

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**ANÁLISE COMPARATIVA DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA SUB-BACIA  
HIDROGRÁFICA DOS ARROIOS JUÁ E CARACOL – BACIA HIDROGRÁFICA DO  
RIO CAÍ / RS.**

**MAYCON PEREIRA DAMASCENO**

**ORIENTADOR: PROFA. DRA. DEJANIRA LUDERITZ SALDANHA**

**PORTO ALEGRE, OUTUBRO DE 2011.**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**ANÁLISE COMPARATIVA DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA SUB-BACIA  
HIDROGRÁFICA DOS ARROIOS JUÁ E CARACOL – BACIA HIDROGRÁFICA DO  
RIO CAÍ / RS.**

**MAYCON PEREIRA DAMASCENO**

**Orientador: Profa. Dra. Dejanira Luderitz Saldanha**

**Banca Examinadora:**

**Prof. Dr. Roberto Verдум (Instituto de Geociências UFRGS)**

**Prof. Dr. Luis Eduardo Robaina (Instituto de Geociências UFRGS)**

**Prof. Dr. Elvio Giasson (Departamento de Solos UFRGS)**

**Dissertação apresentada ao  
programa de pós-graduação  
em geografia como requisito  
para obtenção do título de  
mestre em geografia.**

**PORTO ALEGRE, OUTUBRO DE 2011.**

D155 Damasceno, Maycon Pereira  
Análise comparativa da fragilidade ambiental da sub-bacia hidrográfica dos Arroios Juá e Caracol – Bacia Hidrográfica do Rio Caí / RS. / Maycon Damasceno. – Porto Alegre : UFRGS/PPGea, 2011.  
94 f. il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, RS - BR, 2011.  
Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Dejanira Luderitz Saldanha

1. Geografia Ambiental. 2. Fragilidade Ambiental. 3. Mapeamento. 4. Bacia Hidrográfica. 5. Geoprocessamento I. Título.

CDU 911.2:504

---

Catálogo na Publicação  
Biblioteca do Instituto de Geociências - UFRGS  
Renata Cristina Grun CRB 10/1113

Dedico esse trabalho a minha família e especialmente a minha noiva que se fez presente em todos os momentos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a deus, pela força e saúde para concluir essa Dissertação. À minha família por me dar força e apoio nos momentos mais difíceis.

À minha amiga e orientadora Profa. Dr. Dejanira Luderitz Saldanha pela orientação, conselhos e tempo dedicado a este trabalho.

Aos meus colegas de trabalho que sempre estiveram dispostos a tirar minhas dúvidas de alguma forma. Também aos meus amigos da vida e/de Geografia, Kinsey, Cristiano, Tiago, Karen, Pablo, Tainá, Larissa, Roberta e Tobias.

À minha noiva Fernanda Sanhudo, que esteve ao meu lado até o fim desta dissertação.

Muito Obrigado!

## EPIGRAFE

### **O Vencedor - Los Hermanos**

*Olha lá quem vem do lado oposto  
e vem sem gosto de viver  
Olha lá que os bravos são escravos  
sãos e salvos de sofrer  
Olha lá quem acha que perder  
é ser menor na vida  
Olha lá quem sempre quer vitória  
e perde a glória de chorar*

*Eu que já não quero mais ser um vencedor,  
levo a vida devagar pra não faltar amor*

*Olha você e diz que não  
vive a esconder o coração*

*Não faz isso, amigo  
Já se sabe que você  
só procura abrigo,  
mas não deixa ninguém ver  
Por que será ?*

*Eu que já não sou assim  
muito de ganhar,  
junto as mãos ao meu redor  
Faço o melhor que sou capaz  
só pra viver em paz.*

## RESUMO

A Geografia desde a sua concepção como ciência tem no espaço geográfico, o seu principal objeto de estudo, o que nos permite analisar a dinâmica existente entre as relações que se estabelecem entre os diferentes grupos sociais, ao longo do tempo, e a sua materialização no espaço. Através de sua evolução histórica, a ciência geográfica contribuiu de forma significativa para a compreensão das consequências das ações que o homem como agente atuante e modificador do espaço pode acarretar sobre o ambiente natural, buscando analisar e orientar o seu planejamento. Sobre essa perspectiva, esta pesquisa toma como unidade de análise as Bacias Hidrográficas dos Arroios Juá e Caracol. A área de estudo está localizada na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul, a Sub-Bacia do Arroio Juá possui uma área de 12487,27 ha, com altitudes que variam entre 200 e 980 metros, abrange os municípios de Caxias do Sul e São Francisco de Paula. O arroio Juá é afluente direito do Rio Caí. O Arroio Caracol, com uma área total de 6631,89 ha, também integra a Bacia hidrográfica do Caí tem sua sub-bacia estendida pelos municípios de Canela e Gramado. Área de estudo desse projeto insere-se na região do Alto Caí sob influência dos remanescentes do Bioma Mata Atlântica no nordeste do estado Rio Grande do Sul. Objetivo principal deste estudo é avaliar e comparar, através da análise de fragilidade ambiental, o nível de intervenção antrópica e a situação ambiental das sub-bacias do Arroio Juá e Caracol, afluentes do Rio Caí, RS. Dessa forma a pesquisa busca fornecer, através de técnicas cartográficas, uma caracterização detalhada das fragilidades de cada sub-bacia. Fez-se uso dos procedimentos operacionais descritos por Ross (1994), quanto ao estudo das fragilidades potencial e emergente. O mapa de fragilidade ambiental gerado é resultado da interpolação dos mapas de uso da terra, declividade e tipo de solo. Por meio desse produto cartográfico pretende-se fornecer subsídios para identificação das áreas com fragilidade potencial e emergente e dessa forma, colaborar com um melhor planejamento do uso dos recursos naturais.

**Palavras chave:** Geografia Ambiental. Fragilidade Ambiental. Mapeamento. Bacia Hidrográfica. Geoprocessamento.

## ABSTRACT

Geography since its conception as science has in geographic space, its main object of study, allowing us to analyze the dynamics between the relationships established between different social groups, over time, and its materialisation in space. Through their historical, geographical science has contributed significantly to the understanding of the consequences of actions the man acting as an agent and modifier of space can have on the natural environment, seeking to analyze and guide your planning. About this perspective, this research takes as its unit of analysis of the Basin Streams Juá and Caracol, a systemic and integrated approach of the various elements, processes and interactions. The study area is located in the northeastern state of Rio Grande do Sul, the Sub-Basin Brook Juá covers the cities of Caxias do Sul and São Francisco de Paula. It has an area of 12487.27 ago, with altitudes ranging between 200 and 980 meters. Juá The stream is a tributary of the River Fall. Arroyo Caracol which also includes the Fall River Basin sub-basin has its extended by the municipalities of Gramado and Canela, with a total area of 6631.89 for. Study area is part of this project in the Upper Fall under the influence of the remnants of Atlantic Forest biome in northeastern Rio Grande do Sul state goal of this study is to evaluate and compare, through analysis of environmental fragility, the level of intervention anthropogenic and environmental situation of the sub-basins and Juá Arroyo Caracol, Fall River tributaries, RS. Thus the research seeks to provide mapping techniques through a detailed characterization of the weaknesses of each sub-basin. Was use of the operating procedures described by Ross (1994), and the study of emerging and potential weaknesses. The map of environmental vulnerability is the result of interpolation generated maps of land use, slope and soil type. Through this cartographic product is intended to provide a basis for identifying areas with potential and emerging weakness and therefore, collaborate with a better plan to use pain natural resources.

**Keywords:** Environmental Geography. Environmental fragility. Mapping. River Basin. Geoprocessing.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Obtenção dos dados por sensoriamento remoto .....	28
Figura 02: Superfície e grade regular correspondente .....	32
Figura 03: Superfície e malha triangular correspondente .....	33

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 01:</b> Satélite da série LANDSAT .....	30
<b>Tabela 02:</b> Dados Aster Gdem versus SRTM .....	34
<b>Tabela 03:</b> Solos encontrados nas Sub-Bacias hidrográficas do Arroio Caracol e Juá .....	47
<b>Tabela 04:</b> Cartas topográficas utilizadas .....	50
<b>Tabela 05:</b> Graus de fragilidade das classes de declividade .....	55
<b>Tabela 06:</b> Graus de fragilidade das classes de solos .....	56
<b>Tabela 07:</b> Graus de fragilidade das classes de uso e cobertura do solo .....	59
<b>Tabela 08:</b> Classes de declividade e fragilidade da Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Caracol .....	65
<b>Tabela 09:</b> Classes de declividade e fragilidade da Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Juá .....	67
<b>Tabela 10:</b> Tipos de solos da Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Caracol .....	69
<b>Tabela 11:</b> Tipos de solos da Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Juá .....	71
<b>Tabela 12:</b> Classes de uso e ocupação da Sub-Bacia hidrográfica do Arroio Caracol .....	73
<b>Tabela13:</b> Classes de uso e ocupação do solo Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Juá .....	75
<b>Tabela14:</b> Áreas correspondentes a fragilidade potencial da Sub-Bacia hidrográfica do Arroio Juá .....	83
<b>Tabela 15:</b> Áreas correspondentes a fragilidade potencial da Sub-Bacia hidrográfica do Arroio Caracol .....	83
<b>Tabela 16:</b> Áreas correspondentes a fragilidade Emergente da Sub-Bacia hidrográfica do Arroio Caracol .....	84
<b>Tabela 17:</b> Áreas correspondentes a fragilidade Emergente da Sub-Bacia hidrográfica do Arroio Juá .....	86

