67,6	100,6	107,5	135,1	193,4	211,2	1634,6
Média	205,3	161,0	149,3	106,2	71,9	56,5	62,0	76,9	100,8	143,9	179,6	215,6	1529,1

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 38 - Dados de Evapotranspiração em mm da estação agroclimatológica do Capão do Leão/RS

Dia	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Anual
1971	149,6	110,0	102,6	75,7	44,0	37,1	38,3	55,8	70,1	102,5	138,8	163,5	1088,0
1972	142,1	130,5	106,1	72,6	49,3	35,4	38,2	45,9	76,1	96,7	115,1	155,6	1063,6
1973	140,6	113,8	113,1	67,1	46,3	37,6	35,9	57,1	71,5	107,8	144,6	133,2	1068,6
1974	146,5	108,8	104,0	79,9	46,5	36,5	38,5	53,6	67,9	115,2	129,1	147,8	1074,3
1975	159,4	121,3	111,1	76,0	46,6	35,8	43,7	50,1	71,0	109,9	132,6	170,1	1127,6
1976	143,7	134,3	106,2	72,5	48,4	42,7	37,6	49,4	74,3	107,9	126,6	156,4	1100,0
1977	153,1	109,1	112,5	72,0	47,8	33,8	38,6	51,8	70,9	106,5	138,9	153,4	1088,4
1978	163,9	133,9	105,5	76,6	54,4	35,5	36,3	51,6	76,9	95,7	124,7	156,1	1111,1
1979	172,5	131,5	104,6	67,6	53,4	35,9	39,4	47,0	71,7	94,8	125,7	133,3	1077,4
1980	160,6	129,2	104,8	76,4	52,4	36,7	44,1	53,8	80,8	90,6	122,6	136,9	1088,9
1981	148,6	115,9	107,7	76,6	53,5	33,4	35,9	60,8	60,4	104,6	126,9	153,0	1077,3
1982	152,7	119,5	120,4	83,3	50,3	32,5	36,2	50,6	72,4	111,6	116,0	151,3	1096,8
1983	142,5	109,3	112,3	67,0	47,0	36,1	34,9	51,6	70,7	105,9	124,3	155,9	1057,5
1984	142,8	121,1	114,4	78,8	50,4	32,7	37,6	50,0	68,5	99,8	124,4	154,7	1075,2
1985	156,7	123,2	110,7	70,2	53,6	36,9	40,6	47,9	70,0	106,1	137,4	156,6	1109,9
1986	159,8	121,7	101,8	68,1	55,6	38,6	43,1	54,0	75,7	106,3	115,7	157,3	1097,7
1987	147,4	129,7	112,0	68,1	48,1	41,9	41,8	48,9	72,8	104,2	128,7	140,0	1083,6
1988	142,4	125,7	126,1	76,9	47,3	33,9	38,6	56,8	58,5	110,2	140,9	162,0	1119,3
1989	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1990	173,3	104,6	95,7	68,5	49,0	38,1	42,9	59,9	58,1	98,2	124,0	148,0	1060,3
1991	167,9	148,1	112,3	71,5	55,1	36,1	40,8	54,7	84,3	98,3	121,8	151,1	1142,0
1992	158,5	116,3	114,0	71,2	53,6	38,4	37,8	52,4	72,9	114,9	131,2	160,1	1121,3
1993	198,7	174,5	155,4	138,4	83,6	59,2	67,7	86,1	92,4	126,5	180,9	205,3	1568,7
1994	161,8	102,6	117,0	75,8	50,3	40,8	40,1	53,6	81,3	96,2	135,1	169,3	1123,9
1995	152,0	120,0	114,7	87,7	49,3	34,1	39,1	52,1	78,5	100,8	128,4	166,0	1122,7
1996	137,4	127,3	125,3	71,1	50,9	34,2	37,9	55,5	69,2	99,3	136,2	144,8	1089,1
1997	159,6	102,7	116,0	80,1	53,7	36,5	43,0	58,7	70,8	93,2	115,6	138,2	1068,1
1998	122,7	100,7	88,5	59,1	45,8	31,4	35,2	47,3	68,4	111,1	134,6	141,0	985,8
1999	134,4	113,2	108,6	60,7	45,5	29,9	37,8	53,5	74,9	103,0	137,4	152,0	1050,9
2000	158,2	120,4	98,3	65,3	49,8	34,9	40,3	55,7	69,0	89,6	124,7	145,4	1051,6
Média	153,4	121,3	111,1	75,0	51,1	36,8	40,1	54,0	72,4	103,7	130,4	153,7	1103,1

Fonte: Estação agroclimatológica do Capão do Leão/RS, elaborado pelo autor.

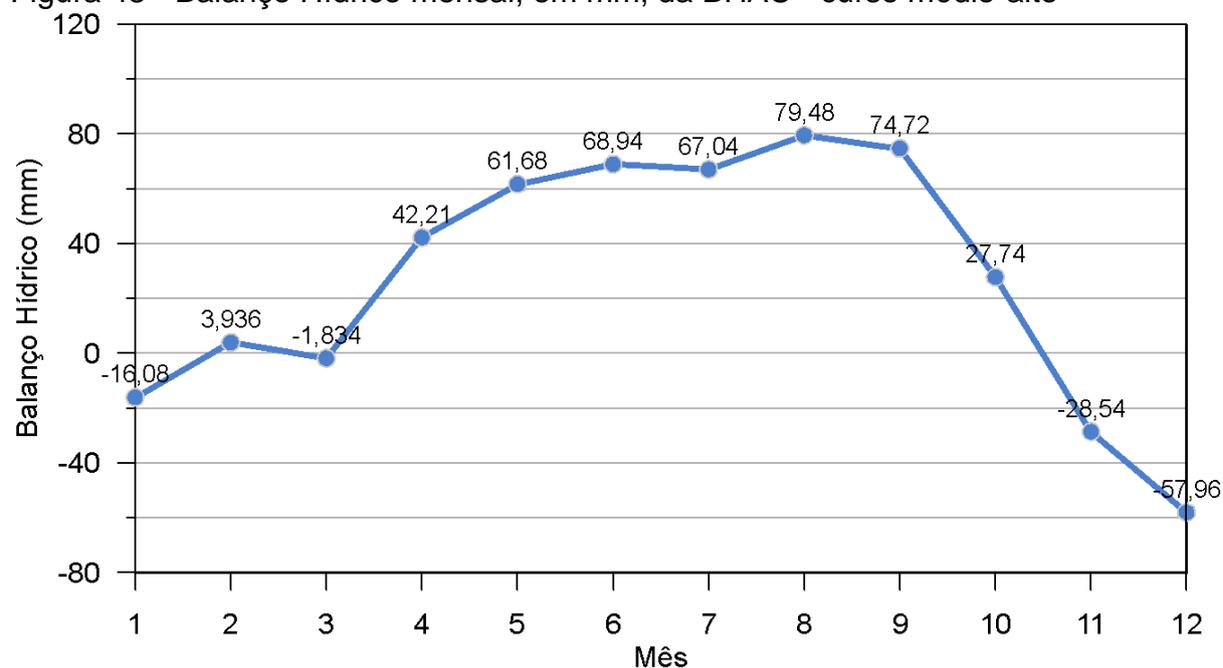
De posse dos dados de evaporação, evapotranspiração e precipitação, foram calculadas as médias mensais do balanço hídrico para o período disponível, sendo os resultados apresentados na tabela 39. Observa-se que ocorrem 4 meses no ano com déficit hídrico, sendo eles: janeiro, março, novembro e principalmente dezembro, chegando a um déficit de 57,96 mm. Já o superávit hídrico ocorre nos meses de fevereiro e de abril a outubro, com valores máximos ocorrendo nos meses de setembro e principalmente de agosto, conforme pode ser observado na figura 48.

Tabela 39 - Dados do Balanço Hídrico em mm da BHAC - curso médio-alto

Mês	Evaporação	Evaporação (0,7)	Evapotranspiração	Precipitação	BH (mm)
Janeiro	205,30	143,71	153,4	136,63	-16,08
Fevereiro	161,00	112,70	121,3	124,62	3,94
Março	149,30	104,51	111,1	108,79	-1,83
Abril	106,20	74,34	75,0	117,16	42,21
Mai	71,90	50,33	51,1	112,73	61,68
Junho	56,50	39,55	36,8	105,94	68,94
Julho	62,00	43,40	40,1	107,37	67,04
Agosto	76,90	53,83	54,0	133,47	79,48
Setembro	100,80	70,56	72,4	146,98	74,72
Outubro	143,90	100,73	103,7	131,22	27,74
Novembro	179,60	125,72	130,4	101,52	-28,54
Dezembro	215,60	150,92	153,7	95,54	-57,96
				Total	321,32

Fonte: Elaborado pelo autor.

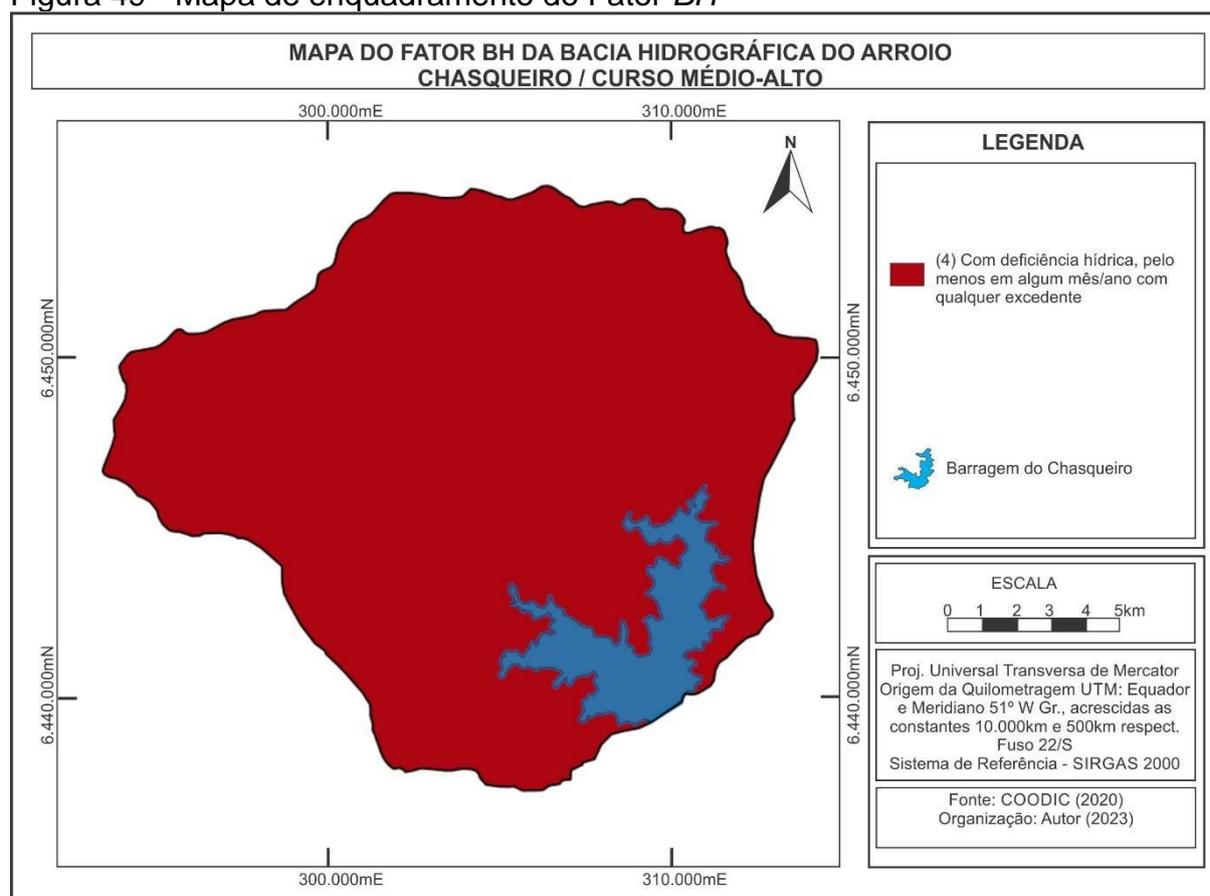
Figura 48 - Balanço Hídrico mensal, em mm, da BHAC - curso médio-alto



Fonte: Elaborado pelo autor.

Sendo assim, o Balanço Hídrico anual da BHAC, no seu curso médio-alto foi determinado em 321,32 mm, sendo enquadrado como classe Média com peso 3. Visto o enquadramento proposto por Beltrame (1994), para bacias com deficiência hídrica, em pelo menos um mês do ano e na condição de qualquer excedente, o enquadramento final de Balanço Hídrico foi definido na classe Baixo, com peso de 4, conforme a figura 49.

Figura 49 - Mapa de enquadramento do Fator *BH*



Fonte: Elaborado pelo autor.

8 Diagnóstico físico-conservacionista (DFC)

8.1 Fórmula descritiva

A fórmula descritiva do DFC pode ser aplicada na forma de soma aritmética simples, onde os enquadramentos resultam em setorizações (FERRETTI, 1998; CARVALHO, 2004; FERREIRA, 2009; NEVES, 2012; SILVA, 2013; LOURENÇO, 2013; BUENO, 2016; FERREIRA e MORAIS, 2017; SANTOS e AQUINO, 2017; ALVES *et al.*, 2018; NASCIMENTO *et al.*, 2021), ou na forma de matriz pareada pelo método *AHP*, apresentando os resultados na forma de áreas contínuas, conforme propostas recentes de Barbosa (2014); Queiroz (2017); Morais (2018) e Costa *et al.* (2019). Sendo assim, optou pelo método *AHP*, visto que se entende que os fatores possuem pesos variados no processo de degradação ambiental, principalmente pela escala de análise e dos usos da terra, pretéritos e atuais.

Portanto, de posse das matrizes de Cobertura Vegetal Original (CO) (1985-1995-2005-2015-2020), Cobertura Vegetal Atual (CA) (2020), Declividade Média (DM), Densidade de Drenagem (DD), Erosividade da Chuva (R), Balanço Hídrico (BH) e Potencial Erosivo do Solo (K), os dados foram ponderados utilizando-se do método *AHP* (SAATY, 1971; 1980; 1991; 1994, 2013) e a proposta de matriz de correlação DFC de Queiroz (2017), Morais (2018) e Costa *et al.*, (2019).

No método *AHP* de Saaty (2013), é realizado o pareamento dos fatores do DFC par a par, sendo nesta pesquisa utilizados 7 fatores, gerando-se os pesos a serem multiplicados pelos resultados matriciais de cada classe. Os pesos de cada fator são apresentados na tabela 40.