## LISTA DE FOTOS

<b>Fotos 01:</b>	Parque da Ferradura, Rio Cai/RS .....	36
<b>Fotos 02:</b>	Nascente Arroio Juá/RS .....	40
<b>Fotos 03:</b>	Cascata do Caracol, Canela / RS .....	42
<b>Fotos 04:</b>	Capões de Araucárias e Campos, São Francisco de Paula/RS .....	44
<b>Fotos 05:</b>	Vala do Arroio Caracol/RS .....	45
<b>Fotos 06:</b>	Diferentes patamares do relevo, foz do Arroio Caracol .....	46
<b>Fotos 07:</b>	Ponte sobre o Arroio Caracol .....	62
<b>Fotos 08:</b>	Norte da Sub-Bacia do Arroio Caracol, área correspondente a classe de vegetação .....	77
<b>Fotos 09:</b>	Plantio de Pinos sp.na Sub-Bacia do Arroio Caracol .....	78
<b>Fotos 10:</b>	Campos naturais na Sub-Bacia do Arroio Juá .....	79
<b>Fotos 11:</b>	Áreas utilizadas para agricultura na Sub-Bacia do Arroio Caracol e Juá .....	80

## LISTA DE MAPAS

<b>Mapa 01:</b> Mapa de localização da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Cai/RS .....	37
<b>Mapa 02:</b> Mapa de localização da Sub-Bacia Hidrográficas dos Arroios Caracol Juá .....	39
<b>Mapa 03:</b> Mapa com o Trajeto e pontos visitados em Campo .....	53
<b>Mapa 04:</b> Sub-Bacias hidrográficas do Arroio Caracol .....	63
<b>Mapa 05:</b> Sub-Bacias hidrográficas do Arroio Juá .....	63
<b>Mapa 06:</b> Classes de altitude da Sub-Bacia do Arroio Caracol .....	64
<b>Mapa 07:</b> Classes de altitude da Sub-Bacia do Arroio Juá .....	65
<b>Mapa 08:</b> Classes de declividade e Fragilidade Arroio Caracol .....	66
<b>Mapa 09:</b> Classes de declividade e Fragilidade Arroio Juá .....	68
<b>Mapa 10:</b> Tipos de solos da Sub-Bacia do Arroio Caracol .....	70
<b>Mapa 11:</b> Tipos de solos da Sub-Bacia do Arroio Juá .....	72
<b>Mapa 12:</b> Uso e Ocupação do Solo da Sub-Bacia do Arroio Caracol .....	74
<b>Mapa 13:</b> Uso e Ocupação do Solo da Sub-Bacia do Arroio Juá .....	76
<b>Mapa 14:</b> Classes de Fragilidade Potencial da Sub-Bacia do Arroio Caracol e Juá .....	82
<b>Mapa 15:</b> Classes de Fragilidade Emergente da Sub-Bacia do Arroio Caracol e Juá .....	85

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	15
1.1 OBJETIVOS .....	16
1.2 JUSTIFICATIVA .....	17
<b>2. REFERENCIAIS TEÓRICOS</b> .....	18
2.1 PENSAMENTOS QUE ORIENTAM A PESQUISA .....	18
2.2 PLANEJAMENTO AMBIENTAL .....	19
2.3 FRAGILIDADE AMBIENTAL .....	21
2.4 FRAGILIDADE POTENCIAL E EMERGENTE .....	23
2.5 BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ESTUDO .....	24
2.6 GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO.....	26
2.7 SENSOR LANDSAT .....	30
2.8 MODELAGEM DA SUPERFÍCIE TERRESTRE .....	31
<b>3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	35
3.1 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO .....	35
3.1.1 Arroio Juá .....	40
3.1.2 Arroio Caracol .....	41
3.2 VEGETAÇÃO .....	42
3.3 GEOLOGIA E RELEVO .....	45
3.4 SOLOS .....	47
3.5 CLIMA .....	48
<b>4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	49
4.1 MATERIAIS UTILIZADOS .....	50
4.2 METODOLOGIA APLICADA .....	51
4.4.1 Trabalho de campo .....	52
4.4.2 Mapa base .....	54
4.4.3 Mapa de declividade .....	54
4.4.4 Mapa de tipo de solos .....	55

4.4.5	Mapa de uso do solo .....	56
4.4.6	Mapa de fragilidade .....	60
<b>5.</b>	<b>ANALISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>62</b>
5.1	MAPA BASE .....	62
5.2	MAPA DE DECLIVIDADE .....	64
5.3	TIPOS DE SOLO .....	69
5.4	USO DO SOLO .....	73
5.4.1	Vegetação Natural .....	77
5.4.2	Silvicultura .....	78
5.4.3	Campos Naturais, pastagens e áreas desmatadas .....	78
5.4.4	Cultura agrícola e solo exposto .....	79
5.4.5	Áreas urbanas .....	80
5.5	FRAGILIDADE POTENCIAL .....	81
5.6	FRAGILIDADE EMERGENTE .....	84
<b>6.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>88</b>
	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>91</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A Geografia, desde a sua concepção como ciência tem no espaço geográfico o seu principal objeto de estudo, o que nos permite analisar a dinâmica existente entre as relações que se estabelecem entre os diferentes grupos sociais, ao longo do tempo e a sua materialização no espaço. Através de sua evolução histórica, a ciência geográfica contribuiu de forma significativa para a compreensão das consequências das ações que o homem, como agente atuante e modificador do espaço acarreta sobre o ambiente natural, buscando analisar e orientar o seu planejamento com o objetivo de assegurar a preservação do patrimônio natural e cultural.

As intervenções sobre esses espaços buscam saciar as crescentes necessidades materiais da sociedade e têm gerado diversos conflitos quanto ao seu uso, em especial de seus recursos naturais. A análise dos eventos que acabam acarretando mudanças em uma determinada região está ligada ao entendimento de processos físicos e econômicos.

É, portanto, fundamental o conhecimento da organização do espaço físico-territorial em face às imposições do meio natural. A ciência geográfica nos permite analisar o espaço por diversos ângulos na busca de soluções alternativas para o desenvolvimento econômico, proporcionando a racionalização do uso dos recursos naturais e atenuando os impactos ambientais.

Esses parâmetros podem ser avaliados através da análise da fragilidade do ambiente, pela análise de bacias e sub-bacias hidrográficas, que vêm se consolidando como a unidade mais adequada e coerente para o planejamento integrado do uso e ocupação solo, tendo em vista um desenvolvimento na qual se compatibiliza atividades econômicas com qualidade ambiental.

Sobre essa perspectiva, no nordeste do estado do Rio Grande do Sul as sub-bacias, do Arroio Juá e do Arroio Caracol, foram escolhidas para uma avaliação da fragilidade ambiental, por possuírem varias características distintas, possibilitando assim a elaboração de um estudo comparativo entre ambas.

Dessa forma a pesquisa busca fornecer através de técnicas cartográficas uma caracterização detalhada das fragilidades de cada sub-bacia. Fez-se uso dos procedimentos operacionais descritos por Ross (1994), quanto ao estudo das fragilidades potencial e emergente.

A metodologia de Ross (1994) tem como objetivo gerar um produto síntese que expressa os diferentes graus de fragilidade que o ambiente possui em função de suas características.

Nesse sentido os estudos da fragilidade ambiental são importantes instrumentos na elaboração do planejamento territorial ambiental. Esses mapeamentos permitem avaliar as potencialidades do meio ambiente de forma integradora e compatibilizar suas características naturais com suas restrições às ações humanas.

## 1.1 OBJETIVOS

Objetivo principal deste estudo foi avaliar a situação ambiental das sub-bacias do Arroio Juá e Caracol, afluentes do Rio Caí /RS, através da comparação de suas fragilidade. Neste sentido será realizada a análise da fragilidade ambiental de cada sub-bacia, através de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto e, posteriormente a comparação entre elas. Para se alcançar este objetivo geral foram estabelecidos alguns objetivos específicos:

- a. Identificar e caracterizar o uso e cobertura do solo de cada sub-bacia;
- b. Reunir e mapear os planos de informação que compõem o meio físico das bacias hidrográficas;
- c. Utilizar técnicas de sobreposição dos planos de informação para o diagnóstico e avaliação do potencial de degradação de cada bacia;
- d. Gerar os mapas de fragilidade ambiental.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Os impactos ambientais não podem ser analisados a partir de um ponto de vista geral. Assim, uma investigação mais criteriosa deve ser abordada considerando-se cada caso em particular e possibilitando a análise dos dados existentes numa área específica, tais como: localização, distância, características geológicas, morfológicas e uso e cobertura do solo, entre outros (COELHO, 2001).

A escolha da área de estudo se justifica pelas características naturais e pelo seu contexto ambiental, uma vez que abriga áreas de remanescentes da Floresta Atlântica em um ambiente ainda preservado. Esse bioma inestimável tem sua importância reconhecida internacionalmente, com uma biodiversidade maior que a da Floresta Amazônica e já chegou a cobrir mais de 40% do território gaúcho. Hoje, esse percentual não passa de 3%, fato esse que deixa clara a importância de preservação dos fragmentos florestais ainda restantes.

O Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Caí encomendou um estudo amplo das características naturais e sócio econômicas da área de abrangência deste rio. Este estudo deu origem ao um relatório que estabelece informações gerais a respeito das características históricas e socioculturais, além da evolução política-administrativa e econômica da bacia. O relatório também traz informações referentes à geologia, à geomorfologia, à hidrologia, ao uso e cobertura do solo, entre outros importantes fatores que determinaram o enquadramento das águas da Bacia Hidrográfica do Rio Caí. Esta pesquisa pretende contribuir com estudos que possam ser aplicados ao planejamento territorial das sub-bacias dos arroios Caracol e Juá, estruturando e definindo uma base de dados para futuros estudos e aplicações ambientais.