Tabela 40 - Pesos dos fatores do DFC da BHAC/curso médio-alto

Fator	Peso
CO	0,3256
CA	0,2417
K	0,1858
DM	0,1093
R	0,0702
DD	0,0427
BH	0,0247
Total	1,0000

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a verificação da significância dos pesos dos fatores analisados, calcula-se a Razão de Coerência (*RC*), a qual foi definida com índice de 0,0305. Conforme

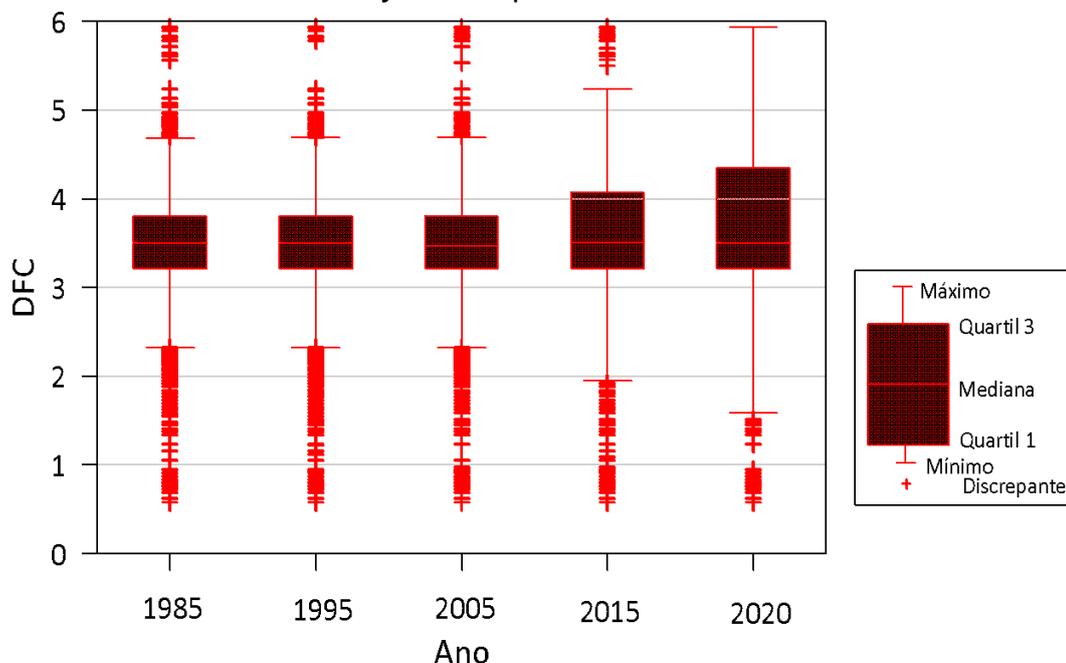
Oliveira e Belderrain (2008), resultados de RC inferiores a 0,10 são considerados consistentes e representativos perante as variáveis e pesos analisados. Visto os pesos definidos através do método AHP , a Fórmula Descritiva Final para cada período analisado pode ser apresentada conforme a equação 15. A aplicação da equação 15 em ambiente SIG para os anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e 2020, pode ser conferida no Anexo 2 desta pesquisa.

Equação 15

$$E(f_{ano}) = \{(CO * 0,3256) + (CA * 0,2417) + (K * 0,1858) + (DM * 0,1093) + (R * 0,0702) + (DD * 0,0427) + (BH * 0,0247)\}$$

Cabe destacar que o risco de degradação física da BHAC, no seu curso médio-alto, está intimamente relacionado ao uso da terra, sendo que os resultados da matriz de pesos do DFC refletem essa afirmação, assim como os resultados dos fatores do DFC, apresentados anteriormente. Para a apresentação dos resultados do DFC, foram desconsiderados os *outlayers*, definidos através da comparação entre os períodos analisados (1985-1995-2005-2015-2020) os quais podem ser visualizados na figura 50.

Figura 50 - Gráfico com os *outlayers* dos períodos analisados



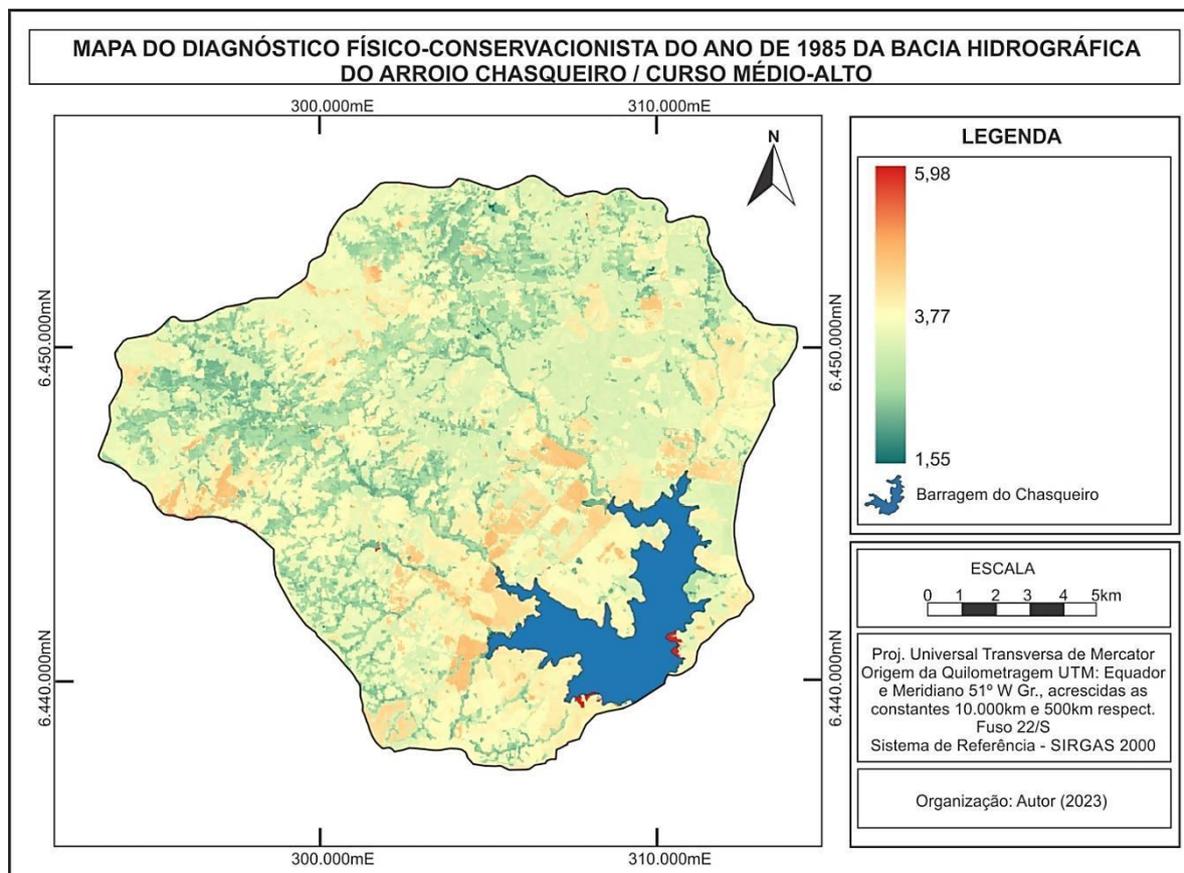
Fonte: Elaborado pelo autor.

Sendo assim, as matrizes DFC foram delimitadas nos valores mínimos e máximos do gráfico de *outlayers* do resultado de DFC mais amplo, referente ao ano de 2020, pois é o que apresenta a maior amplitude de inclusão de dados. Portanto, os resultados das matrizes dos DFCs dos períodos analisados foram recortados nos valores que vão do mínimo 1,55 até o máximo de 5,98.

8.2 Diagnóstico Físico-Conservacionista do Ano de 1985

No resultado do DFC do ano de 1985 (Figura 51), observa-se que a maior parte da BHAC no seu curso médio-alto, apresentava um estado de degradação com índices relativamente baixos, principalmente nas áreas próximas às nascentes, as quais possuíam significativa cobertura vegetal na tipologia de mata ciliar. Os piores resultados estão nas áreas onde já ocorria o cultivo de culturas temporárias, principalmente de trigo.

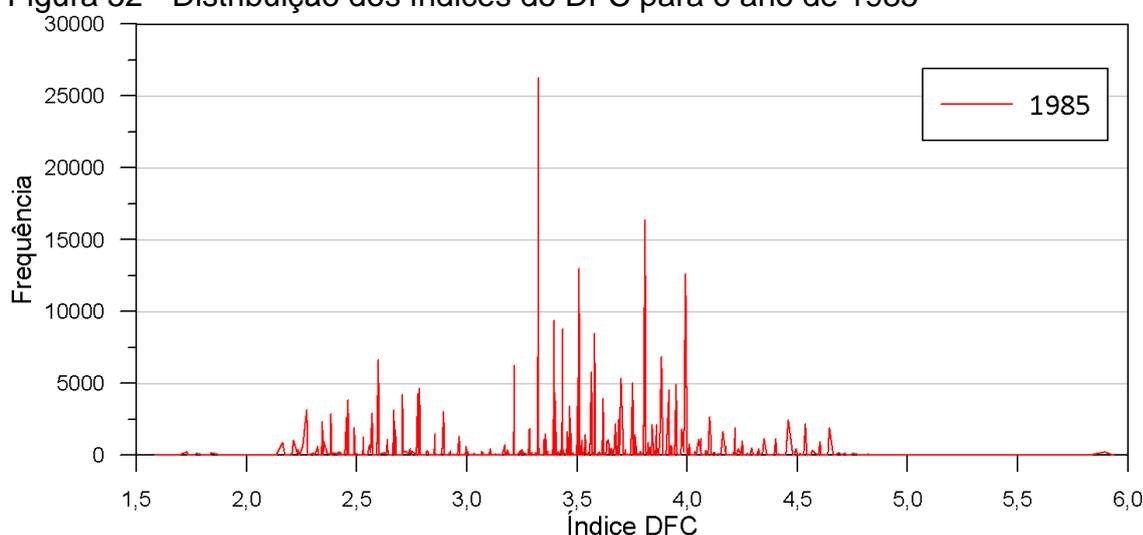
Figura 51 - Mapa de DFC para o ano de 1985



Fonte: Elaborado pelo autor.

Cabe destacar que foram mapeadas pequenas áreas com alto valor de degradação ambiental, com valores próximos ao índice 6. Estes locais estão às margens do reservatório da Barragem do Chasqueiro e referem-se aos jazimentos de materiais utilizados na construção da barragem. Também foram mapeados alguns locais com altos índices de degradação nas regiões norte e noroeste da bacia, onde os resultados estão relacionados às altas declividades do terreno, alta densidade de drenagens, acentuada erodibilidade dos solos e propensos a erosividade da chuva. A figura 52 apresenta a distribuição gráfica dos índices do DFC para o ano de 1985.

Figura 52 - Distribuição dos índices do DFC para o ano de 1985



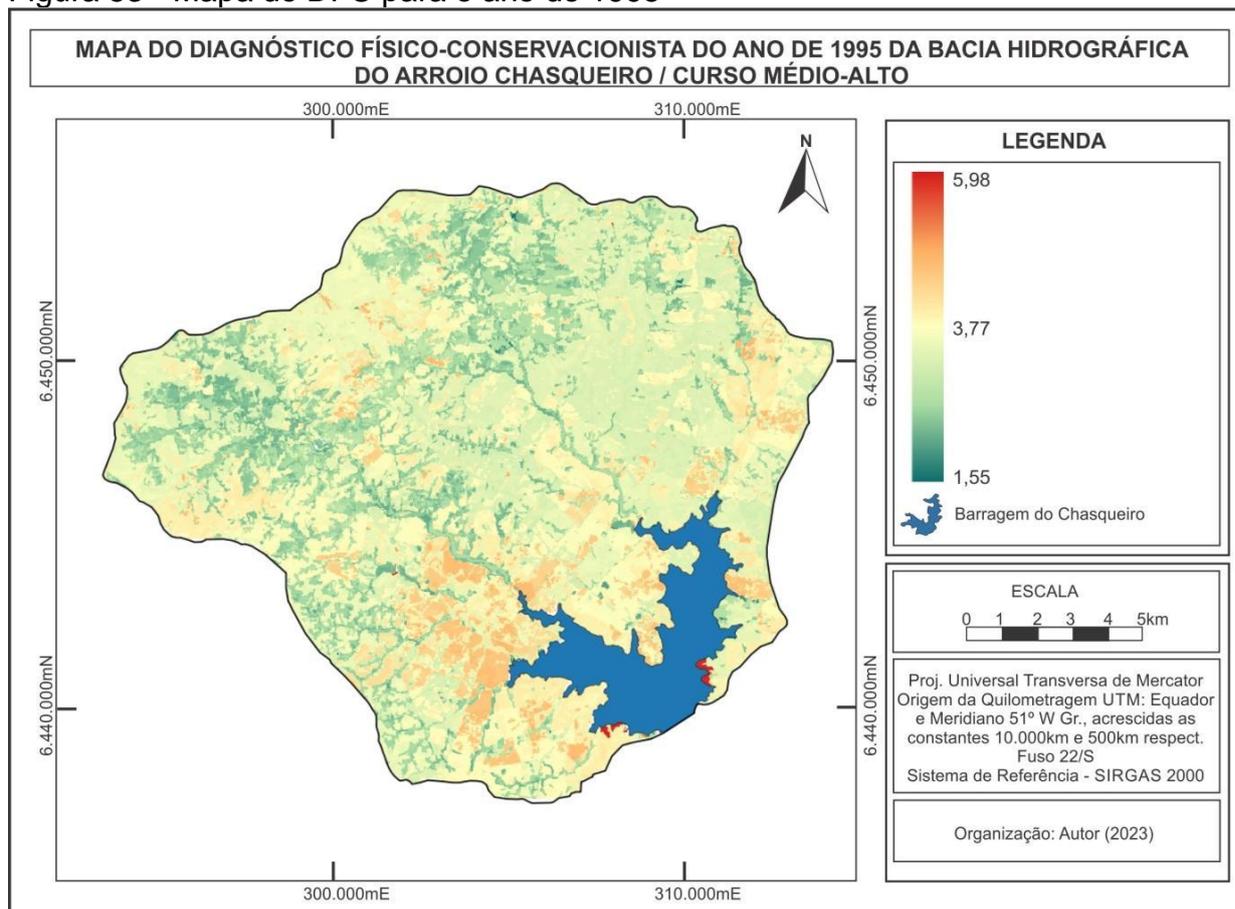
Fonte: Elaborado pelo autor.

8.3 Diagnóstico Físico-Conservacionista do Ano de 1995

Observando os resultados do DFC do ano de 1995 (Figura 53), as respostas de DFC são semelhantes às encontradas no ano de 1985, sendo que é observado um pequeno avanço das culturas temporárias sobre áreas campestres, constatado através do gráfico de frequências de respostas em índices superiores a 4,3 (Figura 54). Esse cenário é verificado de maneira mais expressiva na região sudoeste da área de estudo.

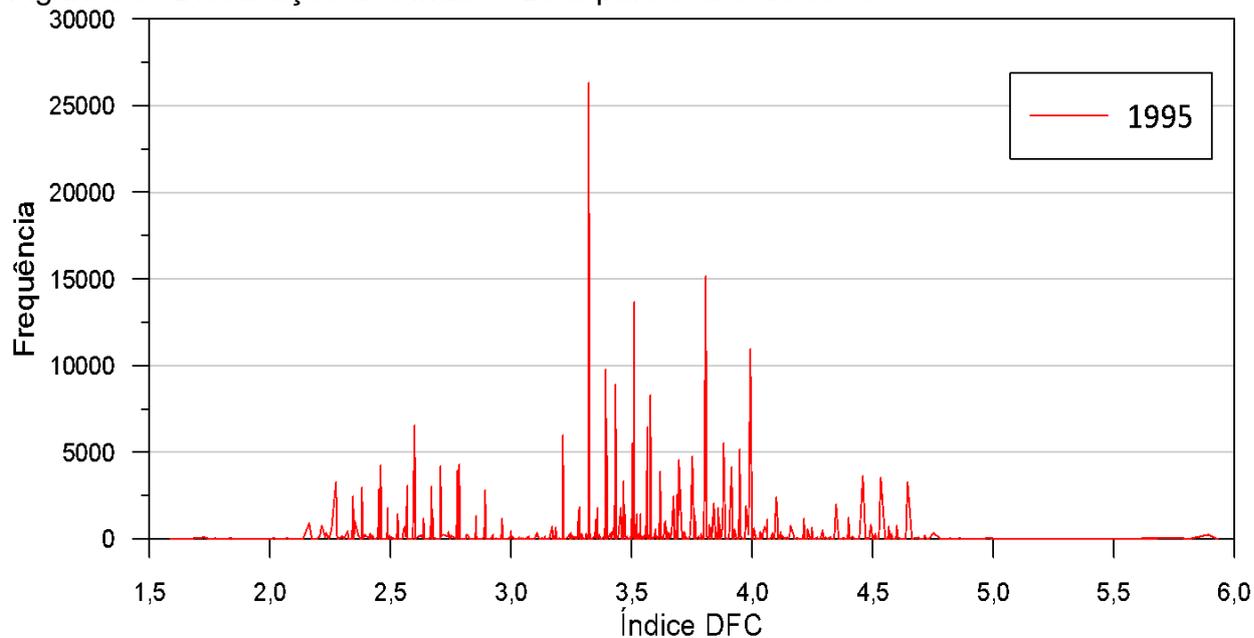
Em contrapartida, resultados melhores de DFC, ou seja, numa tendência de menor degradação ambiental estão nas áreas próximas aos cursos fluviais, onde ocorreu uma recuperação da mata ciliar, mesmo que com pequena amplitude. Além disso, pequenos polígonos de reflorestamento sobre áreas campestres corroboram com a melhoria da distribuição dos índices de DFC do ano de 1995.

Figura 53 - Mapa do DFC para o ano de 1995



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 54 - Distribuição dos índices DFC para o ano de 1995

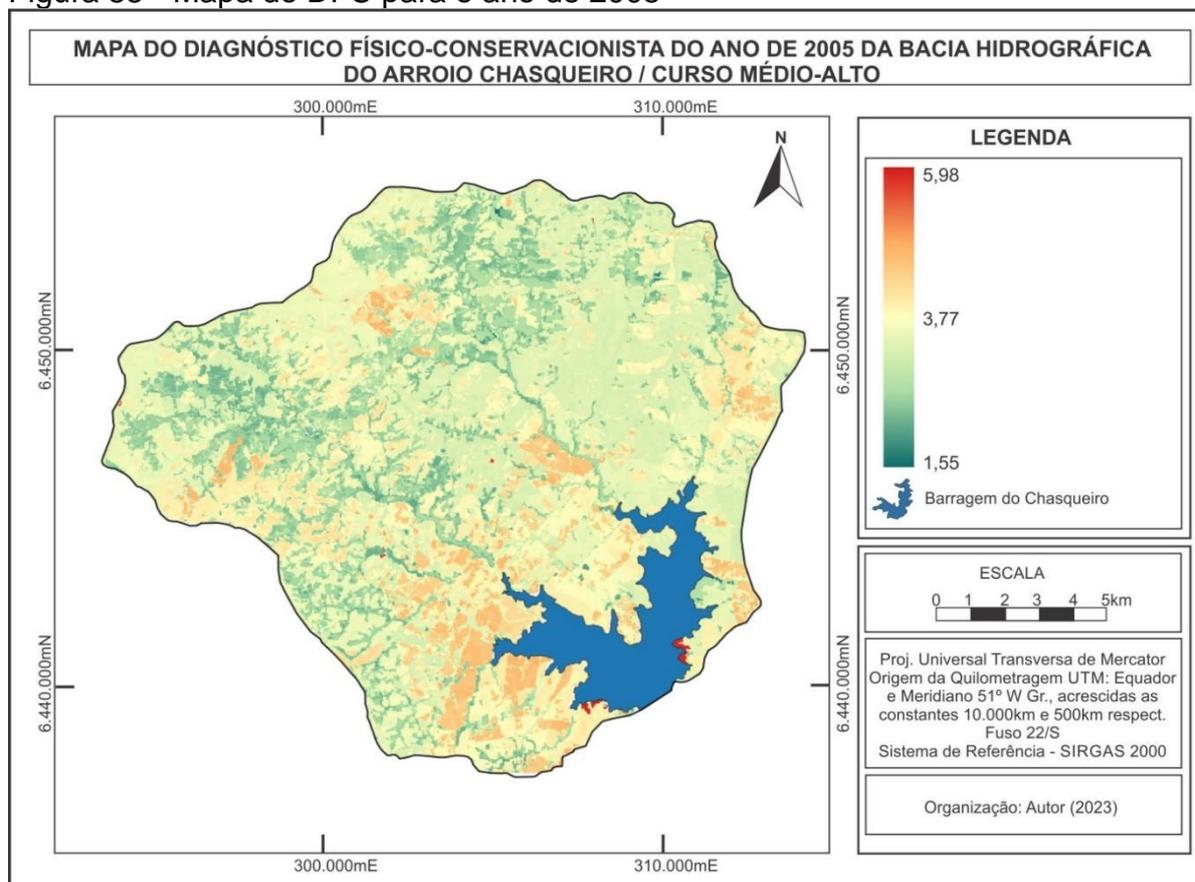


Fonte: Elaborado pelo autor.

8.4 Diagnóstico Físico-Conservacionista do ano de 2005

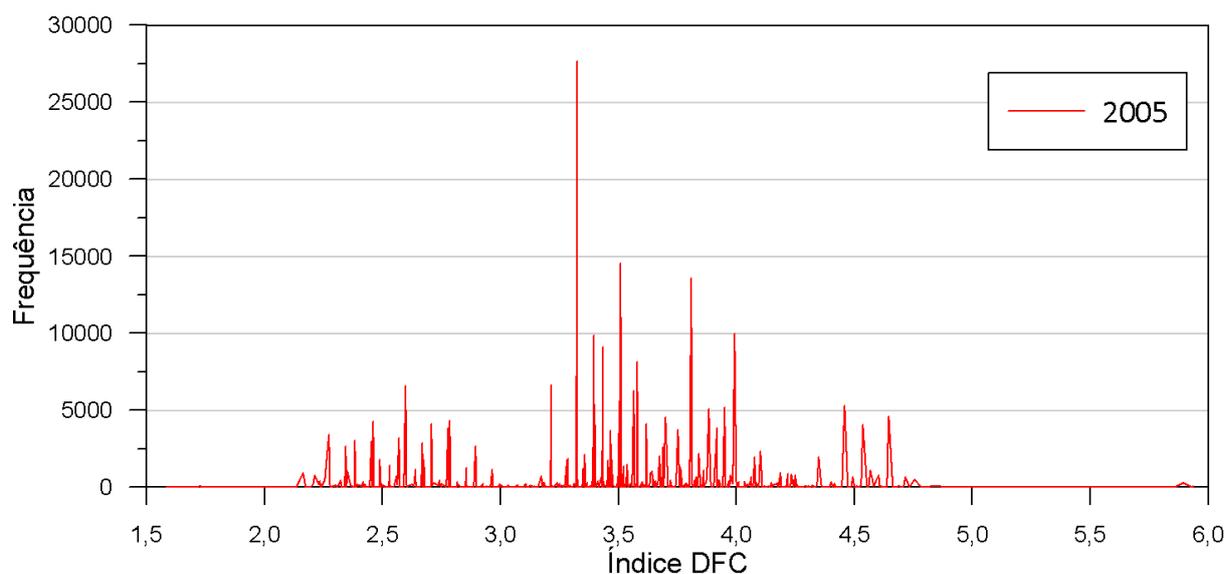
Os resultados do DFC do ano de 2005 (Figura 55) demonstram pequenas melhoras em relação aos períodos anteriores, principalmente nos índices intermediários, ou seja, com valores de DFC entre 3,3 e 3,5, apresentados na figura 56. A melhora nos índices se origina da mudança no uso da terra em áreas anteriormente ocupadas com a agricultura temporária, passando para a silvicultura.

Figura 55 - Mapa do DFC para o ano de 2005



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 56 - Distribuição dos índices DFC para o ano de 2005



Fonte: Elaborado pelo autor.

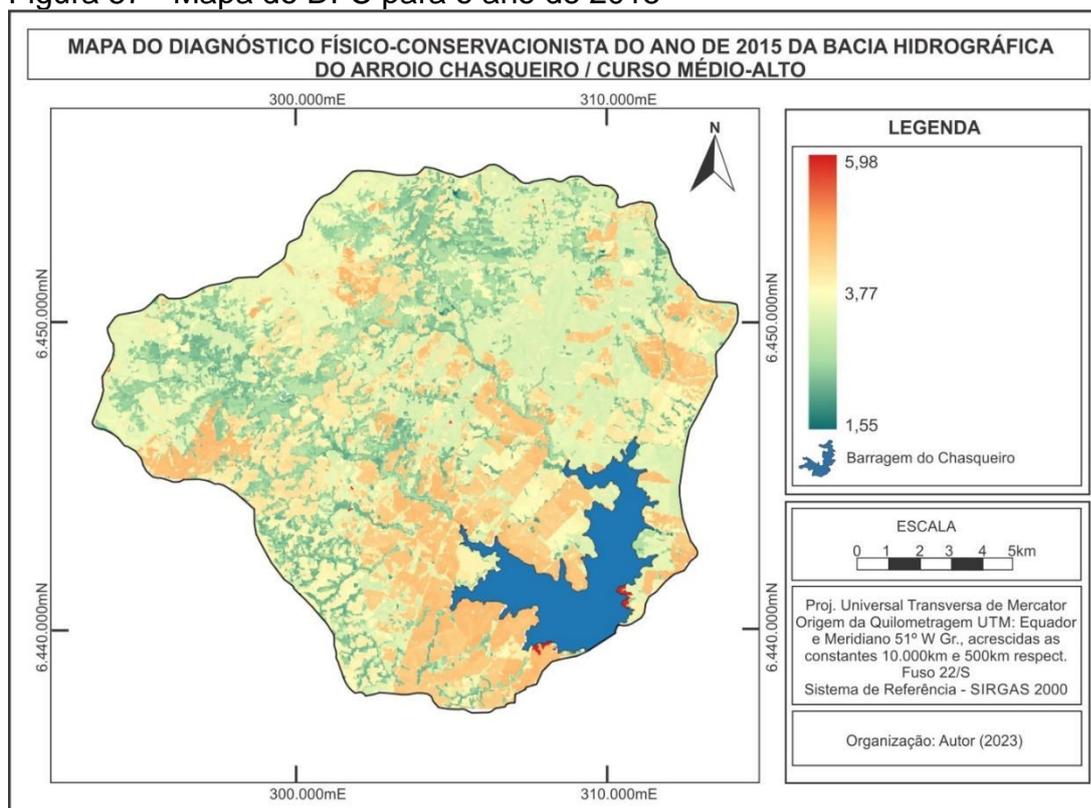
Em contrapartida, respostas com aumento dos índices de DFC foram encontrados principalmente em áreas anteriormente com tipologia campestre e também convertidas para uso da terra para a silvicultura. As mudanças citadas ocorreram nesse período principalmente no setor noroeste da área de estudo e na parte do curso médio do Arroio Chasqueirinho.

Cabe destacar que além do uso da terra, os fatores declividade, principalmente no setor noroeste e a erodibilidade do solo Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico Úmbrico e do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico Típico, fomentam uma maior resposta de índice DFC, ou seja, uma maior possibilidade de degradação nessas áreas.

8.5 Diagnóstico Físico-Conservacionista do ano de 2015

O DFC do ano de 2015 (Figura 57) apresentou resultados de degradação ambiental progressivamente maiores em relação ao período anteriormente analisado. Os índices de DFC aumentaram significativamente nos setores noroeste e norte da área de estudo, sendo relacionados com as mudanças de uso da terra, principalmente a expansão da silvicultura.

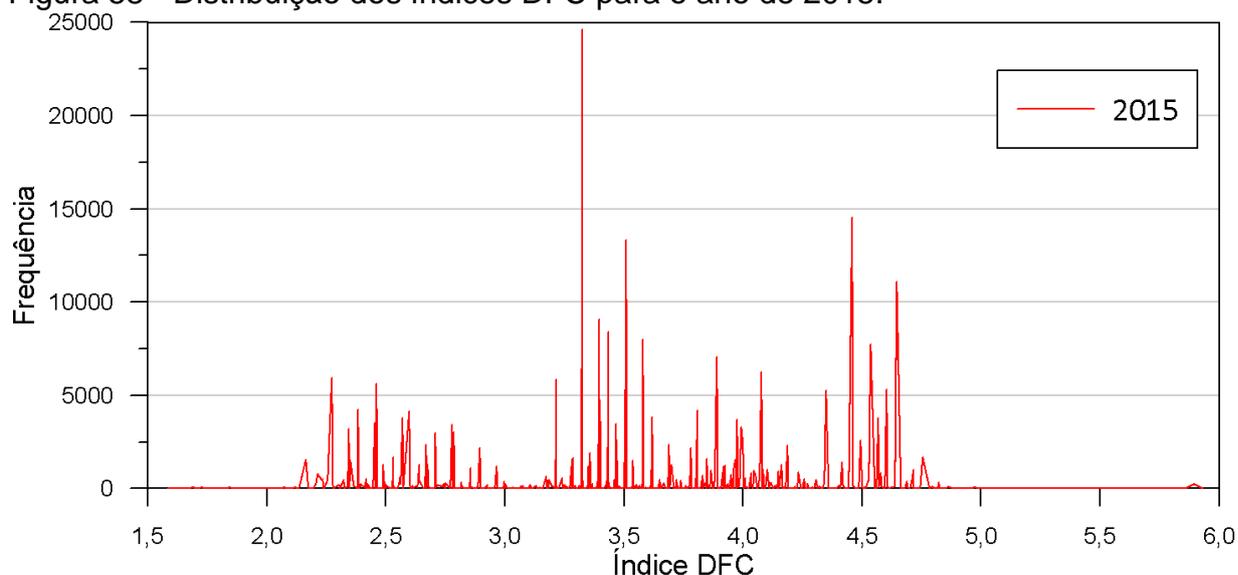
Figura 57 - Mapa do DFC para o ano de 2015



Fonte: Elaborado pelo autor.