## 2. REFERENCIAIS TEÓRICOS

### 2.1 PENSAMENTOS QUE ORIENTAM A PESQUISA

Para a realização desta pesquisa, se faz necessário a compreensão de alguns conceitos básicos da Geografia para a construção de alguns pressupostos teóricos e metodológicos que permitam a formulação de questões passíveis de análise ao tratarmos da questão ambiental.

De todos os conceitos fundamentais que norteiam o conhecimento geográfico, aquele que define o espaço geográfico torna-se o mais abrangente, incluindo os demais.

Santos (1997), ao buscar uma definição epistemológica para conceituar espaço, o entende como “o meio, o lugar material da possibilidade dos eventos, o meio onde a vida é tornada possível”. De forma mais objetiva tomamos como referência o conceito clássico expresso por Milton Santos, amplamente utilizado e conhecido no qual o espaço geográfico constitui:

[...] um conjunto indissociável, solidário e também contraditório, de sistemas de objetos e sistemas de ações, não considerados isoladamente, mas como o quadro único no qual a história se dá. No começo era natureza selvagem, formada por objetos naturais, que ao longo da história vão sendo substituídos por objetos fabricados, objetos técnicos, mecanizados e, depois cibernéticos, fazendo com que a natureza artificial tenda a funcionar como uma máquina. (SANTOS, 1997, p. 51)

O autor propõe um entendimento do espaço, enquanto sistema de objetos e sistemas de ações, os quais estão interligados: um não existe sem o outro.

Os objetos aqui explicados são formados por tudo o que existe na superfície da Terra, sendo os elementos naturais ou culturais, modificados pelas interações e intervenções provocadas por diversas ações. Já as ações seriam movidas por uma racionalidade obediente a normas estabelecidas e seriam resultados das necessidades humanas, naturais ou criadas.

A ciência geográfica, ao longo do tempo, passou por diversas reformulações em busca do melhor posicionamento e a melhor forma de refletir sobre o seu objeto de estudo e quais categorias de análise embasariam a leitura do pensar geográfico. O espaço geográfico pode ser analisado sob diferentes formas e está aberto a múltiplas conexões, que se expressam através de categorias analíticas.

A partir da formulação do conceito de espaço geográfico, podemos trabalhar com categorias mais operacionais, como paisagem, território, lugar e ambiente, os quais possibilitam diferentes leituras do espaço geográfico (SUERTEGARAY, 2000).

## 2.2 PLANEJAMENTO AMBIENTAL

As intervenções causadas pelo homem no espaço geográfico, em especial no meio físico, a fim de saciar as crescentes necessidades da sociedade, têm criado diversos conflitos quanto o uso desse espaço e de seus recursos. Em meio a isso, a elaboração de diagnósticos, prognósticos e zoneamentos nascem com o intuito de identificar as principais problemáticas ambientais presentes no espaço geográfico, seja em escala nacional, estadual, municipal, em bacias hidrográficas, e outros, através do desenvolvimento de projetos de planejamento ambiental (MOREIRA, 2009).

A palavra planejamento carrega “em seu valor semântico o sentido de empreendimento, projeto, sonho e intenção” (FRANCO, 2001 p.35). A intenção do planejamento apresenta de certa forma os valores de quem o cria ou o põe em ação

de alguma forma, com a finalidade de atingir certas metas. A idéia de planejamento sempre foi ligada ao desenvolvimento econômico e ao crescimento ilimitado. Somente em 1980 surge o planejamento voltado para a intervenção humana nos ecossistemas naturais, denominado planejamento ambiental.

Neste planejamento é previsto a tomada de decisões com base na análise sócio-ambiental da área de estudo, no sentido de identificar e apresentar o melhor uso possível dos recursos naturais (ROCHA, 2007).

A expressão planejamento ambiental têm sido incorporada à linguagem dos profissionais que trabalham com aspectos geográficos inseridos no meio ambiente. Segundo Santos (2004), o planejamento ambiental surgiu nas últimas décadas, em razão do aumento dramático da competição por terras, recursos hídricos, energéticos e biológicos, o que gerou a necessidade de organizar o uso do solo, afim de uma melhor qualidade de vida para as populações.

Para Franco (2001), o planejamento ambiental ganha importância acreditando-se que a vida na Terra futuramente só será possível mediante tal planejamento. Seu surgimento pode ser considerado também como um movimento de resposta ao desenvolvimento tecnológico, puramente materialista. Assim, o planejamento busca o desenvolvimento do bem-estar humano, ao invés de um estado de economia nacional. Ele vem para solucionar conflitos que possam ocorrer entre metas de conservação ambiental e de planejamento tecnológico (SANTOS 2004).

Nesse sentido, Ross (1998) considera que o planejamento ambiental apresenta avanços no que diz respeito a sua concepção teórico-metodológica frente a outros tipos de planejamento que tem como meta o desenvolvimento econômico.

Dentre as várias definições de planejamento ambiental, Botelho (2009) define o mesmo como sendo um processo racional de tomada de decisões que implica necessariamente em uma reflexão sobre as condições sociais, econômicas e ambientais que orientem quaisquer decisões futuras.

Para Franco, o "Planejamento ambiental requer todo o esforço da civilização na direção da preservação e conservação dos recursos ambientais de um território,

com vistas à sua própria sobrevivência” (FRANCO, 2001 p.34). Este mesmo autor define, ainda, que o planejamento ambiental “[... parte do princípio da valorização e conservação das bases naturais de um dado território como base de auto-sustentação da vida e das interações que a mantém, ou seja, das relações ecossistêmicas]” (FRANCO, 2001 p.35).

O planejamento ambiental deve, portanto, ser considerado um processo contínuo no qual são levantadas e diagnosticadas as condições ambientais de uma determinada área, com o objetivo de aperfeiçoar a exploração dos recursos naturais disponíveis na busca do seu uso racional e não predatório (SILVA, 2001).

Por fim, segundo Franco (2001), entende-se por Planejamento Ambiental as ações humanas no território, levando em conta a capacidade de sustentação dos ecossistemas a nível local e regional, sem perder de vista as questões de equilíbrio em nível continental e planetário visando à melhoria da qualidade da vida humana, dentro de uma ética ecológica.

### 2.3 FRAGILIDADE AMBIENTAL

Hoje, um dos temas de estudo propostos pela ciência geográfica se refere à questão ambiental, que além de se constituir numa preocupação global, proporciona a compreensão dialética das relações entre homem e natureza.

Conhecer as fragilidades e as potencialidades dos diferentes ambientes é de extrema importância ao planejamento ambiental. Segundo Spörl (2001), podemos entender como fragilidade a suscetibilidade do ambiente à qualquer dano.

O conhecimento das potencialidades dos recursos naturais de um determinado sistema pressupõe os levantamentos dos solos, do relevo, do clima, das águas e de todos os componentes do estrato geográfico que dão suporte a vida. Para a análise da fragilidade ambiental, esses elementos setorizados devem ser analisados de maneira integrada (GUERRA & CUNHA, 2001).

Com relação à análise das fragilidades ambientais, GUERRA & CUNHA (2001) afirmam que as fragilidades dos ambientes naturais devem ser avaliadas quando se pretende aplicá-las ao planejamento ambiental, baseado no conceito de Unidades Ecodinâmicas preconizadas por Tricart (1977).

Na metodologia de Tricart (1977), vinculada a uma concepção ecológica, o ambiente é analisado sob o prisma da Teoria de Sistemas. Esta teoria parte da análise das relações entre os diversos componentes da dinâmica de fluxos de energia e de matéria dos ambientes naturais buscando o equilíbrio dinâmico. Tal equilíbrio é freqüentemente alterado pelas ações do homem nos diversos elementos da natureza gerando desequilíbrios temporários ou até permanentes. Em síntese, o homem, ao apropriar-se da natureza e transformá-la, processa alterações significativas (CASSETI,1991).

Diante disto Tricart (1977) definiu assim os ambientes: a) em equilíbrio dinâmico ou estável; b) em desequilíbrio ou instáveis. Assim propôs uma classificação dinâmica da paisagem, denominada Ecodinâmica, que pode ser de três tipos:

a) Meios Estáveis, caracterizados pelo predomínio da pedogênese sobre a morfogênese. Prevalece a condição de clímax; a cobertura vegetal é suficiente para evitar o desenvolvimento de processos mecânicos e, por conseguinte a dissecação é moderada proporcionando a conservação dos ângulos das vertentes. prevalece a fitoestabilidade;

b) Meios Fortemente Instáveis. A morfogênese é o elemento predominante na dinâmica, resultante de causas naturais (variações climáticas e efeitos tectônicos) e, sobretudo, antrópicas (na escala de tempo histórica). Implica em uma dissecação elevada (pedogênese nula ou incipiente);

c) Meios em Transição que caracterizam uma passagem gradual entre os meios estáveis e instáveis. Nestes, se constata a interferência permanente na relação pedogênese-morfogênese. Refere-se ao estado de modificação do sistema fitoestável, antes de ultrapassar o limiar de recuperação. Ocorre a possibilidade de restauração deste meio ou a possibilidade de passagem para um meio fortemente instável.

Os conceitos formulados por Tricart (1977) foram utilizados por Ross (1994) para analisar a fragilidade do relevo. Neste sentido, o autor estabeleceu uma ampliação das concepções de Tricart (1977).

Ross (1994) ao ampliar o uso do conceito propôs uma metodologia para representar a fragilidade do terreno em cinco categorias hierárquicas: 1- muito fraca; 2- fraca; 3- média; 4- forte; 5- muito forte.

Para estudar a relação entre o espaço geográfico em conjunto com a análise espacial, Ross (1994) propôs uma metodologia para a análise empírica da fragilidade ambiental. Metodologia essa desenvolvida para a análise tanto de ambientes naturais quanto sob ação antrópica. A concepção teórica e técnica descrita em Ross (1994) permite a análise das diferentes formas do relevo.

Os modelos de análise da fragilidade servem como subsídio ao planejamento estratégico ambiental. Os mapeamentos das fragilidades ambientais identificam e analisam as áreas em função de seus diferentes níveis de fragilidade (SPROL;ROSS,2004).

Através do método desenvolvido por Ross (1994), torna-se possível o conhecimento da fragilidade ambiental da área de estudo, podendo ser acrescido mais algumas variáveis se assim fizerem necessárias para o conhecimento da situação de conservação das sub-bacias.

## 2.4 FRAGILIDADE POTENCIAL E EMERGENTE

O produto cartográfico denominado Carta de Fragilidade do Relevo, que decorre do cruzamento das variáveis descritas por Ross (1994), pode ser denominado como o produto síntese desta metodologia e indica o nível de instabilidade potencial ou emergente de um determinado lugar.

No conceito de Santos (2005 apud Padilha 2008), a fragilidade ambiental chamada de potencial se caracteriza pela fragilidade natural a que uma determinada

área está submetida, ou seja, a partir do tipo de solo e declividade do relevo este local poderá ou não apresentar um equilíbrio natural. Podemos resumir então que sobre o prisma da fragilidade potencial, se consideram apenas aspectos naturais.

Quanto à fragilidade emergente na concepção do mesmo autor, além de considerar os elementos naturais já constantes na fragilidade potencial (tipo de solo e declividade) acrescenta o elemento humano, que é caracterizado pela forma com que a sociedade utiliza o solo.

## 2.5 BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ESTUDO

A bacia hidrográfica é a área de captação natural da água da chuva que escoam superficialmente para um corpo d'água, ou seu contribuinte, com limites definidos pelo relevo das áreas mais elevadas. O corpo d'água principal dá o nome à bacia que recebe a contribuição dos seus afluentes (SEMA, 2010).

Existem diferentes abordagens e conceitos a respeito das bacias hidrográficas com conceitos estabelecidos por diversos autores entre eles:

Botelho (2009): “Entende-se como bacia hidrográfica ou bacia de drenagem a área da superfície terrestre drenada por um rio principal e seus tributários sendo limitada pelos divisores de água”. O mesmo autor entende que uma bacia hidrográfica constitui-se em uma célula natural e que a partir da definição do seu ponto de saída, pode ser delimitada sobre uma base cartográfica que contenha cotas altimétricas, como por exemplo, as cartas topográficas.

Acrescentam ao conceito de bacia hidrográfica uma abordagem sistêmica. Para esses autores as bacias hidrográficas são sistemas abertos com energia cinética potencial impressa pelo gradiente topográfico, pelo qual percola água, proveniente de agentes climáticos e perdem essa energia junto ao seu deflúvio. Estas variáveis são interdependentes e oscilam em torno de um padrão. Desta forma, mesmo quando perturbadas por ações antrópicas, as bacias tendem ao seu equilíbrio dinâmico (LIMA E ZAKIA, 2000)

Assim, as definições propostas para bacias hidrográficas assemelham-se ao conceito dado por Barrella (2001), que as definem como um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, limitadas nas regiões mais altas do relevo por divisores de água. Assim, as águas das chuvas escoam superficialmente formando os riachos e rios ou infiltram no solo alimentando as nascentes e o lençol freático. As águas superficiais escoam para as partes mais baixas do terreno formando riachos e rios. As cabeceiras dos rios são formadas por riachos que brotam em terrenos íngremes das serras e montanhas e à medida que as águas dos riachos descem, juntam-se a outros riachos aumentando o volume e formando os primeiros rios. Esses pequenos rios continuam seus trajetos recebendo água de outros tributários formando rios maiores até desembocarem no oceano.

Cada bacia hidrográfica pode ser desmembrada em sub-bacias. Para Rocha (1991), o conceito de sub-bacia é o mesmo de bacia hidrográfica, a principal diferença fica na sua extensão territorial, essas áreas podem variar de acordo com a região do país.

A bacia hidrográfica constitui-se de uma unidade fisiográfica propícia à análise que resulta em ações de planejamento ambiental e gestão dos recursos naturais. Isso se deve ao fato de que o espaço da bacia de drenagem ou de qualquer território, pode ser dividido em redes hidrográficas de múltiplas dimensões, facultando a regionalização e a adoção de uma área como unida. Conforme Christofletti (1980), a análise das bacias hidrográficas adquiriu um caráter objetivo a partir de 1945, com a publicação de Robert H. Horton. Este autor estabelece algumas leis de desenvolvimento dos rios e de suas bacias hidrográficas por meio da abordagem de caráter quantitativo. Desta nova concepção metodológica surgem pesquisas posteriores com destaque aos trabalhos de Arthur N. Strahler e seus colaboradores que determinam índices e parâmetros para o estudo analítico de bacias hidrográficas e monitoramento ambiental.

As bacias hidrográficas vêm se consolidando como compartimentos geográficos coerentes para o planejamento integrado do uso e ocupação dos espaços rurais e urbanos tendo em vista o desenvolvimento sustentado no qual se compatibiliza as atividades econômicas com qualidade ambiental. Para o planejamento de uma bacia hidrográfica, além do uso dos seus recursos hídricos é

importante analisar e planejar o uso potencial dos aspectos geológicos, florísticos, turísticos e o estado de conservação e de produção. Assim, esta análise envolve todo o conjunto espacial que a bacia apresenta, inclusive com suas fragilidades advindas dos danos ocorridos pelas ações antrópicas e usos desordenados do solo. A Lei Federal 9.433/97 baseada na gestão compartilhada do uso da água, estabelece como unidade territorial para implementação da política nacional dos recursos hídricos, a Bacia Hidrográfica.

## 2.6 GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO

A ciência cartográfica já passou por grandes modificações e aperfeiçoamentos ao longo dos séculos, através do acréscimo de novas tecnologias. Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são usualmente utilizados por serem ferramenta capaz de realizar análise de dados espaciais, o que possibilita o cruzamento informações de origens diferentes (cartas, mapas, dados estatísticos, etc.). Essa ferramenta se apresenta como um instrumento importante na gestão do espaço, oferecendo uma alternativa para o seu entendimento. Ao lado do Sensoriamento Remoto, essa ferramenta se apresenta como um instrumento importante na gestão do espaço, oferecendo, uma alternativa para o seu entendimento.

Para Silva (2001), o principal objetivo de um SIG é fornecer subsídios computacionais que torne possível a análise das inter-relações dos fenômenos existentes em um ambiente.

A gestão do espaço geográfico está vinculada à ideia desse trabalho. O uso dessa técnica permite a geração de cenários e a investigação da interação entre entidades diversas objetivando a definição de normas de manejo ambiental a serem aplicadas nas áreas de estudo.

Neste sentido, em um SIG vinculado à análise ambiental é necessário o estabelecimento de planos de conservação e de uma ferramenta capaz de

manipular as funções que representam os processos que ocorrem na área estudada. O resultado destas manipulações é apresentado sob a forma um banco de dados ou de mapas temáticos que expõe as informações desejadas.

O Geoprocessamento é uma ferramenta indispensável para a realização de pesquisas que se referem ao espaço geográfico. É um sistema computacional que reúne um conjunto de dados utilizados como entrada para a realização de processos como o armazenamento, a recuperação, a transformação, a análise e a representação desses dados reais para um propósito determinado. O princípio básico de união desses dados e processos e que define a sua integração é o georreferenciamento.

Essa ferramenta é definida por Fitz (2008), como uma técnica que utiliza de um SIG (Sistema de Informações Geográficas) e busca a gestão de um espaço específico por meio da realização de levantamentos, análises e cruzamentos de informações georreferenciadas. Essa ferramenta gera dados cartográficos em meio digital permitindo a manipulação e cruzamento desses dados.

Para Câmara e Medeiros (1998) geoprocessamento pode ser definido como o processo que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o processamento da informação geográfica. Esta tecnologia influencia de maneira crescente as áreas da cartografia, da análise de recursos naturais, de transportes, de comunicações, de energia e do planejamento urbano e regional.

O geoprocessamento é caracterizado como uma ferramenta de extremo valor para a análise de diferentes fenômenos, pois permite sua espacialização através da quantificação, qualificação e localização e os inter relacionamentos com outras variáveis espaciais podendo ser estabelecido as relações de causa e feito.

Assim o geoprocessamento torna disponível para a análise ambiental os dados e os procedimentos que permitem a investigação detalhada das relações entre entidades físicas de um ambiente (SILVA, 2001).

O planeta Terra apresenta contínuas mudanças provenientes da evolução natural de seus sistemas e também em resposta às atividades humanas. Nestes sistemas, com o intuito de compreender as complexas relações entre os fenômenos

naturais e os antropogênicos, que causam estas mudanças, é importante e necessário observá-los em diferentes escalas temporais e espaciais. A coleta das informações geográficas de uma extensa região terrestre é realizada por meio de sensores óticos a bordo de espaçonaves em nível orbital. A esta tecnologia dá-se o nome de *Sensoriamento Remoto*.