Além da expansão das áreas de silvicultura, as áreas agrícolas também foram ampliadas, principalmente em locais anteriormente classificados como campestres e no ano de 2015 ocupadas com culturas temporárias. Em escala de detalhe, observou-se que os usos agrícolas começaram a ocupar as áreas até o limite da cota máxima do reservatório, ou seja, com ausência da faixa de amortecimento que eram ocupadas pela classe campestre. Essas alterações levaram o formar um novo agrupamento de resposta de DFC, com índices que variam de 4,3 até 4,7 (Figura 58).

Figura 58 - Distribuição dos índices DFC para o ano de 2015.



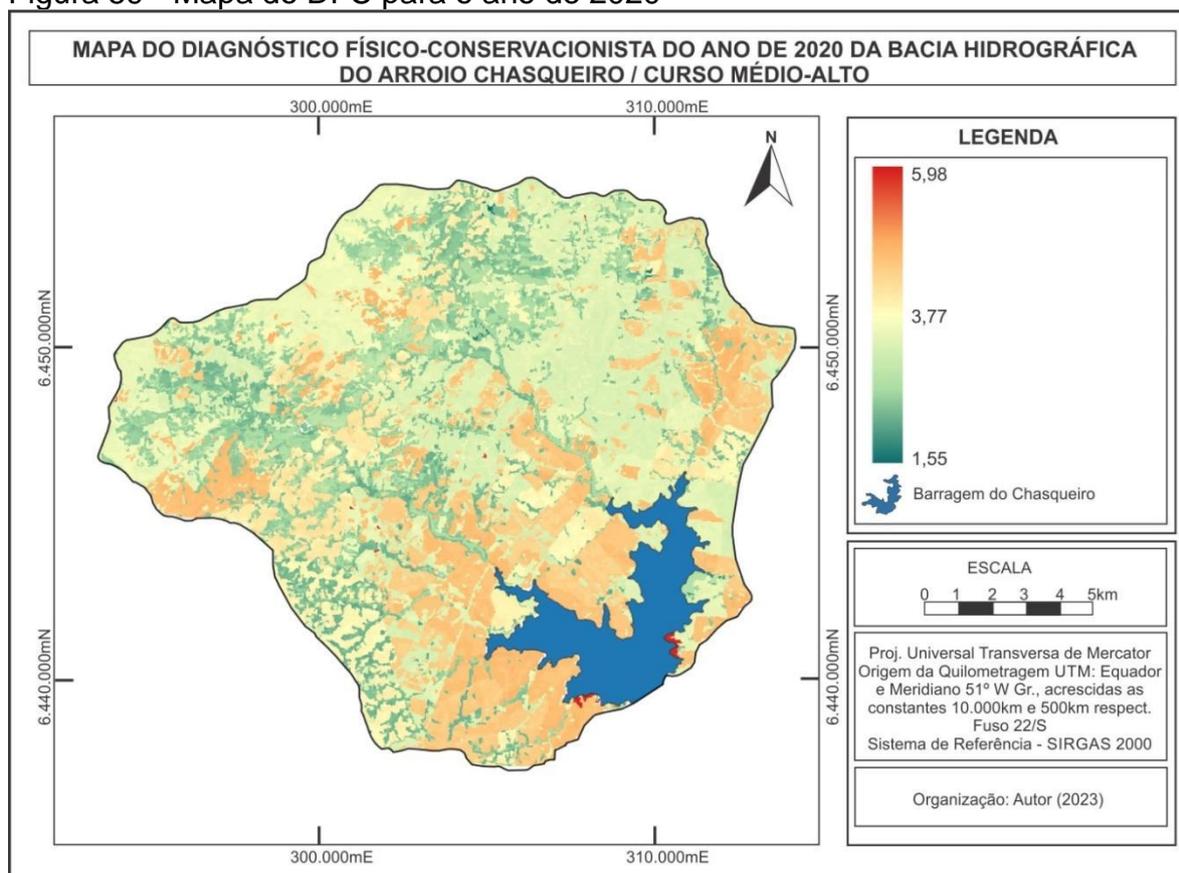
Fonte: Elaborado pelo autor.

De forma contrária, foi observada uma contínua melhora nos índices DFC das áreas próximas às drenagens, portanto, ocorreu a recuperação de vários polígonos de mata ciliar, principalmente nos setores norte e nordeste da área de estudo.

8.6 Diagnóstico Físico-Conservacionista do ano de 2020

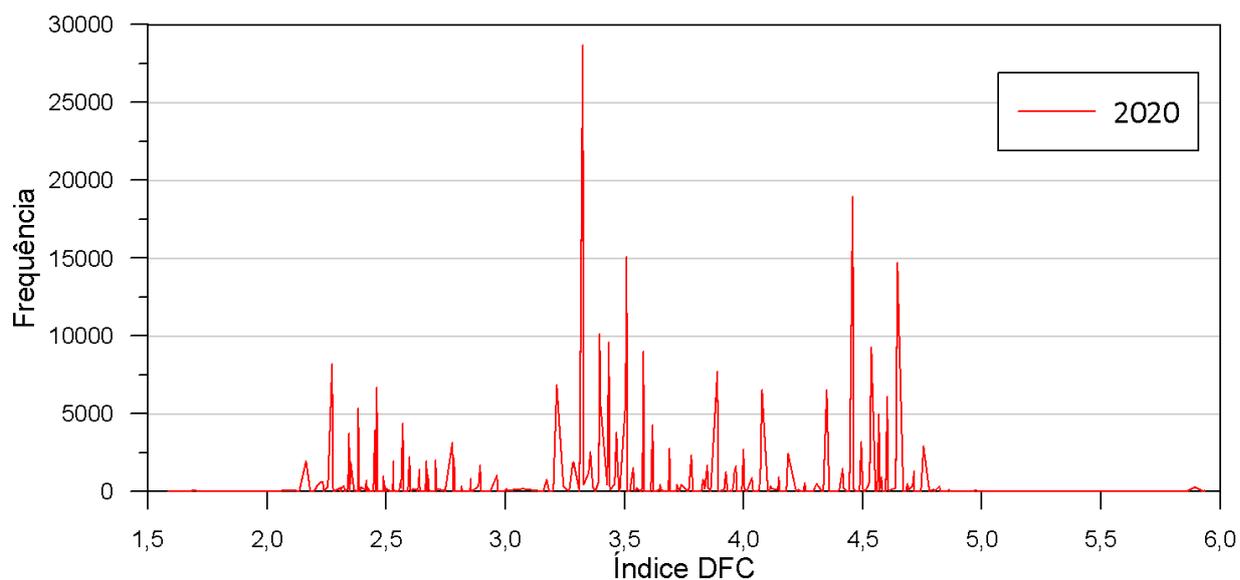
O DFC gerado para o ano de 2020 (Figura 59) seguiu a tendência discutida para o resultado do ano de 2015, com um aumento da área florestal (DFC entre 2,3 e 3) e a retração nas áreas campestres (DFC próximo a 3,5) (Figura 60). As áreas com a formação florestal continuaram crescendo sobre áreas campestres, o que corrobora numa significativa melhora no índice DFC, principalmente nos terrenos mais inclinados dos setores norte, noroeste e nordeste da bacia, assim como nos locais próximos aos cursos do Arroio Chasqueiro e Chasqueirinho, onde a densidade de drenagens é mais elevada.

Figura 59 - Mapa do DFC para o ano de 2020



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 60 - Distribuição dos índices DFC para o ano de 2020



Fonte: Elaborado pelo autor.

Já os resultados de altos índices de DFC estão atreladas ao uso da terra para a agricultura e em menor escala para a silvicultura. As áreas com agricultura

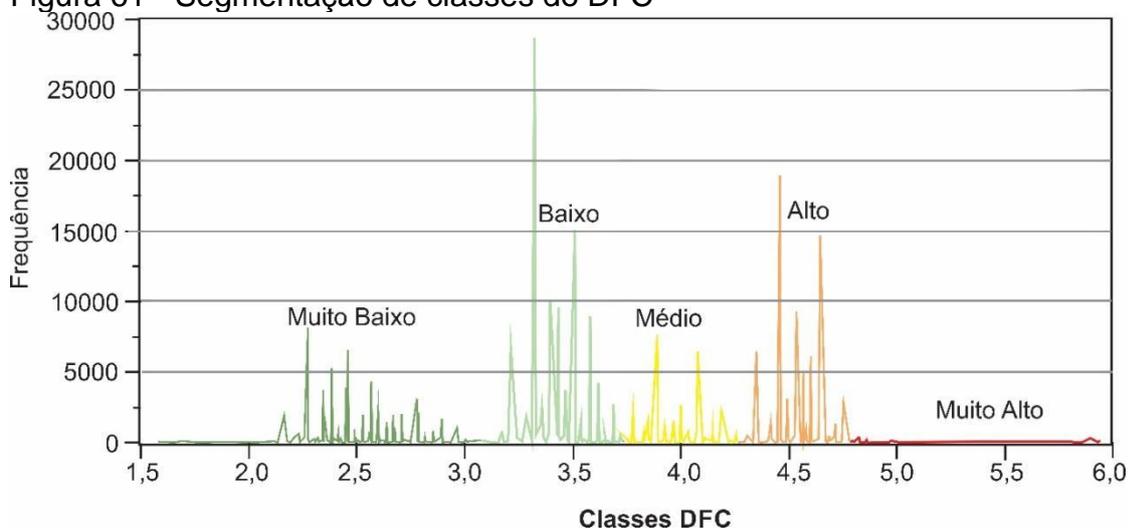
temporária ocuparam praticamente 60% do perímetro do reservatório da barragem do Chasqueiro, substituindo as áreas campestres. O agrupamento de índice DFC entre 4,3 a 4,7 continuou crescendo, chegando resultados próximos a 20 mil células por índice, justamente em áreas onde ocorre uma maior potencialidade erosiva dos solos (Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico Típico) e uso da terra intensivo para culturas temporárias.

8.7 Síntese e diretrizes do Diagnóstico Físico-Conservacionista da Bacia Hidrográfica do Arroio Chasqueiro/curso Médio-Alto.

A etapa final de um Diagnóstico Físico-Conservacionista apresentado sob a forma de áreas contínuas, ou seja, sem setorização, é a descrição de classes com diferentes graus de conservação ou degradação (QUEIROZ, 2017; MORAIS, 2018; COSTA *et al.*, 2019). Nesse sentido, a distribuição dos índices DFC é compartimentada em classes, conforme agrupamentos por similaridade de resultados de valor de DFC, baseada em fatores inter-relacionados (COSTA *et al.*, 2019).

Sendo assim, a distribuição dos índices DFC do ano de 2020 (DFC mais atual desta pesquisa) foi segmentada em 5 classes, conforme distribuição do Histograma da figura 61. Cada classe apresenta determinada amplitude conforme as diferentes inter-relações entre os resultados dos fatores: potencial, erodibilidade dos solos, declividade do terreno, densidade de drenagens, balanço hídrico, erosividade da chuva, uso e cobertura original e atual das terras.

Figura 61 - Segmentação de classes do DFC



Fonte: Elaborado pelo autor.

Portanto, as áreas com enquadramento de degradação Muito Baixo (Figura 62) referem-se às respostas de índice DFC entre 1,55 e 3,00, e tangem principalmente os locais próximos às drenagens da BHAC, onde predomina uma baixa declividade. Nestes locais ocorreu entre 1947 e 2020 a recuperação da mata ciliar (uso da terra como área de floresta). Essa condição de uso da terra como mata ciliar e de sua expansão no período analisado, corrobora a uma resposta baixa de DFC, pois é influenciada significativamente pelos parâmetros CO e CA. Além disso, a formação florestal também avançou na parte norte da BHAC, em terrenos mais inclinados (declividade entre 5 e 10%), mas onde o uso da terra passou de campestre para formação florestal.

Figura 62 - Área em uso da terra como floresta na classe Muito Baixa



Fonte: Elaborado pelo autor.

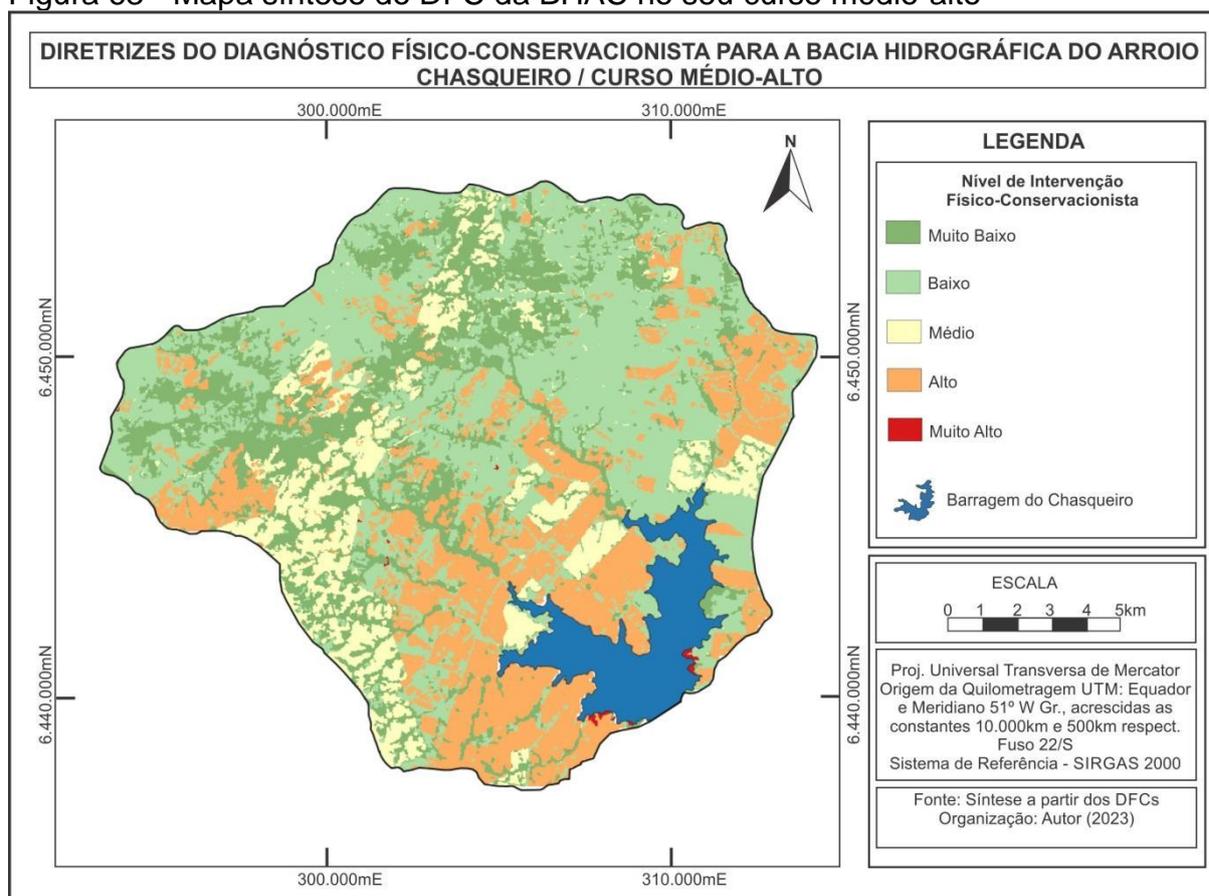
Esse cenário já foi apontado por outros pesquisadores na elaboração de DFCs, como Barbosa (2014), Bueno (2016) e Morais (2018), onde a mudança de uso da terra para floresta, em diferentes configurações de declividade, associados a outros fatores com índices orbitando os valores médios, conduzem a baixos índices de degradação ambiental (DFC classe Muito Baixo). A tabela 41 apresenta os resultados em área do DFC e a figura 63 apresenta o mapa com a distribuição espacial, sendo que a classe Muito Baixo ocupa 22,83%, ou seja, 52,9089 km².