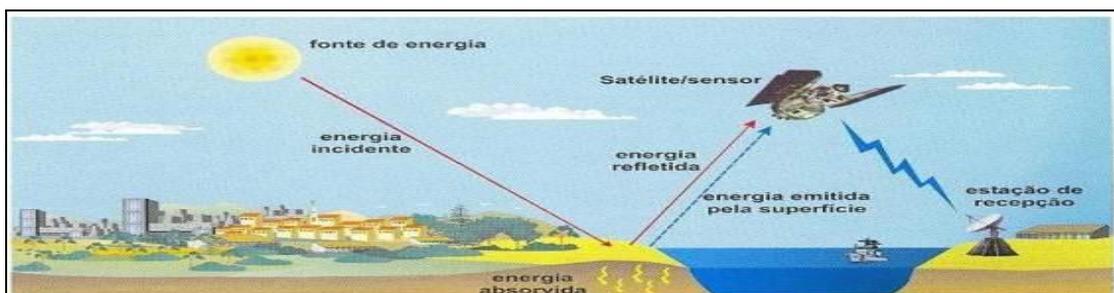
O termo sensoriamento refere-se à obtenção dos dados, e remoto que significa distante, é utilizado porque a obtenção é feita à distância, ou seja, sem o contato físico entre o sensor e a superfície (FLORENZANO,2002).

Jensen (2009) define:

“Sensoriamento remoto é o registro da informação das regiões do ultravioleta, visível, infravermelho e micro-ondas do espectro eletromagnético, sem contato, por meio de instrumentos tais como câmeras, escâneres, lasers, dispositivos lineares e/ou matriciais localizados em plataformas tais como aeronaves ou satélites, e a análise da informação adquirida por meio visual ou processamento digital de imagens” (JENSEN, 2009 p.4).

O termo “sensor”, figura 01, pode ser entendido como um dispositivo capaz de captar a energia refletida ou emitida por uma superfície qualquer e registrá-la em formato digital como: imagem, gráfico, dado numérico, etc. Estes, por sua vez, são passíveis de serem armazenados, manipulados e analisados por meio de softwares específicos (FITZ, 2008).

Figura 01 – Obtenção dos dados por Sensoriamento Remoto.



Fonte: Florenzano, T.G. (2002-p.9).

A intensidade e os comprimentos de onda da energia eletromagnética refletida e emitida pelos objetos resultam em interações entre energia eletromagnética e estes objetos. Essas interações são determinadas pelas propriedades físico-químicas e biológicas desses objetos e podem ser identificadas nas imagens e nos dados de sensores remotos. Portanto, a energia eletromagnética refletida e emitida pelos objetos terrestres constitui-se na base de dados para todo o processo de sua identificação, pois ela permite quantificar a energia espectral refletida/emitida por estes, e assim avaliar suas principais características para a realização de inventários, de mapeamento e de monitoramento de recursos naturais (MORAES, 2009).

Conforme Florenzano (2002), os objetos da superfície terrestre como a vegetação, a água e o solo refletem, absorvem e transmitem radiação eletromagnética em proporções que variam com o comprimento da onda, de acordo com suas características biofísicas e químicas. Devido a essas variações é possível distinguir os objetos da superfície terrestre nas imagens de sensores remotos. A representação dos objetos nessas imagens varia do branco (quando refletem muita energia) ao preto (quando refletem pouca energia). As variações de energia podem ser representadas através de curvas espectrais ao longo do espectro eletromagnético.

A evolução dessa técnica, ao longo do tempo, permitiu a geração de sensores mais potentes que proporcionam imagens com melhores resoluções, que aliadas às mais avançadas técnicas de processamento dessas informações, ampliaram a aplicabilidade para diversas áreas de estudos. Assim, por meio do uso das imagens de sensoriamento remoto, é possível fornecer informações para a geração de planos diretores municipais, estudos de impactos ambientais (EIA), relatórios de impacto sobre meio ambiente (RIMA) e estimar plantações em áreas rurais. É possível também a identificação de áreas potenciais para implantação de pólos industriais, turísticos e de áreas de preservação ambiental (PADILHA, 2008).

## 2.7 SENSOR LANDSAT

A série LANDSAT teve início na segunda metade da década de 60, a partir de um projeto desenvolvido pela Agência Espacial Americana e dedicado exclusivamente à observação dos recursos naturais terrestres. Essa missão foi denominada Earth Resources Technology Satellite (ERTS) e em 1975 passou a se denominar Landsat. A missão, em sua maioria, foi gerenciada pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) e pela U.S. Geological Survey (USGS) e envolveu o lançamento de sete satélites. A série Landsat esteve em contínua atividade até 2010, o que significa mais de 30 anos contribuindo para a evolução das técnicas de sensoriamento remoto em instituições do mundo todo (EMBRAPA, 2011).

O programa LANDSAT lançou, desde 1972, sete satélites que fornecem imagens da Terra, como mostra a tabela 01.

<b>Tabela 01 – Satélites da série LANDSAT</b>	
<b>Satélite</b>	<b>Descrição</b>
LANDSAT 1	Lançado em 23/07/72 – Desativado em 06/01/78
LANDSAT 2	Lançado em 22/01/75 – Desativado em 25/02/82
LANDSAT 3	Lançado em 05/03/78 – Desativado em 31/03/83
LANDSAT 4	Lançado em 16/07/82 – Não imagea, ativo

LANDSAT 5	Lançado em 01/03/84 – Ativo até o momento
LANDSAT 6	Lançado em 05/10/93 – Perdido após lançamento
LANDSAT 7	Lançado em 15/04/99 – Ativo normalmente até 31-05-03, e em modo SLC-OFF depois desta data, com a qualidade das imagens muito prejudicadas.

Fonte: Engesat (2011)

## 2.8 MODELAGEM DA SUPERFÍCIE TERRESTRE

A altimetria da superfície da Terra é uma das medidas geofísicas mais fundamentais é um fator dominante no controle de praticamente todos os processos físicos que ocorrem na superfície terrestre. O relevo, como componente da superfície da Terra constitui-se do produto do antagonismo entre forças endógenas e exógenas do planeta Terra. Tem grande interesse geográfico, não só como objeto de estudo, mas por refletir a interação natural e social dos fenômenos naturais e antrópicos. A superfície terrestre não é plana nem uniforme em toda a sua extensão. Ao contrário, caracteriza-se por elevações e depressões de diferentes formas que constituem o seu relevo inserido no qual, vive o homem.

A representação do relevo não é uma tarefa muito fácil, mas devido ao seu valor torna-se um instrumento imprescindível para uma gestão ambiental adequada e que representa uma alternativa viável para suprir a ausência de informações do terreno.

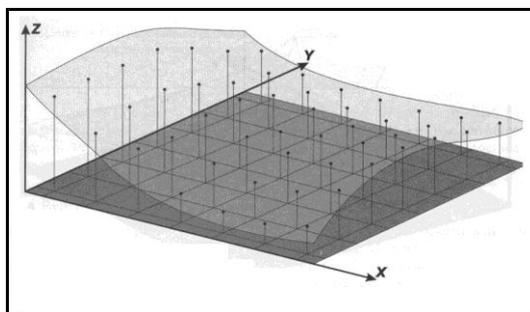
Um modelo numérico de terreno (MNT) é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre em uma região da superfície terrestre (FELGUEIRAS & CÂMARA, 2004). Quando o MNT representa as alturas topográficas de um terreno, o termo usado é Modelo Digital de Elevação (MDE), no qual cada elemento da matriz está associado a uma determinada altitude topográfica.

É importante ressaltar que os modelos numéricos de terrenos podem ser representados, de acordo com Santos (2004), da seguinte forma:

a) **Grade regular**: é uma representação matricial onde cada elemento da matriz está associado a um valor numérico, como ilustra a Figura 02. Para a geração da grade, torna-se necessário estimar, por meio de interpoladores matemáticos, os valores para as células que não possuem medidas de elevação, considerando-se, para tanto, as medidas da vizinhança.

Os procedimentos de interpolação para a geração de grades regulares a partir de amostras variam de acordo com a grandeza medida. No caso de altimetria, é comum o uso de funções de ponderação por inverso do quadrado da distância. Já para variáveis geofísicas ou de natureza pedológica, procedimentos de filtragem bidimensional ou de geoestatística como a krigagem são utilizados.

Figura 02 - Superfície e grade regular correspondente.



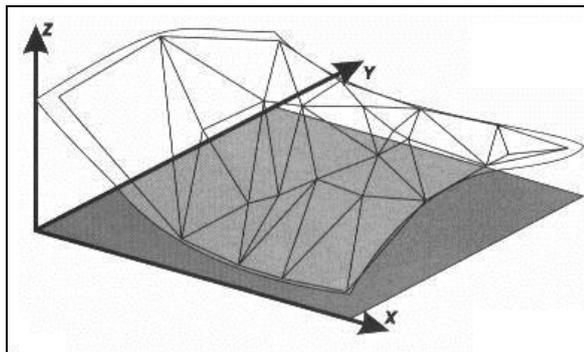
Fonte: Adaptado de (SANTOS, 2004).

b) **Grade triangular (TIN)**: é uma estrutura do tipo vetorial com topologia do tipo nó-arco que representa uma superfície por meio de um conjunto de faces

triangulares interligadas. Para cada um dos três vértices da face do triângulo são armazenadas as coordenadas de localização ( $x$ ,  $y$ ) e o atributo  $z$ , correspondente ao valor de elevação ou altitude. Em geral, nos SIGs que possuem pacotes para MNT, os algoritmos para a geração da grade triangular baseiam-se na triangulação de Delaunay com restrição de região.

Quanto mais eqüiláteras forem as faces triangulares, maior será a exatidão com que se descreve a superfície. O valor de elevação em qualquer ponto dentro da superfície pode ser estimado a partir das faces triangulares, utilizando interpoladores. A Figura 03 ilustra uma superfície e a grade triangular correspondente.

Figura 03. Superfície e malha triangular correspondente.



Fonte: Adaptado de (SANTOS, 2004).

Os Modelos Digitais de Elevação (MDE) podem ser gerados a partir de plataformas orbitais.

No dia 29 de junho de 2009 a NASA e o Ministério da Economia do Japão, Comércio e Indústria (METI) lançaram o Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER). Essa missão teve como objetivo a criação de um novo Modelo Digital Global de Elevação (GDEM). Os dados ASTER GDEM são obtidos através de imagens esteriográficas, obtidas através de um sensor de observação da Terra a bordo do satélite "Terra", em operação estável por mais de nove anos desde o seu lançamento em Dezembro de 1999. O sensor, que trabalha

com bandas do visível ao infravermelho térmico (invisível ou olho humano), oferece informações detalhadas sobre as condições da superfície da Terra (vegetação, hidrografia e recursos geológicos). Através do infravermelho termal é possível também observar a distribuição da temperatura na superfície da Terra (ASTER, 2009). Pode ser considerado o mais completo mapa da superfície da Terra, cobrindo cerca de 99% da superfície, é útil para o planejamento de cidades, na conservação de recursos naturais e muitas outras aplicações que exigem dados geográficos detalhados.

Os produtos do ASTER GDEM além de representarem aproximadamente toda a superfície terrestre, são disponibilizados de forma gratuita e possuem algumas vantagens em relação aos dados do SRTM (Outra missão que teve como objetivo gerar um MDE da superfície terrestre - SRTM - Shuttle Radar Topographic Mission).

A tabela 02 faz a comparação entre os dados altimétricos disponíveis. Os dados ASTER GDEM se destacam por disponibilizarem modelos com 30m de resolução espacial, contra 90m do SRTM. Outra diferença importante dos dados ASTER GDEM é a ausência dos chamados “voids” (ausência de informações), pelo fato de estes produtos serem obtidos por processo estereoscópico.

<b>Tabela 02 – Dados ASTER GDEM x SRTM</b>		
	<b>ASTER GDEM</b>	<b>SRTM</b>
<b>FONTE DOS DADOS</b>	ASTER	SPACE SHUTTLE RADAR
<b>GERAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO</b>	METI/NASA	NASA/USGS
<b>ANO DO LANÇAMENTO</b>	2009	2003
<b>PERÍODO DE AQUISIÇÃO DOS DADOS</b>	2000 / em curso	11 dias (2000)
<b>RESOLUÇÃO ESPACIAL</b>	30m	90m

<b>COBERTURA</b>	83 graus norte a 83 graus sul	60 graus norte a 56 graus sul
------------------	----------------------------------	----------------------------------

Fonte: Aster Gdem (2011).

Por não se tratarem de imagens obtidas por radar como o SRTM, as imagens ASTER, imagens óticas, possuem como desvantagem a ocorrência de algumas falhas de correlação causadas por coberturas de nuvens nas imagens (Rodrigues, 2010).

### **3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

#### **3.1 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO**

A Bacia Hidrográfica do rio Caí, localizada na região nordeste do RS (mapa 01) entre as coordenadas 29°06' e 30°00'S, 50°24 e 51°40'W, possui uma superfície de 4.945,70 km<sup>2</sup> e uma população estimada em 489.746 habitantes (SEMA, 2010).

A Bacia Hidrográfica do Rio Caí (foto 01) está inserida na região hidrográfica do Guaíba, umas das três regiões hidrográficas do estado do Rio Grande do Sul, compostas por outras bacias hidrográficas: Lago Guaíba, Gravataí, Sinos, Taquari-Antas, Baixo Jacuí, Pardo, Vacacaí-Vacacaí Mirim e Alto Jacuí. Estabelecendo um território com 251 municípios e uma população de 5.869.265 habitantes, representa 61% da população do Estado abrangendo municípios importantes como Bom Princípio, Canela, Caxias do Sul, Montenegro, Nova Petrópolis, São Francisco de Paula e Gramado (FEPAM, 2011).

Foto 01: Parque da Ferradura, Rio Cai/RS.



Fonte: Autor Maycon P. Damasceno (2010).



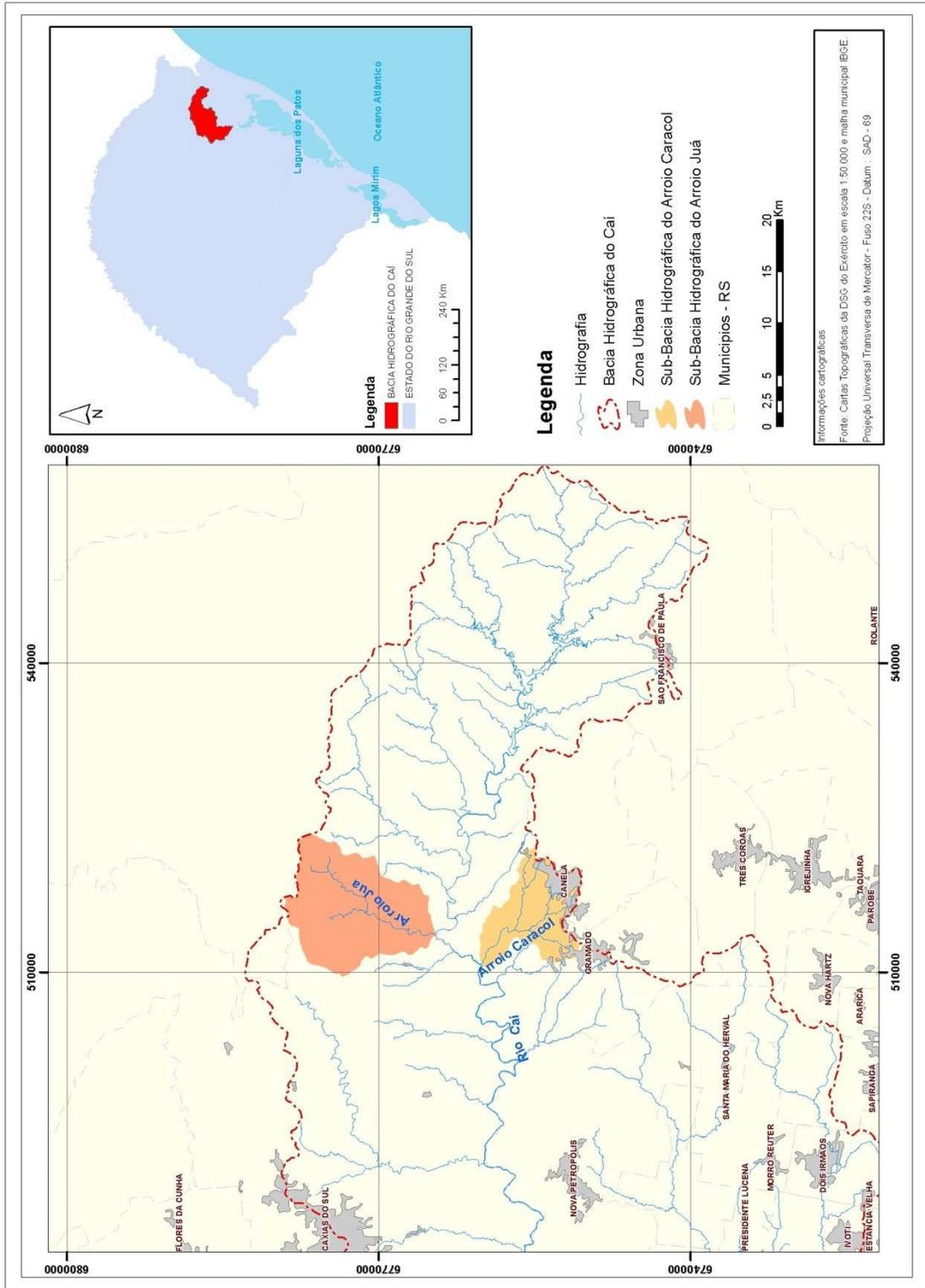
A Bacia do Rio Caí apresenta um curso de água principal (Rio Caí), dividido em Alto, Médio e Baixo Caí e alguns afluentes de maior porte. O rio Caí apresenta um comprimento de 208,45m. A bacia ainda apresenta uma levada amplitude altimétrica apresentando altitudes médias em torno de 457m.

As áreas de maior altimetria estão localizadas na porção nordeste da bacia enquanto as mais baixas estão a sudoeste, indicando a direção preferencial dos rios que compõem a bacia: nordeste-sudoeste.

Quanto à população da Bacia do Rio Caí, esta possui sua origem marcada pela influência dos povos indígenas, luso-brasileiros, açorianos, alemães e italianos, que atribuem para uma sociedade regional múltipla, com diferentes formas de relações com a água e por consequência com o rio e seus afluentes (COMITECAI, 2007).

Inseridas nessa importante bacia hidrográfica, na região denominada como Alto Caí, estão as sub-bacias dos arroios Juá e Caracol, representadas pelo mapa 02, que representam as áreas de estudo desta pesquisa.

Mapa 02: Mapa de localização das Sub-Bacias Hidrográficas dos Arroios Juá e Caracol, Bacia Rio Cai/RS.