Tabela 41 - Áreas resultantes do nível de intervenção Físico-Conservacionista

Classe	Área (%)	Área (ha)	Área (km ²)
Muito Baixo	22,8349	5.290,887	52,9089
Baixo	39,3581	9.119,361	91,1936
Médio	11,8714	2.750,636	27,5064
Alto	25,7616	5.969,017	59,6908
Muito Alto	0,1740	40,320	0,4032
Total		23.170,221	231,702

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 63 - Mapa síntese do DFC da BHAC no seu curso médio-alto



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os locais mapeados como Baixo nível de degradação ambiental (DFC entre 3,00 e 3,70) são exemplificados basicamente pelo uso e cobertura da terra da classe campestre, principalmente nos polígonos mapeados nos setores norte, nordeste e noroeste da BHAC. Essas áreas se mantiveram em sua maioria com o uso da terra original (1947) sendo que as variações do índice DFC atrelados aos fatores declividade, variando de topografia plana a suavemente ondulada (0 a 5%), densidade de drenagem mediana a baixa, em qualquer erosividade do solo, mas predominando a baixa.

Os locais com resposta de DFC enquadradas como de classe Baixo, são as que apresentam as menores alterações no período analisado, ou seja, possuem alta correlação entre o fator CO e CA, além de intersecção com as classes com menor potencialidade a degradação nos outros 5 parâmetros analisados. Segundo Queiroz (2017) e Morais (2018), na aplicação da metodologia do DFC de Beltrame (1994), os resultados de inalteração no uso e ocupação da terra conduzem a índices de enquadramento na classe de Baixa degradação. A classe de Baixa resposta DFC é a que apresenta a maior área da BHAC, no seu curso médio-alto, chegando a 39,35%, portanto, 91,1936 km². A figura 64 apresenta a exposição típica da classe Baixa de resposta DFC.

Figura 64 - Área campestre típica da classe Baixo de enquadramento DFC



Fonte: Elaborado pelo autor.

Consequente, as respostas de índice DFC entre 3,70 e 4,30 resultaram na classe Média de degradação ambiental, sendo a primeira a ser considerada no processo de possíveis ações de intervenção. São áreas onde o uso e ocupação das terras está fixado com silvicultura, principalmente após o ano de 2005 (Figura 65).

O fator cobertura atual (CA) em consonância a declividade média da classe suave ondulada a muito ondulada, densidade de drenagem mediana e baixo potencial erosivo do solo, predominantemente, levaram a esse enquadramento. A classe de Média degradação ambiental foi encontrada em 11,87 % da área da BHAC, portanto em 27,5064 km².

Figura 65 - Área de silvicultura com enquadramento de Médio DFC



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com resultado de Alto índice de degradação ambiental (DFC com índice entre 4,30 e 4,70), estão as áreas com o uso e cobertura da terra com a classe agricultura. A classe DFC Alta não apresentou índices maiores pela fórmula descritiva porque em geral, são áreas que apresentam um relevo plano a ondulado, baixa a moderada densidade de drenagem e baixa erosividade da chuva.

Nas áreas classificadas com Alto índice DFC, o uso e ocupação da terra com culturas temporárias, principalmente da soja, têm crescido significativamente nos últimos anos, sendo que vêm ocupando as áreas campestres. Cabe destacar que não são utilizadas práticas conservacionistas no cultivo da soja na BHAC, sendo que nas áreas com Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico Típico foram encontrados vários pontos com processos erosivos instalados (Figura 66).

Figura 66 - Processos erosivos instalados na classe Alta de DFC



Fonte: Elaborado pelo autor.

Portanto, as áreas classificadas com DFC da classe Alto, necessitam de ações de conscientização de práticas conservacionistas, principalmente da inserção do plantio direto, buscando o mantimento da cobertura vegetal de proteção do solo. Além disso, é de suma importância a recuperação da mata ciliar em alguns pontos às margens das drenagens da BHAC (Figura 67). Essa classe apresentou uma área de 59,6908 km², sendo a segunda maior com 25,76% da área de estudo.

Figura 67 - Canais de primeira ordem sem mata ciliar

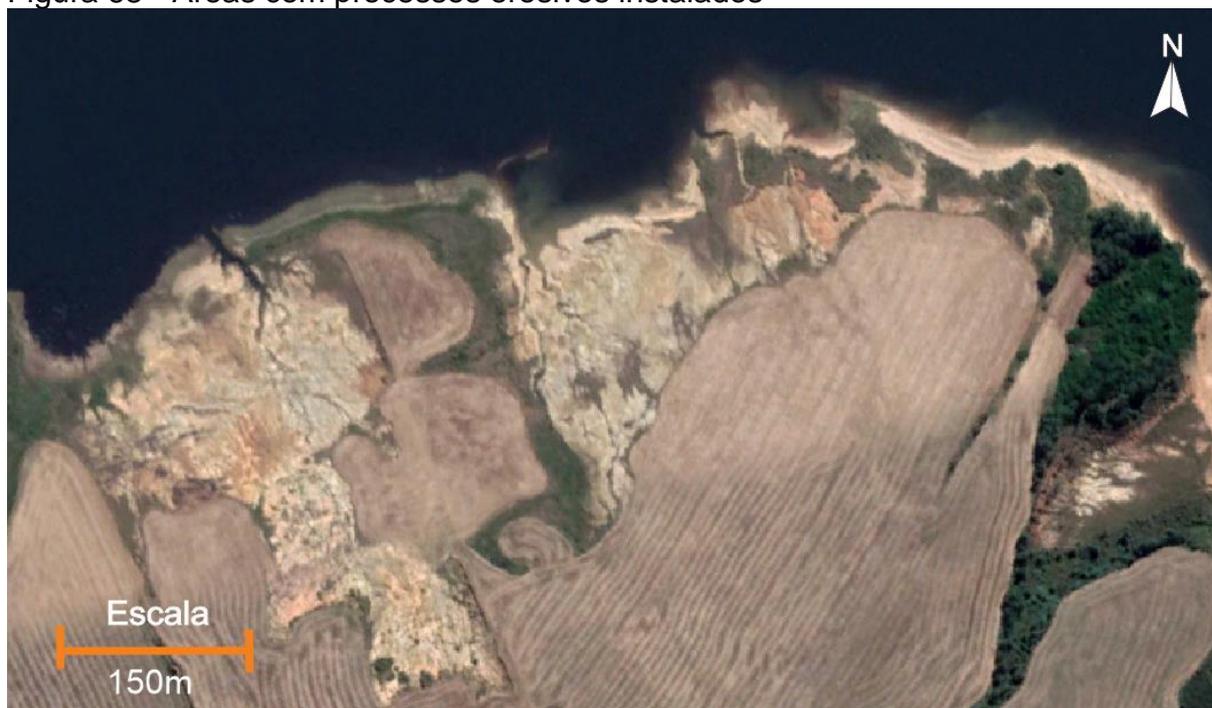


Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, a classe enquadrada como DFC Muito Alto (índice entre 4,70 e 5,98) refere-se basicamente a áreas às margens do lago da barragem do Chasqueiro, onde foram retirados materiais (jazidas terrosas) para a construção do barramento. Também foram mapeados locais onde ocorrem processos erosivos instalados e relacionados à dinâmica de flutuação do nível da barragem.

Cabe destacar que as áreas da classe DFC Muito Alta, apresentam uma significativa fragilidade a erosão dos solos, visto que o Argissolo Vernalho-Amarelo Distrófico Típico, em condição de flutuação do nível d'água, tende a dissolver os sais presentes. Segundo Leal (2011), essa condição fomenta a migração das argilas e elevam os solos à categoria de potencialmente erosivos. Esse cenário é observado na figura 68, onde encontram-se áreas planas a suavemente onduladas, com alta dinâmica de variação no nível do reservatório, atingindo cerca de até 150 m das margens do reservatório e promovendo a instalação de processos erosivos.

Figura 68 - Áreas com processos erosivos instalados



Fonte: Elaborado pelo autor.

A classe Muito Alta apresentou uma área de exposição de 0,4032 km², ou seja, 0,1740% da área de estudo. Estes locais carecem de intervenção, principalmente de recomposição topográfica com corte e aterro, visto os vários taludes verticalizados existentes, assim como recomposição da cobertura vegetal natural (gramíneas) e a análise da possibilidade de implementação de cobertura de mata ciliar, visto que apresenta um potencial superior de fixação do solo (SILVA *et al.*, 2021).

Por Fim, o Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul (2020), estabelece que áreas de interesse público com exploração agrícola devem priorizar o controle de erosão em todas as suas formas (Art. 180, Inciso II), evitando o assoreamento de cursos d'água e bacias de acumulação (Art. 180, Inciso III), assim como evitar os processos de degradação (Art. 180, Inciso IV)), justificando assim o enquadramento e as intervenções de recuperação da classe de DFC Muito Alta.

9 Considerações Finais

As justificativas desta pesquisa partem da existência de processos erosivos acelerados nas margens da barragem do Chasqueiro e a contribuição destes processos no assoreamento do reservatório. Os dados de potencial erosivo dos solos, declividade do terreno, densidade de drenagens, balanço hídrico, erosividade da chuva, cobertura original e atual das terras, foram especializados e ponderados para o Diagnóstico Físico-Conservacionista, buscando as possíveis origens do assoreamento acelerado do reservatório e o peso de contribuição de cada fator neste processo.

Na ponderação dos pesos de cada fator optou-se pelo método *AHP* de Saaty (1991 e 2013) as quais apresentou um elevado índice de Razão de Coerência (RC), sendo igual a 0,0305, menor que a condição limite de aceitação de 0,10. Esse resultado demonstra que o método proposto é adequado para a aplicação em DFC, onde o pesquisador não possui parâmetros prévios disponíveis na literatura para a determinação dos pesos de importância dos fatores. Essa afirmação é importante porque na metodologia DFC, um ou mais fatores podem ser preponderantes nos processos de degradação ambiental, fomentando a ponderação não igualitária, conforme já discutido por Queiroz (2017), Moraes (2018) e Costa *et al.* (2019).

O fator Uso e Cobertura Original da Terra foi o que apresentou o maior peso de importância, seguido do uso e cobertura atual, pois são os fatores que apresentam as maiores dinâmicas de alterações ambientais. Alguns autores como Binkowski (2009), Vélez *et al.* (2015), Kuplich *et al.* (2018), Moreira (2019), Moreira *et al.* (2019), Oliveira (2020), Meyer (2021), Montebianco (2021) e Mengue *et al.* (2020), relatam as significativas alterações ocorridas nos últimos 20 anos no Bioma Pampa, onde vem sendo substituído o uso e ocupação da terra de tipologia campestre, com o desenvolvimento da pecuária extensiva, pelo cultivo de culturas anuais, principalmente da soja e pela silvicultura, com o plantio de espécies voltadas para a produção de celulose, em sua maioria.

Na análise do uso e cobertura da terra ficaram evidentes quatro cenários para a BHAC no seu curso médio-superior. O primeiro (1947 a 1985), onde a tipologia predominante era a campestre com o uso voltado para a pecuária extensiva. A partir de 1985 ainda predomina a cobertura da terra com a classe campestre e ocorrendo significativas áreas com culturas anuais. Já, a partir dos anos 2005, insere-se a silvicultura a qual se expande significativamente em área até 2015. Já o último e atual

cenário, é o período de 2015/2020, onde a atividade da agricultura com culturas temporárias, principalmente com o cultivo da soja, cresceu significativamente.

Nesse contexto, o trabalho demonstrou que as dinâmicas recentes de uso e ocupação da terra, principalmente com o cultivo de culturas anuais como a soja, podem estar contribuindo significativamente para a geração de sedimentos transportados para o reservatório da Barragem do Chasqueiro. Isso porque, na BHAC, no seu curso médio-alto, não foram encontradas áreas com práticas conservacionistas de plantio, como o plantio direto, por exemplo. Desse modo, em parte da janela de plantio da cultura, o solo fica exposto, fomentando sua desagregação e transporte durante eventos de pluviosidade. Esse cenário é agravado em algumas áreas onde ocorrem os Argissolos Vermelho-Amarelo Distrófico Típico, pois possuem um maior potencial erosivo. Nesse sentido, o desenvolvimento das atividades agrícolas, de silvicultura e da pecuária, aponta para uma necessidade cada vez maior de discussões e ações ambientais.

Em termos de respostas dos DFCs, observou-se através dos histogramas que entre 1985 e 2020 ocorreu uma mudança significativa nas respostas (índices DFCs), gerando maiores amplitudes de resposta com uma menor frequência (achatamento das frequências). Isso se traduz em uma ampliação dos baixos índices de DFC, assim como nos altos índices. A origem dessa resposta estatística advém da recuperação da mata ciliar, principalmente nas regiões norte e noroeste da BHAC (nos baixos valores de DFC) e da ampliação das áreas com culturas temporárias (altos valores de DFC).

Sendo assim, a aplicação do DFC na Bacia Hidrográfica do Arroio Chasqueiro, no seu curso médio-alto, permitiu identificar as diferentes fragilidades a degradação ambiental, fornecendo informações que podem subsidiar a elaboração de planos, projetos e programas que auxiliem na gestão integrada da bacia, considerando seus múltiplos usos e manejo adequado destes, buscando a minoração dos impactos danosos ao ambiente.

Por fim, sugere-se o acompanhamento contínuo do uso e cobertura da terra da BHAC e a elaboração de programas de conscientização no uso de práticas conservacionistas no plantio de culturas temporárias. Além disso, sugere-se confrontar séries temporais de batimetria com as mudanças de uso da terra, buscando estabelecer correlação nas origens dos sedimentos que vem assoreando a Barragem do Chasqueiro.

Referências

AB'SÁBER, A. N.; CHACEL, F. de M. **Modelo de curso de planejamento paisagístico**, em colaboração com Fernando Chacel. MEC-DAU. Comissão de Ensino de Arquitetura e Urbanismo. Brasília, DF, 1976.

ALAGOAS. **DECRETO Nº 37.589, DE 05 DE JUNHO DE 1998**. Cria Área de Proteção Ambiental do Pratagy e dá providências correlatas. 1998.

ALM – Agência de Desenvolvimento da Bacia da Lagoa Mirim. **Diagnóstico e Prognóstico do Distrito de Irrigação da Barragem do Arroio Chasqueiro**. Relatório. Pelotas, UFPEL, 2023. (No Prelo)

ALMEIDA, C. X. de P. **Determinação do fator de erodibilidade K de substratos de mineração revegetados no Distrito Federal**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – PPG em Ciências Ambientais, UNB, Brasília, 2018.