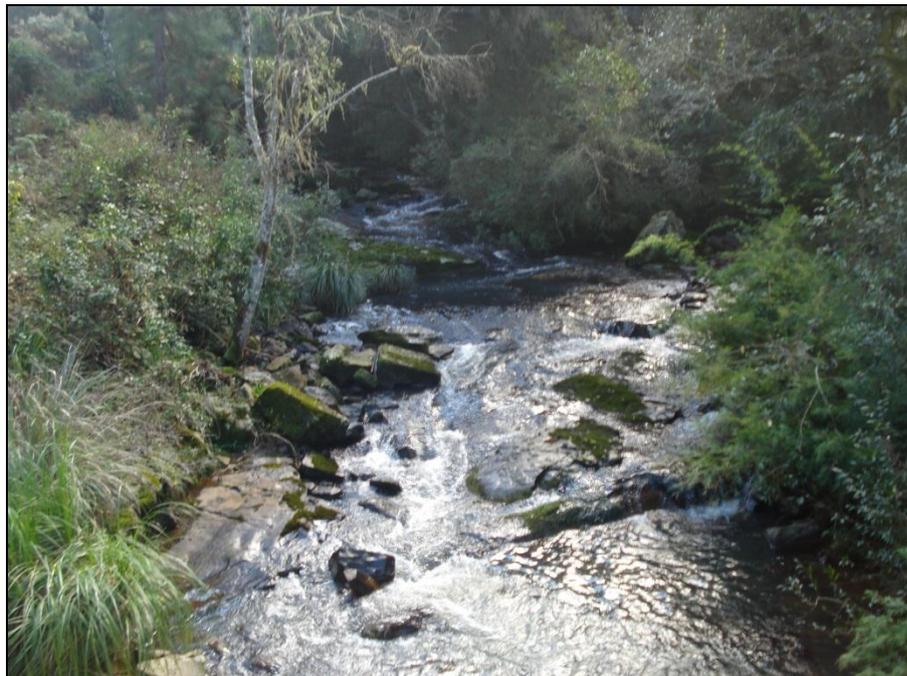
Fonte: Elaborado pelo autor Maycon P. Damasceno (2011).

### 3.1.1 Arroio Juá

Afluente direito do Rio Caí a Sub-Bacia do Arroio Juá situa-se nos municípios de Caxias do Sul e São Francisco de Paula. Possui uma área de 12.487 ha localizada entre as coordenadas: 29°06'36"S e 29°15'07"S e 50°46'45" e 50°52'39" com altitudes entre 200 e 980 metros.

Tem suas nascentes localizadas nas proximidades da localidade de Juá, que dá o nome ao arroio, no município de São Francisco de Paula e estende-se também pelo município de Caxias do Sul, foto 02, estabelecendo o limite físico que divide os dois municípios. A sub-bacia do Arroio Juá ocupa uma grande porção dos dois municípios ficando, no entanto, afastada das sedes municipais.

Foto 02: Nascentes do Arroio Juá/RS.



Fonte: Autor Maycon P. Damasceno (2010).

Com o vale voltado para o sul, da sub-bacia apresenta pouca interferência urbana. Suas terras são principalmente utilizadas na agricultura (plantio de hortaliças e fruticultura). São também notáveis as grandes manchas de florestas plantadas, com o cultivo principalmente de pinus (COMITECAI, 2007). A região que fica

próxima às nascentes do Rio Caí, tem como característica áreas abertas (campos de altitude) com relevo que varia de suave a ondulado. Núcleos de mata de araucária (“capões”) são comuns junto às nascentes.

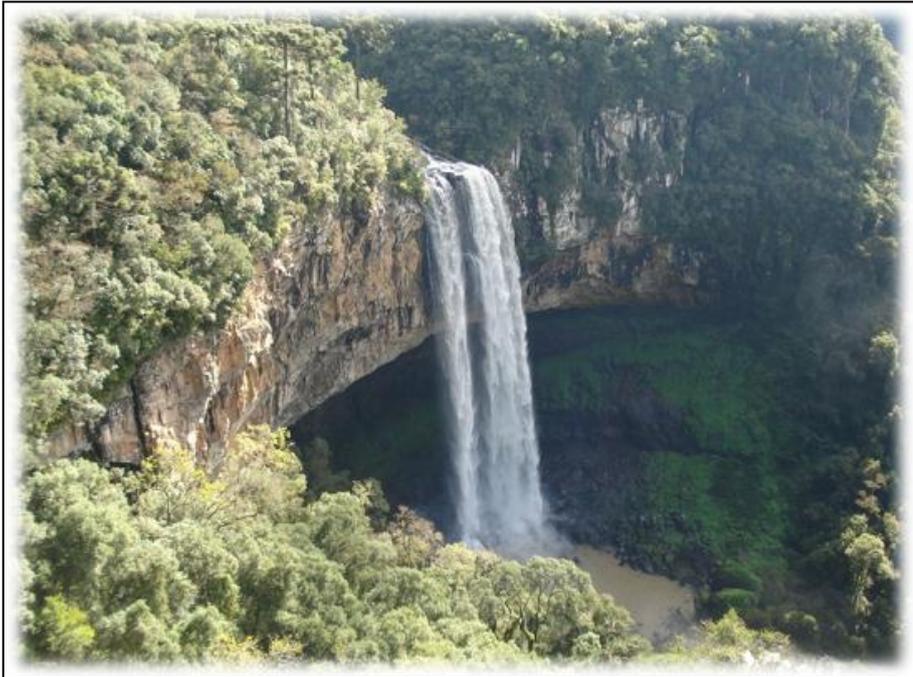
### 3.1.2 Arroio Caracol

A outra sub-bacia deste estudo, tendo como curso principal o Arroio Caracol, estende-se pelos municípios de Canela e Gramado, entre as coordenadas 29°17'16” e 29°22'22”S, 50°53'32” e 50°47'43”W. Suas águas drenam a área urbana de Canela, uma das mais importantes cidades na margem esquerda do rio Caí no seu trecho médio. Esta sub-bacia tem como principal característica uma porção elevada de área ocupada pela urbanização.

Suas nascentes, localizadas nas partes mais altas da cidade de Canela, formam um dos principais pontos turísticos da região serrana do estado do Rio Grande do Sul, a Cascata do Caracol, foto 03, com cerca de 131 metros de altura, que faz parte do parque, que leva o mesmo nome, com uma área de 25 ha.

O arroio Caracol possui altitudes variando entre 314 e 880m, sendo voltado para norte, com uma boa insolação. A sub-bacia sofre uma forte interferência urbana em suas cabeceiras. A prática da silvicultura é evidenciada pelo cultivo de espécies como Eucalipto e Pinus.

Foto 03: Cascata do Caracol, Canela/RS



Fonte: Autor Maycon P. Damasceno (2010).

A presença da mata nativa, ocupando as porções mais íngremes do terreno é facilmente percebida. Na base destas elevações, mesclam-se diferentes usos em pequenas propriedades.

### 3.2 VEGETAÇÃO

A cobertura vegetal primária da região nordeste do Rio Grande do Sul é resultado, não somente das condições ambientais atuais, mas também das condições reinantes nos períodos glaciários e interglaciários do quaternário (Ab'Saber, 1957 apud Vale dos Vinhedos, 1999). Segundo Ross (2005), a cobertura vegetal da região encontra-se entre os grandes domínios de vegetação do Brasil, as Matas de Araucárias, que constituem a formação vegetal menos tropical do Brasil. A área de ocorrência dessas florestas compreende as terras altas dos planaltos e serras do sul do Brasil, tendo como altitude inferior limite, no Rio Grande do Sul, os

bosques em 500 a 600 m de altitude podendo ser encontrados também acima de 1200 m na Serra da Mantiqueira.

Neste contexto, a área de estudo desse projeto insere-se na região do Alto Caí sob a influência dos remanescentes do Bioma Mata Atlântica no nordeste do estado Rio Grande do Sul. Esse bioma, com uma biodiversidade maior que a da Floresta Amazônica, já chegou a cobrir mais de 40% do território gaúcho. Hoje, esse percentual não passa de 3%, fato que deixa clara a importância de preservação dos fragmentos florestais ainda restantes.

A Reserva da Biosfera da Mata Atlântica ocupa 341.043,93 ha na Bacia do Rio Caí, representando 68,58% da área total. Mais da metade da Bacia encontra-se em área protegida pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), devendo ser regida por modelo de gestão e zoneamento específicos. Considerando-se as formações florestais existentes na Bacia Hidrográfica do Rio Caí e o Decreto Federal nº 750/1993 que estabelece áreas com restrição de uso nos ambientes florestais, observa-se que na bacia são protegidas as seguintes formações florestais: Floresta Ombrófila Mista e de Florestas Estacionais Deciduais e Semi-Deciduais. A área de mata atlântica protegida por este Decreto foi delimitada e inclui parte do território da Bacia do Rio Caí, totalizando 341.825,70 ha, atingindo uma parcela significativa da área total (COMITECAI, 2007).

Foto 04: Capões de Araucária e Campos, São Francisco de Paula /RS.



Fonte: Autor Maycon P. Damasceno (2010).

Essa vegetação que foi fortemente alterada pela ação antrópica possui ainda hoje poucos trechos restantes que aparentemente estariam protegidos pela topografia acidentada. Estes, no entanto, vêm sofrendo com pressões e fortes mudanças na sua paisagem. A Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, que originalmente estendia-se do Cabo de São Roque, no estado do Rio Grande do Norte, até as serras do Herval e Tapes, no estado do Rio Grande do Sul, ocupava uma área de 350 000 km<sup>2</sup>. Hoje, cerca de 95% dessa mata foi totalmente destruída pela ação humana (Neiman,1989).

A área de estudo, as sub-bacias dos Arroios Juá e Caracol estão caracterizadas pela presença da Floresta Ombrófila Mista, com bosques cobertos de *Araucária Angustifólia* intercalada por campos nos topos mais suaves (foto 04).