ALVES, T. M.; PENA, D. S.; CASAROLI, D.; EVANGELISTA, A. W. P.; ALMEIDA, R. T. S. **Diagnóstico Físico-Conservacionista da Microbacia do Ribeirão Inhumas-Go**. Revista GEONORTE UFAM, V. 9, N. 33, P. 66-80, 2018

ANA – Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2019**. Disponível em: <https://relatorio-conjuntura-ana-2019.webflow.io/> Acesso em: 10/09/2022.

_____. **Cuidando das águas: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos**. Agência Nacional de Águas; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. 154 p. - Brasília: ANA, 2011.

_____. **Programa Produtor de Água**. Manual do Operativo – Superintendência de Usos Múltiplos. Agência Nacional de Águas, 67p., 2009.

_____. Catálogo de metadados. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/35f247ac-b5c4-419e-9bdb-dcb20defb1f4>. Acesso em: 13/09/2022

ANUCHIN, V. A. **Theoretical problems of geography**. Moscow. Nauka, 1960. 264p.

ARAÚJO JÚNIOR, A. A. et al.. **Diagnóstico físico conservacionista de 10 microbacias do rio Capivara – Botucatu (SP), visando o uso racional do solo**. Irriga, Botucatu, v. 7, n. 2, 2002.

AQUINO, C. M. S.; OLIVEIRA, J.; ALMEIDA, G. B. de. **Erosividade da chuva e erodibilidade das associações de solos em unidades geoambientais do Núcleo de desertificação de São Raimundo Nonato - Piauí**. XV Simpósio Brasileiro de Geografia Física e Aplicada, 2013, Vitória - ES. Uso e ocupação da Terra e as Mudanças das Paisagens, 2013. v. 15. p. 236-245.

AWASTHI, K. D. **Land-use change in two nepalese watersheds: gis and geomorphometric analysis**. Land degrad. Develop. 2002. P. 495–513.

BELTRAME, A. V. **Proposta metodológica para o meio físico com fins conservacionistas de pequenas bacias hidrográficas – Um estudo da bacia do Rio do Cedro (Brusque – SC)**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geociências, UFSC, Florianópolis, 1990.

BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas; modelo e aplicação**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1994. 111p.

BERTALANFFY, L. V. **A Teoria Geral de Sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1975.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 6.ed. São Paulo: Ícone, 2008. 355p.

BHERING, S. B.; PINTO, C. S. B.; LACERDA, E. R.; FERNANDES, N. F. **Processamento digital da imagem WorldView-2 para mapeamento do uso e cobertura da terra no Noroeste do Estado do RJ**. Anais: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 26.; CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 5.; EXPOSICARTA, 25., 2014, Gramado. Mapas conectando o Brasil e a América do Sul: anais. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, 2014.

BINKOWSKI, P. **Conflitos ambientais e significados sociais em torno da expansão da silvicultura de eucalipto na “Metade Sul” do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural) - UFRGS. 2009. 212f.

BOGALE, A. **Morphometric analysis of a drainage basin using geographical information system in Gilgel Abay watershed, Lake Tana Basin, upper Blue Nile Basin, Ethiopia**. Appl Water Sci. V. 11, 122. 2021.

BOGDANOV, A. A. **Ciência Universal Organizacional (Tectologia)**. Parte I. MGU, Moscou, 372p. 1920.

BORGES, M. T. C. **A construção de conceitos no ensino de Geografia por meio do trabalho de campo em bacia hidrográfica**. Dissertação de Mestrado – Instituto de Estudos Sócio-Ambientais. Universidade Federal de Goiás. (2018). Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/9093>. Acesso em 18/09/2023.

BORMANN, F. H.; LIKENS, G. E. **Nutrient cycling: Small watersheds can provide invaluable information about terrestrial ecosystems**. Science, v.155, p.424-429, 1967.

BOTELHO, R.G.M. **Planejamento Ambiental em microbacias hidrográficas**. In: Erosão e conservação dos solos. GUERRA, A.J.T; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M.. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. da. **Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental**. In: VITTE, Antonio Carlos; GUERRA, Antonio José Teixeira. (Orgs.). Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

BRADY, N. C., WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. São Paulo: Bookman Editora. 2009.

BRASIL. **Resolução CONAMA n. 303, de 20 de mar. de 2002**. Dispõem sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente, Brasília-DF, mar. 2002. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30302.html>>. Acesso em: 1 out. 2019.

BRESSAN, L. M.; GONÇALVES, G. M. S.; WOJANH, V. S.; BRABOZA, G. S.; COLLARES, G. L. **Cálculo do volume armazenado na barragem do Arroio Chasqueiro nos anos de 1983 e 2019**. XXVIII Congresso de Iniciação Científica da UFPEL, 2019. Pelotas/RS 2019a,

BRESSAN, L. M.; GOMES, E. S.; LIMA, W. S. ; GONÇALVES, G. M. S. ; BARTELS, G. K. ; TERRA, V. S. S. ; COLLARES, G. L. . **Levantamento Batimétrico no Reservatório da Barragem Do Arroio Chasqueiro-RS**. Anais: XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2019, Foz do Iguaçu., 2019b.

BRUCH, A.F. **A mineração e a paisagem geoquímica da Sub-bacia hidrográfica do Arroio João Dias, Minas do Camaquã, Caçapava do Sul, RS**. 303p. Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

BRUNE, G. M. - **Trap Efficiency of Reservoirs**. Trans. AGU, Vol. 34, Nº 3, July 1953.

BUENO, R. H. **Aplicação Do Diagnóstico Físico-Conservacionista (Dfc) Da Bacia Hidrográfica Do Rio Ligeiro – Paraná**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual de Maringá, UEM. 2016.

BURROUGH, P.A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of Geographic Information Systems**. Oxford U. Press. 1998.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M. A.; HEMERLY, A.; MEDEIROS, C. M. B.; MAGALHÃES, G. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. SBC, X Escola de Computação, Campinas, 1996.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. **Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica**. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. Introdução a Ciência da Geoinformação. São Paulo: INPE, 2001.

CARVALHO, S. M.. **O Diagnóstico Físico-Conservacionista – DFC como subsídio à gestão ambiental da bacia do rio Quebra-Perna, Ponta Grossa – PR**. Tese. Programa de Pós Graduação em Geografia, UNESP – Universidade Estadual Paulista, 2004.

CARVALHO, R. P. B. **Contribuições da análise de geossistemas na recuperação de áreas degradadas por mineração**. Caderno Geografia, Belo Horizonte, V.21, n.36, 2011.

CHORLEY, R. J. **Geomorphology and general systems theory**. U.S.Geological Survey Professional Paper, v.500-b, p.1-10, 1962.

CHORLEY, R. J. **The drainage basis as the fundamental geomorphic unit.** In: CHORLEY, R. J. (Org.). *Water, earth and man: A synthesis of hidrology, geomorphology and socio-economic geography.* London, Methuen, 1969. Cap.02, p.77-110.

CHORLEY, R. J.; KENNEDY, B. A. **Physical Geography: a systems approach.** London: Prentice-Hall, 1971.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** São Paulo: Ed. Universidade, 149p. 1974.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de Sistemas em Geografia.** São Paulo: HUI TEC, 1979.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia. 2. ed.** São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CLAUDINO-SALES, V. **Geografia, sistemas e análise ambiental: abordagem crítica.** GEOUSP-Espaço e Tempo, São Paulo, nº16, p. 125-141, 2004.

COLLISCHONN, W. **Hidrologia 1 – Evapotranspiração 5, medição de evaporação.** 2022. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=LcX3jFns9No> Acesso em: 10/05/2022.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais.** 1 ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2013. v. 1, p. 336.

COSTA, A. M.; SALIS, H. H. C.; ARAUJO, B. J. R. S.; MOURA, M. S.; SILVA, V. C.; OLIVEIRA, A. R.; PEREIRA, M. P. R.; VIANA, J. H. M. **Potencial de uso conservacionista em bacias hidrográficas: estudo de caso para a bacia hidrográfica do rio Gualaxo do Norte - MG.** Revista Geografias, 15(2), 127–147. 2019. <https://doi.org/10.35699/2237-549X.2019.19891>

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 2006. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul.** Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia_basica/cartografia_regional/mapa_ri_o_grande_sul.pdf> Acesso em: 10/11/2022.

CREPANI, E. et al. **Zoneamento Ecológico-Econômico.** In: Florenzano, T. G. *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais.* Oficina de Textos, cap. 10, p. 285-318 2008.

CRONEMBERGER, F. M. **Diagnóstico físico-conservacionista da bacia hidrográfica do rio Santana: geotecnologias aplicadas ao planejamento ambiental.** 2009. 137 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) - Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2009. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp099022.pdf>>. Acesso em: 11 maio 2018.

CUNHA, N. G.; SILVEIRA, R. J. C.; SEVERO, C. R. S. **Estudo dos Solos do município de Arroio Grande.** Pelotas :EMBRAPA/CPACT; Ed. UFPel, 1996. 103 p.: 3 mapas coloridos. - (Documentos, CPACT; 10/96).

CUNHA, S.B.; GUERRA, A. J. T. **Degradação Ambiental**. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (org.) *Geomorfologia e Meio Ambiente*. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1996.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Org.). **Geomorfologia do Brasil**. 1. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. v. 1. 388p.

DEMARCHI, J. C.; ZIMBACK, C. R. L. **Mapeamento, Erodibilidade e Tolerância de Perda de Solo na Sub-Bacia do Ribeirão das Perobas**. ENERGIA NA AGRICULTURA, 29(2), 102–114. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2014v29n2p102-114>

DEMEK, J. **Systemova teoria a studium krajiny**. Studia geogr. v. 40. 200 s. 1974.

_____. **The landscape as a geosystem**. Geoforum, UK, vol. 9, p. 29-34, 1978.

DENARDIN, J.E. **Erodibilidade de solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. (Tese de Doutorado) Piracicaba, ESALQ, 1990. 81p.

ERHART, H. **La theorie bio-rexistesique et les problemews biogeographiques et paleobiologiques**. Soc. Biogeogr., France, CNR (288): 43-53, 1956.

ERHART, H. **A teoria bio-resistásica e os problemas biogeográficos e paleobiológicos**. Notícia Geomorfológica. Ano VI, nº 11, pág. 51 a 58 Campinas, junho, 1966.

FARIAS, L.C. **Diagnóstico Físico-Conservacionista das terras e a percepção comunitária – bacia hidrográfica da Barragem Vaca Brava – Areia, PB, 2006**. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Universidade Federal da Paraíba, UFP. 2006.

FERREIRA, E. S. **A influência do sistema Faxinal no estado ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Sete Saltos-PR**. Dissertação (Mestrado em Gestão do Território). Universidade Estadual de Ponta Grossa, UEPG. 2009.

FERREIRA, Z. A.; MORAIS, F. **Diagnóstico físico-conservacionista do ambiente cárstico da bacia do córrego Cana-Brava, Aurora do Tocantins (TO, Brasil)**. Caderno de Geografia, Belo Horizonte, v. 27, n. 50, p. 244–273, 2017. Disponível em: <https://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/view/p.2318-2962.2018v28n52p244>. Acesso em: 10 set. 2022.

FERRETTI, E. R., **Diagnóstico físico-conservacionista - DFC Da Bacia do Rio Marrecas - Sudoeste do PR, 1998**. Dissertação (Mestrado em Geologia) Pós-Graduação em Geologia/Universidade Federal do Paraná, 1998.

FERRETTI, E. R. **Diagnóstico físico-conservacionista - DFC: instrumento para o plano de bacias hidrográficas: uma aplicação na bacia do rio Tagaçaba - município de Guaraqueçaba – PR**. Tese (Doutorado em Geologia). UFPR, 2003. 225p.

FINKLER, R. **Planejamento, manejo e gestão de bacias. (2016)** Disponível em: http://planejamento.mppr.mp.br/arquivos/File/bacias_hidrograficas/planejamento_manejo_e_gestao_unidade_1.pdf. Acessado em: 10/11/2023

GEBREHIWOT, S.G.; IISTEDT, U.; GÄRDENAS, A.I., BISHOP, K. **Hidrological characterization of watersheds in the Blue Nile Basin, Ethiopia**. Hydrology and Earth System Sciences. v.15, p. 11-20, 2011.

GEORGETTE, T. V. **Comitês Mirins de bacias hidrográficas como estratégia de Educação Ambiental em escolas localizadas em áreas de mananciais no município de Limeira, SP**. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. (2018) Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/Acervo/Detalhe/1020647> Acesso em: 18/09/2023

GIRARDI-DEIRO, A. M. **Influência de manejo, profundidade do solo, inclinação do terreno e metais pesados sobre a estrutura e a dinâmica da vegetação herbácea da Serra do Sudeste, RS**. Tese de Doutorado. Departamento de Botânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 218p, 1999.

GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos**. Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 6ª edição, 2005.

GUERRA, A. J. T. e JORGE, M. C. O. **Degradação dos Solos no Brasil** (Organizadores). Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, RJ. 2014.

GUERRA, A.J.T. e MARÇAL, M.S. **Geomorfologia Ambiental**. Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 6ª edição, 2014, 189p.

HANSEN, M. A. F. **Proposta e indicadores de sustentabilidade visando à síntese do diagnóstico ambiental, social e econômico para Bacias Hidrográficas. 2001**. Tese (Doutorado em Engenharia) IPH-Programa de Pós-graduação em Engenharia e Recursos hídricos e Saneamento Ambiental/UFRGS, 2001.

HASENACK, H.; WEBER, E.; BOLDRINI, I. I.; TREVISAN, R. **Mapa de sistemas ecológicos das Savanas Uruguaias em escala 1:500.000 ou superior**. Porto Alegre, Centro de Ecologia. Relatório técnico Projeto UFRGS/TNC. 18 p. 2010.

HIDALGO, P. **Manejo Conservacionista em Bacias Hidrográficas: Diagnóstico Físico – Conservacionista**. Superintendência dos Recursos Hídricos e Meio Ambiente – SUREHMA, Consórcio Intermunicipal para Proteção Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi – SP, 1987.

HORTON, R. E. **Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology**. Geological Society of America Bulletin, New York, v.56, p.807-8013, 1945.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de Solos da Folha SI22 – Lagoa Mirim**. Diretoria de Geociências. Rio de Janeiro, RJ, 2023 Disponível em: <https://geoservicos.ibge.gov.br/geoserver/wms?service=WMS&version=1.1.0&request=GetMap&layers=CREN:PedologiaSI22&styles=&bbox=-74,-34,-27,6&width=297&height=245&tiled=true&srs=EPSG:4326&format=image/png&transparent=true>. Acesso em 15/02/2023

JUNIOR, E. G. S. **Agrotóxicos na Água Potável: Considerações sobre os Municípios da Bacia Hidrográfica do rio Itabapoana: Considerações sobre os Municípios da Bacia Hidrográfica do rio Itabapoana.** Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, [S. l.], v. 15, n. 2, p. 60–74, 2021. DOI: 10.19180/2177-4560.v15n22021p60-74. Disponível em: //editoraessentia.iff.edu.br/index.php/boletim/article/view/16332. Acesso em: 12 janeiro. 2024.

KUPLICH, T. M., CAPOANE, V.; COSTA, L. F. F. **O avanço da soja no bioma Pampa.** Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, n. 31, p. 83-100, jun. 2018

LAGO, J. C. **Erosividade das chuvas na metade sul do Rio Grande do Sul.** Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. 2000, 123p.

LASTOCHKIN, A. N. **General Theory of Geosystems.** St. Univ “Lem”. 2010. 980p.

LEAL, I. F. **Classificação e Mapeamento Físico-Hídrico de Solos do Assentamento Agrícola Sebastião Lan II, Silva Jardim – RJ/ Rio de Janeiro.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) UFRJ/COPPE, 2011 XIV, 126 p.

LEPSCH, I. F. et al. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso.** 2. ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991.

LIMA, A. J. R.; NERY, J. T. **Revisitando o conceito de bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão e a governança das águas.** XVII Simpósio de Geografia Física Aplicada. Campinas-SP. 2017.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W.C. **Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP.** Bragantina, 51(2): 189-196. 1992.

LOPES, G. P. A.; COUTINHO, V. S. **O uso da água superficial da bacia hidrográfica do Rio Doce/ES: um panorama após o desastre-crime de Mariana/MG.** In: XVIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Universidade Federal do Ceara, Fortaleza -CE, 11 a 15 de junho. (2019).

LOPES, J. E.; SANTOS, R. C. **Capacidade de Reservatórios.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. DEHS. Estruturas Hidráulicas. USP, 2002.

LOTKA, A.J. **Elements of Physical Biology.** Williams and Wilkins, Baltimore. (1925)

LOURENÇO, R. M. **Diagnóstico físico-conservacionista como aporte para a análise da degradação no médio curso da bacia hidrográfica do rio Arataiaçu (CE) - Brasil. 2013.** 192 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

LOUSADA, S. A. N. A. **Influência do Coeficiente de Rugosidade nos Fenômenos de Cheias – Bacia Hidrográfica da Ribeira de Machico, Ilha da Madeira, Portugal.** Revista Brasileira De Geomorfologia, 24(3) (2023). <https://doi.org/10.20502/rbg.v24i3.2307>

MACHADO, P. J.; TORRES, F. T. P. O. **Introdução à Hidrogeografia**. Cengage Learnin, São Paulo. 2012, 178 p.

MAGALHAES, G. B.; SILVA, E. V.; ZANELLA, M. E.. **Análise Geossistêmica: caminho para um entendimento holístico**. GeoPuc (Rio de Janeiro), v. 5, p. 1-17, 2010.

MAPBIOMAS. **Conheça os passos da metodologia MAPBIOMAS**. Disponível em: <https://mapbiomas.org/atbd---entenda-cada-etapa>. Acesso em: 15/10/2022.

MARCHESAN, J.; MILANI, M. L.; GUMBOWSKY, A.; BAZZANELLA, S. L. **Bacia Hidrográfica como possibilidade de intervenção e Educação Ambiental: O Caso do Lajeado Sabão, no Município de Concórdia (Sc)**. In Seminário Internacional sobre Desenvolvimento Regional. Unisc, Santa Cruz do Sul – RS. (2019). Disponível em: <https://online.unisc.br/acadnet/anais/index.php/sidr/article/view/19363/1192612719>. Acesso em 19/09/2023

MEDEIROS, R. B. *et al.* **Vulnerabilidade Ambiental Da Bacia Hidrográfica Do Rio Buriticupu, Maranhão – Brasil: O Relevo Como Elemento Chave**. Sociedade & natureza: revista do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia. V. 35.1 (2023): Print. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/66679/35486> Acesso em: 11/11/2023.

MEIRELLES, M. S. P.; MOREIRA, F. R.; CÂMARA, G.; NETTO, A. L. C.; CARNEIRO, T. A. de Á. **Métodos de Inferência Geográfica: Aplicação no planejamento regional, na avaliação ambiental e na pesquisa mineral**. In: MEIRELLES, M. S. P.; CÂMARA, G.; ALMEIDA, C. M. DE; OUTROS (Ed.). *Geomática: Modelos e Aplicações Ambientais*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. 593 p.

MENEGAT, R. (Org.). **Atlas Ambiental de Porto Alegre**. Porto Alegre. Ed. Universidade – UFRGS, 1998.

MENGUE, V. P.; FREITAS, M. W. D.; SILVA, T. S.; FONTANA, D. C.; SCOTTA, F. C. **LAND-USE and land-cover change processes in Pampa biome and relation with environmental and socioeconomic data**. *Applied Geography*. V. 125. 2020.

MEYER, A. A. **Mudanças no uso da terra e impactos biofísicos no Bioma Pampa. Tese de Doutorado** (PPG em Agronegócios). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, 2021.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistema de Informações Geográficas**. EMBRAPA. Brasília: DF, 2019. 400p.

MONTEBLANCO, F. L. **Relicários da paisagem pastoril: uma geografia do pampa remanescente no Brasil**. Tese de Doutorado (PPG em Geografia). Universidade Federal de Santa Maria, UFFSM, Santa Maria, 2021.

MONTEIRO, C. A. F. **Geossistema a história de uma procura**. São Paulo: Contexto, 2000.

MORAIS, R.C. **Contribuição metodológica para a elaboração do diagnóstico físico-conservacionista (dfc) em bacias hidrográficas: aplicação na bacia do alto Gurgueia, Piauí (Brasil)**. Tese: Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2018.

MORAIS, F., ALMEIDA, L. M. **Geomorfologia Fluvial da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Jaú, Palmas, Estado do Tocantins**. Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities Research Medium, Uberlândia, v. 1, n. 2, 2010. p. 334.

MOREIRA, J. G. **Transformações produtivas no Pampa brasileiro: as mudanças na bovinocultura de corte diante do avanço da soja**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural) Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

NACHTIGALL, S. D. **Geoprocessamento aplicado à estimativa de perda de solo por erosão hídrica na bacia hidrográfica do Arroio Fragata**. Dissertação (Mestrado em Manejo e conservação do Solo e da Água) Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. **Global Precipitation Measurement – TRMM**. 2022. Disponível em: <https://gpm.nasa.gov/missions/trmm> Acesso em: 05/11/2022.

NASCIMENTO, R. A. **A Paisagem da bacia hidrográfica do rio Corrente-PI e suas modificações pela lente das crianças do ensino fundamental**. Dissertação (mestrado)—Universidade de Brasília, Instituto de Ciências Humanas, Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia. (2016). Disponível em: http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/19892/1/2016_Rafaela_disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf. Acesso em 19/09/2023

NASCIMENTO, F. I. C.; SANTOS, W. L.; SILVA, D. L. **Metodologia de análise físico ambiental em bacia hidrográfica no sudoeste amazônico: estudo da bacia do Rio Judia – Acre – Brasil**. Inter Espaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade, v. 7, e202108, 2021. Disponível em: <https://periodicoseletronicos.ufma.br/index.php/interespaco/article/view/13364> Acesso em: 04 abr. 2021.

NASCIMENTO, F. I. C.; SANTOS, W. L.; SILVA, D. L.; SERRANO, R. O. P. **Diagnóstico Físico Conservacionista (DFC) como metodologia para a quantificação da degradação ambiental na bacia hidrográfica do Rio Judia - Acre**. Inter Espaço: Revista Brasileira de Geografia Física, v. 14, N.2. doi.org/10.26848/rbgf.v14.2.p801-815. 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/248263/38668>. Acesso em: 01 abr. 2022.

NASCIMENTO, A. C.; PIMENTEL, L. C. DANIELA, J.; MENDONÇA, M. R. **Águas-Negócios X Água Bem Comum: A Luta dos Trabalhadores da Terra na Bacia Hidrográfica do Alto Rio São Marcos**. Revista Pegada Eletrônica 24.1 (2023): 257-283. Print.

NEVES, E. H. **Análise da degradação ambiental da bacia hidrográfica do Arroio Pelotas/RS, através de diagnóstica física-conservacionista (DFC)**. 2012. 158 f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

OLIVEIRA, C. V. **Análise de mudanças da cobertura e uso do solo no Bioma Pampa com matrizes de transição**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) PPG em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS. Porto Alegre, 2020.

OLIVEIRA, K. **País tem 917 municípios em crise hídrica; maioria está no Nordeste**. Agência Brasil, Brasília, 20 mar. (2018). Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2018-03/pais-tem-917-municipios-em-crise-hidrica-maioria-esta-no-nordeste#:~:text=O%20Brasil%20tem%20917%20munic%C3%ADpios,o%20dia%2013%20de%20mar%C3%A7o>. Acesso em: 19/09/2023

OLIVEIRA, C. A. de; BELDERRAIN, M. C. N. **Considerações sobre a obtenção de vetores de prioridades do AHP**. Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), 2008.

OLIVEIRA, P. T. S.; NEARING, M. A.; MORAN, M. S.; GOOGDRICH, D. C.; WENDLAND, E.; GUPTA, H. V. **Trends in water balance componentes across the Brazilian Cerrado**. Water Resources Research. V. 50 (9). pp. 7100-7114. 2014.

PASSOS J. S. A.; BELTRÃO J. A.; SANTOS C. A. G.; SILVA R. M. **Estimativas De Perdas De Solo Na Bacia Do Alto São Francisco utilizando Precipitação Estimada Por Satélite**. Anais: XI Encontro Nacional de engenharia de Sedimentos. João Pessoa, 2014.

PAZ, F. N. V. **Diagnóstico físico-conservacionista na bacia do Ribeirão Lajes, Aragominas-TO**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Ambiente) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2013.

PHILIPP R. P. *et al.* **O magmatismo granítico Neoproterozóico do Batólito Pelotas no sul do Brasil: novos dados e revisão de geocronologia regional**. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v.32, n.2, p. 277-290, 2002.

PHILIPP, R.P.; BITENCOURT, M.F.; JUNGES, S. 2012. **Nd isotopic study of the Neoproterozoic Cambai and Cambaizinho Complexes, São Gabriel Terrane, south Brazil: implications for the evolution of the Vila Nova Arch in Dom Feliciano Belt**. Journal of South American Earth Sciences, V.12, n. 1.

PHILIPP, R. P.; MACHADO, R. **Suítes graníticas do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul: petrografia, tectônica e aspectos petrogenéticos**. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 257-266, 2001.

PINTO, V. F.; GOVEIA, L. A. M.; SILVA, F. F. **Educação Ambiental Crítica através de uma aula de campo sobre recursos hídricos**. (2015). Disponível em: www.abrapecnet.org.br/enpec/x-enpec/anais2015/resumos/R0621-1.PDF. Acesso em 21/09/2023.

QUEIROZ, A. F. **Contribuição metodológica aos estudos de degradação ambiental em bacias hidrográficas da região semiárida brasileira.** Tese (Doutorado) PPG em Manejo do Solo e da Água- Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró-RN, 2017.

QUEIROZ, T. V. **Educação Ambiental e bacias hidrográficas no contexto escolar.** (2016). Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/149289>. Acesso em 12/10/2023

QUEIROZ, T. V.; DORNFELD, C. B.. **Educação ambiental e bacias hidrográficas no contexto escolar.** Rev. Exitus, Santarém. v. 9, n. 5, p. 421-44, 2019. Disponível em <http://educa.fcc.org.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2237-94602019000500421&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 12/10/2023. Epub 11-Jun-2020. <https://doi.org/10.24065/2237-9460.2019v9n5id1113>.

RHODEN, A. C.; ALMEIDA VIANA, J. G.; PIRES SILVEIRA, V. C. **Mudança no uso da terra e dinâmica econômica da Área de Proteção Ambiental do Rio Ibirapuitã do bioma Pampa brasileiro.** Seminário: Ciências Agrárias, V. 43 (5), 2137–2154. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2022v43n5p2137>

ROCHA, J. S. M. da. **Manual de integrado de bacias hidrográficas.** Santa Maria: UFSM, 1991.

RODRIGUES, M.L.K.; SCHNEIDER, I.L.; POLETTI, J.; CHAGAS E SILVA, R. (2011) **Avaliação de cianeto nas águas superficiais da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, RS, no período 2006-2010.** Fepam em Revista, v. 5, n. 1, p. 4-12.

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia aplicada. **Revista Do Departamento De Geografia**, 16, 81-90. 2011. <https://doi.org/10.7154/RDG.2005.0016.0009>

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. **Geografia e as transformações da natureza: relação sociedade-natureza.** 2009, Anais. Buenos Aires: CLACSO, 2009. Acesso em: 13 jul. 2022.

ROSS, J. L. S., PRETTE, M. E. D.; **Recursos Hídricos e Bacias Hidrográficas: Âncoras do planejamento e gestão Ambiental.** Revista Departamento de Geografia. São Paulo. nº 12, p.89-121, 1998.

RUTHES, J. M.; TOMAZONI, J.; GOMES, T. **Sistematização Da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) Em Sistema de Informação Geográfica (SIG) Na Estimativa da Erosão no Município de Francisco Beltrão -Paraná.** Enciclopédia Biosfera. 2016.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process.** Editora McGraw-Hill. New York, USA. 1980.

SAATY, T. L. **Método de Análise Hierárquica.** Editora Makron, São Paulo. 1991.

SAATY, T. L. **Mathematical principles of decision making.** amazon.com. ed. Pittsburgh: RWS, 2013.

SALOMON, V. A. P. **Desempenho da modelagem do auxílio à decisão por múltiplos critérios na análise do planejamento de produção**. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2004. Disponível em: <<http://www.feg.unesp.br/~salomon/pesquisa/tese.pdf>>. Acesso em: 18/08/2023.

SANTOS, F. A.; AQUINO, C. M. S. **Diagnóstico físico conservacionista aplicado ao estudo da desertificação nos municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí, Nordeste de Brasil**. Revista de Geografia, Recife, v. 34, n. 2, p. 145–169, 2017. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/download/229242/23613>>. Acesso em: 11/09/2023.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. EMBRAPA. 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SANTOS, J. P. **Erosividade determinada por desagregação de chuva diária no lado brasileiro da Bacia da Lagoa Mirim**. 85f. Dissertação (Mestrado em Manejo e Conservação do Solo e da Água) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. 2013.

SCHIEL, D. *et al.* **O estudo de Bacias Hidrográficas: uma estratégia para a educação ambiental**. 2 ed. São Carlos: RIMA, 2003.

SEGOVIA, J. L.; PALMA, D. A. **Metodologia para el diagnóstico conservacionista de la Subarenca Concepción, establecida em base e la metodologia elaborada por el Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Águas y Tierras (CIDIAT)**. Plano Maestro para Tegucigalpa D.C Unidad de Cuencas. Servicio Autónomo Nacional de Acuedutos y Alcantarillados. República de Honduras. Tegucigalpa, 1987.

SILVA, G. C. M. **Diagnóstico da Degradação Ambiental no Município de Areia Branca-RN por Geotecnologias**. Dissertação (Mestrado) PPG em Desenvolvimento e Meio Ambiente- Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal-RN, 2013.

SILVA, P. de O.; LEITE, M. G. P.; COSTA, A. T.; FUJACO, M. A. G.. (2021). **Influência de projetos de reflorestamento de matas ciliares no controle/mitigação da erosão por ondas em reservatórios**. Geologia USP. Série Científica, 21(3), 109-124. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v21-164273>

SILVA, E. V.; MONTEIRO, I. C. C. **A construção do conceito de bacia hidrográfica por alunos do ensino fundamental: uma proposta sociointeracionista para o Ensino de Ciências**. (2017). ABRAPEC. ANAIS do XI ABRAPEC. Disponível em: <http://www.abrapecnet.org.br/enpec/xi-enpec/anais/resumos/R0770-1.pdf>. Acesso em 18/09/2023

SILVA, J. e Z Aidan, R. T. (Ed.). **Geoprocessamento e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. p.253-290.

SILVA, J. L.; CAMARGO, K. R.; COLLARES, G. L.; BRUCH, A. F. **Uso de GPR para a identificação de instrumentação em subsuperfície na barragem do Chasqueiro – Arroio Grande/RS/Brasil**. Revista Prociências, Pelotas, V. 6, n. 1, Junho, 2023.

Disponível em <https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/prociencias/article/view/25975>
Acesso em: 13/11/2023

SILVA JÚNIOR, J. A.; SILVA JÚNIOR, U. J.; PACHECO, A. P.; SANTOS, A.G.A.;
Análise de acurácia altimétrica para dados ALOS PALSAR e ASTER GDEM para o Município do Recife-PE. R. Bras. Geom., Curitiba, v. 10, n. 2, p. 117-139, abr./jun. 2022. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo>>. Acesso em: 14/11/2022.

SILVERMAN, B. W. **Density Estimation for Statistics and Data Analysis.** New York: Chapman and Hall, 1986.

SOARES, J. R.; MEZALIRA, S. M.; COSTELLA, R. Z.; ROBAINA, J. V. L. **Estado da Arte sobre Bacias Hidrográficas e sua relação com a Educação Ambiental.** Research, Society and Development, v. 9, n. 9, e540997591, 2020.

SONDOTÉCNICA, S. A. **Distrito de Irrigação do Arroio Chasqueiro.** Estudo realizado para a SUDESUL-MI., 1976.

SOTCHAVA, V. B. **O estudo de geossistemas.** Métodos em Questão, São Paulo, n. 16, 52 p. 1977.

SOUZA *et al.* **Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine - Remote Sensing,** Volume 12, Issue 17, 2020. 10.3390/rs12172735.

STRAHLER, A. N. **Hypsometric (area-altitude) – analysis of erosion al topography.** Geological Society of America Bulletin, v.63, n.10, p.1117-1142, 1952.

STRASKRABA, M.; TUNDISI, J. G. **Gerenciamento da qualidade da água de represas.** In: Tundisi, J. G. (org). Diretrizes para o gerenciamento de lagos. São Carlos, SP: ILEC/IEE. Vv.9,280p.2000.

STRIEDER, A. J.; AMARO, V. E.. **Structural patterns Removed from remotely sensed lineaments.** Revista da Escola de Engenharia, Porto Alegre, v. 25, n. 4, p 109-117, 1997.

TRICART, J. **Paisagem e ecologia.** Inter-facies: escritos e documentos. São José do Rio Preto: Ed. UNESP, 1982.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** 3. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2004. Cap. 11. p. 391-441.

TUCCI, C. E. M. **Programa de drenagem sustentável:** apoio ao desenvolvimento do manejo de águas pluviais urbanas. Versão 2.0. Brasília/DF: Ministério das Cidades, 2005. p. 192.

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F. ; ALBUQUERQUE, P. C. G. **TOPODATA: desenvolvimento da primeira versão do banco de dados geomorfométricos locais em cobertura nacional.** In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2009, Natal, RN.** Anais do XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. São José dos Campos, SP: INPE, 2009.

VÉLEZ-MARTIN, E.; ROCHA, C. H.; BLANCO, C.; AZAMBUJA, B. O.; HASENACK, H.; PILLAR, V. P. **Conversão e fragmentação**. In V. P. Pillar, & O. Lange (Eds.), Os Campos do Sul (pp. 123-132). Porto Alegre: Rede campos sulinos – UFRGS, 2015.

VERDUM, R.; BASSO, Luis Alberto; SUERTEGARAY, Dirce Maria Antunes (Org.) **Rio Grande do Sul - paisagens e territórios em transformação**. 1. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2004. 319p.

VILAÇA, M. F.; GOMES, I.; MACHADO, M. L.; VIEIRA, E. M.; SIMÃO, M. L. R. **Bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão: o estudo de caso do ribeirão conquista no município de Itáguara – MG**. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA. Anais... Viçosa/MG, 2009. p.19.

VILELA, T. R. **Diálogos formativos com professores do município de Itanhaém-SP: Desafios e (re)descobertas através de um projeto de formação continuada em ATPCs**. (2016). Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/144355>. Acessado em: 18/09/2023.

VILLELA, S.M., MATTOS, A. **A Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide planning**. Agr. Handbook, n.537, 1978. 58p.

ANEXOS

Anexo 1 - Matriz pareada 1947-1985

("Reclasificado_1947@1" = 1 and "Reclasificado_1985@1" = 1) * 5 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 1 and "Reclasificado_1985@1" = 2) * 6 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 1 and "Reclasificado_1985@1" = 3) * 7 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 1 and "Reclasificado_1985@1" = 4) * 8 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 1 and "Reclasificado_1985@1" = 5) * 9 +

("Reclasificado_1947@1" = 2 and "Reclasificado_1985@1" = 1) * 4 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 2 and "Reclasificado_1985@1" = 2) * 5 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 2 and "Reclasificado_1985@1" = 3) * 6 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 2 and "Reclasificado_1985@1" = 4) * 7 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 2 and "Reclasificado_1985@1" = 5) * 8 +

("Reclasificado_1947@1" = 3 and "Reclasificado_1985@1" = 1) * 3 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 3 and "Reclasificado_1985@1" = 2) * 4 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 3 and "Reclasificado_1985@1" = 3) * 5 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 3 and "Reclasificado_1985@1" = 4) * 6 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 3 and "Reclasificado_1985@1" = 5) * 7 +

("Reclasificado_1947@1" = 4 and "Reclasificado_1985@1" = 1) * 2 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 4 and "Reclasificado_1985@1" = 2) * 3 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 4 and "Reclasificado_1985@1" = 3) * 4 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 4 and "Reclasificado_1985@1" = 4) * 5 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 4 and "Reclasificado_1985@1" = 5) * 6 +

("Reclasificado_1947@1" = 5 and "Reclasificado_1985@1" = 1) * 1 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 5 and "Reclasificado_1985@1" = 2) * 2 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 5 and "Reclasificado_1985@1" = 3) * 3 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 5 and "Reclasificado_1985@1" = 4) * 4 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 5 and "Reclasificado_1985@1" = 5) * 5

Matriz pareada 1947-1995

("Reclasificado_1947@1" = 1 and "Reclasificado_1995@1" = 1) * 5 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 1 and "Reclasificado_1995@1" = 2) * 6 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 1 and "Reclasificado_1995@1" = 3) * 7 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 1 and "Reclasificado_1995@1" = 4) * 8 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 1 and "Reclasificado_1995@1" = 5) * 9 +

("Reclasificado_1947@1" = 2 and "Reclasificado_1995@1" = 1) * 4 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 2 and "Reclasificado_1995@1" = 2) * 5 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 2 and "Reclasificado_1995@1" = 3) * 6 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 2 and "Reclasificado_1995@1" = 4) * 7 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 2 and "Reclasificado_1995@1" = 5) * 8 +

("Reclasificado_1947@1" = 3 and "Reclasificado_1995@1" = 1) * 3 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 3 and "Reclasificado_1995@1" = 2) * 4 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 3 and "Reclasificado_1995@1" = 3) * 5 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 3 and "Reclasificado_1995@1" = 4) * 6 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 3 and "Reclasificado_1995@1" = 5) * 7 +

("Reclasificado_1947@1" = 4 and "Reclasificado_1995@1" = 1) * 2 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 4 and "Reclasificado_1995@1" = 2) * 3 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 4 and "Reclasificado_1995@1" = 3) * 4 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 4 and "Reclasificado_1995@1" = 4) * 5 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 4 and "Reclasificado_1995@1" = 5) * 6 +

("Reclasificado_1947@1" = 5 and "Reclasificado_1995@1" = 1) * 1 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 5 and "Reclasificado_1995@1" = 2) * 2 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 5 and "Reclasificado_1995@1" = 3) * 3 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 5 and "Reclasificado_1995@1" = 4) * 4 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 5 and "Reclasificado_1995@1" = 5) * 5

Matriz pareada 1947-2005

("Reclasificado_1947@1" = 1 and "Reclasificado_2005@1" = 1) * 5 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 1 and "Reclasificado_2005@1" = 2) * 6 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 1 and "Reclasificado_2005@1" = 3) * 7 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 1 and "Reclasificado_2005@1" = 4) * 8 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 1 and "Reclasificado_2005@1" = 5) * 9 +

("Reclasificado_1947@1" = 2 and "Reclasificado_2005@1" = 1) * 4 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 2 and "Reclasificado_2005@1" = 2) * 5 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 2 and "Reclasificado_2005@1" = 3) * 6 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 2 and "Reclasificado_2005@1" = 4) * 7 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 2 and "Reclasificado_2005@1" = 5) * 8 +

("Reclasificado_1947@1" = 3 and "Reclasificado_2005@1" = 1) * 3 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 3 and "Reclasificado_2005@1" = 2) * 4 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 3 and "Reclasificado_2005@1" = 3) * 5 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 3 and "Reclasificado_2005@1" = 4) * 6 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 3 and "Reclasificado_2005@1" = 5) * 7 +

("Reclasificado_1947@1" = 4 and "Reclasificado_2005@1" = 1) * 2 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 4 and "Reclasificado_2005@1" = 2) * 3 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 4 and "Reclasificado_2005@1" = 3) * 4 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 4 and "Reclasificado_2005@1" = 4) * 5 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 4 and "Reclasificado_2005@1" = 5) * 6 +

("Reclasificado_1947@1" = 5 and "Reclasificado_2005@1" = 1) * 1 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 5 and "Reclasificado_2005@1" = 2) * 2 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 5 and "Reclasificado_2005@1" = 3) * 3 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 5 and "Reclasificado_2005@1" = 4) * 4 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 5 and "Reclasificado_2005@1" = 5) * 5

Matriz pareada 1947-2015

("Reclasificado_1947@1" = 1 and "Reclasificado_2015@1" = 1) * 5 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 1 and "Reclasificado_2015@1" = 2) * 6 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 1 and "Reclasificado_2015@1" = 3) * 7 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 1 and "Reclasificado_2015@1" = 4) * 8 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 1 and "Reclasificado_2015@1" = 5) * 9 +

("Reclasificado_1947@1" = 2 and "Reclasificado_2015@1" = 1) * 4 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 2 and "Reclasificado_2015@1" = 2) * 5 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 2 and "Reclasificado_2015@1" = 3) * 6 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 2 and "Reclasificado_2015@1" = 4) * 7 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 2 and "Reclasificado_2015@1" = 5) * 8 +

("Reclasificado_1947@1" = 3 and "Reclasificado_2015@1" = 1) * 3 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 3 and "Reclasificado_2015@1" = 2) * 4 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 3 and "Reclasificado_2015@1" = 3) * 5 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 3 and "Reclasificado_2015@1" = 4) * 6 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 3 and "Reclasificado_2015@1" = 5) * 7 +

("Reclasificado_1947@1" = 4 and "Reclasificado_2015@1" = 1) * 2 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 4 and "Reclasificado_2015@1" = 2) * 3 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 4 and "Reclasificado_2015@1" = 3) * 4 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 4 and "Reclasificado_2015@1" = 4) * 5 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 4 and "Reclasificado_2015@1" = 5) * 6 +

("Reclasificado_1947@1" = 5 and "Reclasificado_2015@1" = 1) * 1 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 5 and "Reclasificado_2015@1" = 2) * 2 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 5 and "Reclasificado_2015@1" = 3) * 3 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 5 and "Reclasificado_2015@1" = 4) * 4 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 5 and "Reclasificado_2015@1" = 5) * 5

Matriz pareada 1947-2020

("Reclasificado_1947@1" = 1 and "Reclasificado_2020@1" = 1) * 5 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 1 and "Reclasificado_2020@1" = 2) * 6 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 1 and "Reclasificado_2020@1" = 3) * 7 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 1 and "Reclasificado_2020@1" = 4) * 8 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 1 and "Reclasificado_2020@1" = 5) * 9 +

("Reclasificado_1947@1" = 2 and "Reclasificado_2020@1" = 1) * 4 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 2 and "Reclasificado_2020@1" = 2) * 5 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 2 and "Reclasificado_2020@1" = 3) * 6 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 2 and "Reclasificado_2020@1" = 4) * 7 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 2 and "Reclasificado_2020@1" = 5) * 8 +

("Reclasificado_1947@1" = 3 and "Reclasificado_2020@1" = 1) * 3 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 3 and "Reclasificado_2020@1" = 2) * 4 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 3 and "Reclasificado_2020@1" = 3) * 5 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 3 and "Reclasificado_2020@1" = 4) * 6 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 3 and "Reclasificado_2020@1" = 5) * 7 +

("Reclasificado_1947@1" = 4 and "Reclasificado_2020@1" = 1) * 2 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 4 and "Reclasificado_2020@1" = 2) * 3 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 4 and "Reclasificado_2020@1" = 3) * 4 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 4 and "Reclasificado_2020@1" = 4) * 5 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 4 and "Reclasificado_2020@1" = 5) * 6 +

("Reclasificado_1947@1" = 5 and "Reclasificado_2020@1" = 1) * 1 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 5 and "Reclasificado_2020@1" = 2) * 2 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 5 and "Reclasificado_2020@1" = 3) * 3 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 5 and "Reclasificado_2020@1" = 4) * 4 +
 ("Reclasificado_1947@1" = 5 and "Reclasificado_2020@1" = 5) * 5

Anexo 2 - Ponderação de Pesos DFC**1985**

((("CO1985@1"*0.3256)+("CA@1"*0.2417)+("DM@1"*0.1093)+("DD@1"*0.0427)+("R@1"*0.0702)+("BH@1"*0.0247)+("K@1"*0.1858))

1995

((("CO1995@1"*0.3256)+("CA@1"*0.2417)+("DM@1"*0.1093)+("DD@1"*0.0427)+("R@1"*0.0702)+("BH@1"*0.0247)+("K@1"*0.1858))

2005

((("CO2005@1"*0.3256)+("CA@1"*0.2417)+("DM@1"*0.1093)+("DD@1"*0.0427)+("R@1"*0.0702)+("BH@1"*0.0247)+("K@1"*0.1858))

2015

((("CO2015@1"*0.3256)+("CA@1"*0.2417)+("DM@1"*0.1093)+("DD@1"*0.0427)+("R@1"*0.0702)+("BH@1"*0.0247)+("K@1"*0.1858))

2020

((("CO2020@1"*0.3256)+("CA@1"*0.2417)+("DM@1"*0.1093)+("DD@1"*0.0427)+("R@1"*0.0702)+("BH@1"*0.0247)+("K@1"*0.1858))