Foto 05: Vale do Arroio Caracol/RS.



Fonte: Autor Maycon P. Damasceno (2010).

As vertentes escarpadas e seus vales têm a vegetação representada pela Floresta Estacional Decidual, como pode ser observado na foto 05.

### 3.3 GEOLOGIA E RELEVO

A natureza atribuiu ao território do Rio Grande do Sul aspectos físicos singulares. Estabelecendo terrenos das mais diversas formas geológicas possíveis. Podemos estabelecer quatro regiões geológicas no Rio Grande do Sul: o escudo, basicamente pré-cambriano, a depressão sedimentar permo-triássica, o planalto jurássico-cretácio e a planície cenozóica litorânea (MOREIRA, 1986).

A província do planalto, que ocupa a metade norte do e uma porção do leste do RS, é formada por uma sucessão de pacotes de rochas vulcânicas (rochas

originadas por magma resfriado na superfície da costa terrestre) basaltos e riolitos da Formação da Serra Geral.

Essas rochas se apresentam em um relevo tabular, muito escavado pelos rios da região, como exemplo disso o Rio Caí e alguns de seus afluentes, o arroio Juá e Caracol, formando escarpas e vales profundos.

O planalto tem suas escarpas recortadas pelo entalhe de drenagem (foto 06), que secciona as várias seqüências de derrames, deixando nas vertentes abruptas um sucessivo escalonamento de patamares estruturais evidenciando os diferentes derrames vulcânicos existentes.

Os derrames que formam o relevo desta região podem ser datados do período Cretáceo entre 140 e 130 milhões de anos atrás estando relacionados com a abertura do Oceano Atlântico e a separação do supercontinente Gondwana, originando os continentes da América do Sul e da África. Na porção nordeste do RS os derrames Vulcânicos apresentam altitudes de até 1000 metros gradualmente caindo para menos de 100 metros na porção oeste, na região da campanha (HOLZ 1999).

Foto 06 - Os diferentes patamares do Relevo na região da foz dos Arroios Caracol e Juá.



Fonte: Autor Maycon P. Damasceno (2010).

Essa região localizada no nordeste do estado do Rio Grande do Sul foi denominada por Ross (2005), como Planaltos e Chapadas da Bacia do Paraná, e o local onde está localizada a área de estudo desta pesquisa. A área apresenta um relevo escarpado a ondulado.

### 3.4 SOLOS

A disponibilidade de informações sobre os solos de uma região é fundamental para o planejamento de qualquer atividade relacionada ao uso do solo: agricultura, florestamento, descarte de resíduos, urbanização e outras finalidades (STRECK, 2008).

Três tipos diferentes de solo compõem as sub-bacias dos Arroios Juá e Caracol, a tabela 03 apresenta uma descrição das suas principais características.

<b>Tabela 03 - Solos encontrados das Sub-Bacias Hidrográficas do Arroio Caracol e Juá</b>	
<b>Argissolos</b>	São solos geralmente profundos a muito profundos variando de bem drenados a imperfeitamente drenados, podem ser originados de diversos tipos de matérias, tais como basaltos, granitos, arenitos, argilitos e siltitos. Estes solos ocorrem em relevo desde suave ondulado a forte ondulado, ocupando em termos percentuais a maior parte do RS.
<b>Cambissolos</b>	Solos rasos a profundos, variam de bem drenados a imperfeitamente drenados, dependendo da posição que ocupam na paisagem. São solos que ainda estão em processo de transformação, podendo ocorrer em qualquer situação de relevo e paisagem.
<b>Neossolos</b>	São solos rasos ou profundos, apresentam uma formação recente, desenvolvidos a partir dos mais diversos tipos de rochas (material de origem) e encontrados nas mais diversas condições de relevo e

drenagem.
-----------

Fonte: Adaptado de Streck (2008).

### 3.5 CLIMA

O estado do RS faz parte da faixa de clima subtropical que se constitui em uma área de transição entre o clima tropical e temperado. Conforme a classificação de Köppen (1948), o estado pode ser dividido em dois tipos climáticos: o Cfa, Subtropical com verões quentes, clima que domina boa parte do território do estado. O Cfb é caracterizado por verões brandos e invernos mais acentuados (Hoffmann, 1992). Este, por sua vez é o clima predominante da área de estudo desta pesquisa.

A região tem como característica áreas com altitude elevada, temperaturas amenas e maior volume de chuvas. Na média a temperatura anual é de 16°C, sendo superada em apenas dois meses que atingem temperatura media superior a 20°C. A precipitação apresenta uma média anual que varia entre 1500 e 1850 mm (Atlas Eólico do Rio Grande do Sul, 2002).

## 4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos tratam do desenvolvimento das atividades que irão possibilitar o desenvolvimento dos objetivos propostos por essa pesquisa.

Ross (2008) destaca que para a aplicação de uma determinada metodologia é preciso dominar o conteúdo teórico e conceitual e também ter o controle sobre o manuseio do instrumento técnico operacional.

O pesquisador Libault (1971), apresenta uma proposta metodológica aplicável à pesquisa geográfica, com o título “Os Quatro Níveis da Pesquisa Geográfica”. Sua proposta surge em função do tratamento quantitativo da informação e se ajusta aos dados de natureza numérica que possam ser traduzidos em tabelas e gráficos. Sua utilização pode ser perfeitamente aplicável a conteúdos de cunho geográfico.

O autor distingue sua pesquisa em quatro níveis: nível compilatório, nível correlatório, nível semântico e nível normativo. O que estabelece para a pesquisa: um começo, um meio e um fim.

Abaixo estão descritos os quatro níveis de pesquisa criados por Libault (1971):

➤ **Nível Compilatório:** São realizadas as pesquisas bibliográficas, levantamento dos dados e informações sobre a existência de cartas topográficas, geológicas, geomorfológicas, pedológicas e documentos básicos, produzidos por sensores remotos, elaborando-se vários documentos como: carta base, carta pedológica, uso da terra e vegetação entre outras.

➤ **Nível Correlatório:** serão correlacionadas as informações analíticas à vulnerabilidade do meio físico, englobando clima, relevo, litologia, solos, uso da terra, cobertura vegetal. O mapa de vulnerabilidade é elaborado a partir do cruzamento dos dados.

➤ Nível Semântico – este terceiro nível é interpretativo. Buscam-se resultados conclusivos a partir dos dados selecionados e correlacionados nas etapas anteriores (ROSS, 2008).

➤ Nível Normativo: Envolve a discussão dos dados, resultados, conclusão do trabalho.

A escolha desse modelo por essa pesquisa tem sua motivação ligada em determinar as áreas de fragilidade ambiental, apreciando o conjunto de fatores que compõem a área de estudo. Os procedimentos e materiais utilizados nesta pesquisa são abordados nesse capítulo.

#### 4.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Os documentos cartográficos utilizados nesta pesquisa foram:

Tabela 04 – Cartas Topográficas Utilizadas		
Nome	Nomenclatura	Escala
Oliva	Folha SH 22-X-C-I-1, MI-2954/1	1: 50.000
Canela	Folha SH 22-X-C-I-3, MI-2954/3	1: 50.000

Fonte: DSG (Exército Brasileiro).

➤ Imagens do Satélite Landsat 5, Sensor TM, com datas de passagem de 07/09/2010 e 16/09/1990. Obtidas através do site <http://www.dgi.inpe.br>.

➤ Dados de Unidades de solo mapeados através do levantamento do Projeto Radam Brasil, solos do Rio Grande do Sul.

➤ Aster Gdem: Obtidas através do site: [www.gdem.aster.ersdac.or.jp](http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp).

Os produtos cartográficos foram processados em ambiente de Sistema de Informações Geográficas através do uso do software ArcGis 9.3, produzido pela ESRI – *Environmental Systems Research Institute*, e suas extensões Spatial Analyst e 3D Analyst.

O ArcGis 9.3 usa modelos de dados de SIG para representar o espaço geográfico e provê todas as ferramentas necessárias para trabalhar com dados geográficos. Isto inclui ferramentas para todas as tarefas de SIG: editando e automatizando dados, mapeando, administrando dados e realizando análise geográfica (SANTOS, 2004).

Outro aplicativo computacional utilizado é um sistema moderno de processamento de imagens de Sensoriamento Remoto que proporciona funcionalidade avançada para a análise interativa de qualquer formato de imagem. O sistema ENVI apresenta um conjunto de ferramentas desenhadas especificamente para processar e gerenciar imagens de Forma simples e eficiente.

## 4.2 METODOLOGIA APLICADA

Desde épocas remotas o homem pratica a ciência cartográfica e utiliza a confecção de mapas como meio de armazenamento dos conhecimentos referentes à superfície terrestre. A finalidade principal não é só conhecer, mas também administrar o espaço geográfico.

A metodologia utilizada nesta pesquisa esta baseada nos conceitos de metodologia de Análise Empírica da Fragilidade proposta por Ross (1994), que estabelece a elaboração da Carta de Fragilidade Potencial e de Fragilidade Emergente utilizando as variáveis: tipos de solos, declividade e dados do uso e ocupação do solo.

A partir do cruzamento dessas variáveis foram estabelecidas classes de fragilidade hierarquizadas em cinco categorias: de Muito Fraca a Muito Forte.

Contando que cada mapa tem suas classes previamente estudadas e definidas, elas foram cruzadas de maneira que as regiões somem seus pesos relativos à degradação: do uso do solo, da declividade e dos tipos de solos.

#### 4.2.1 Trabalho de Campo

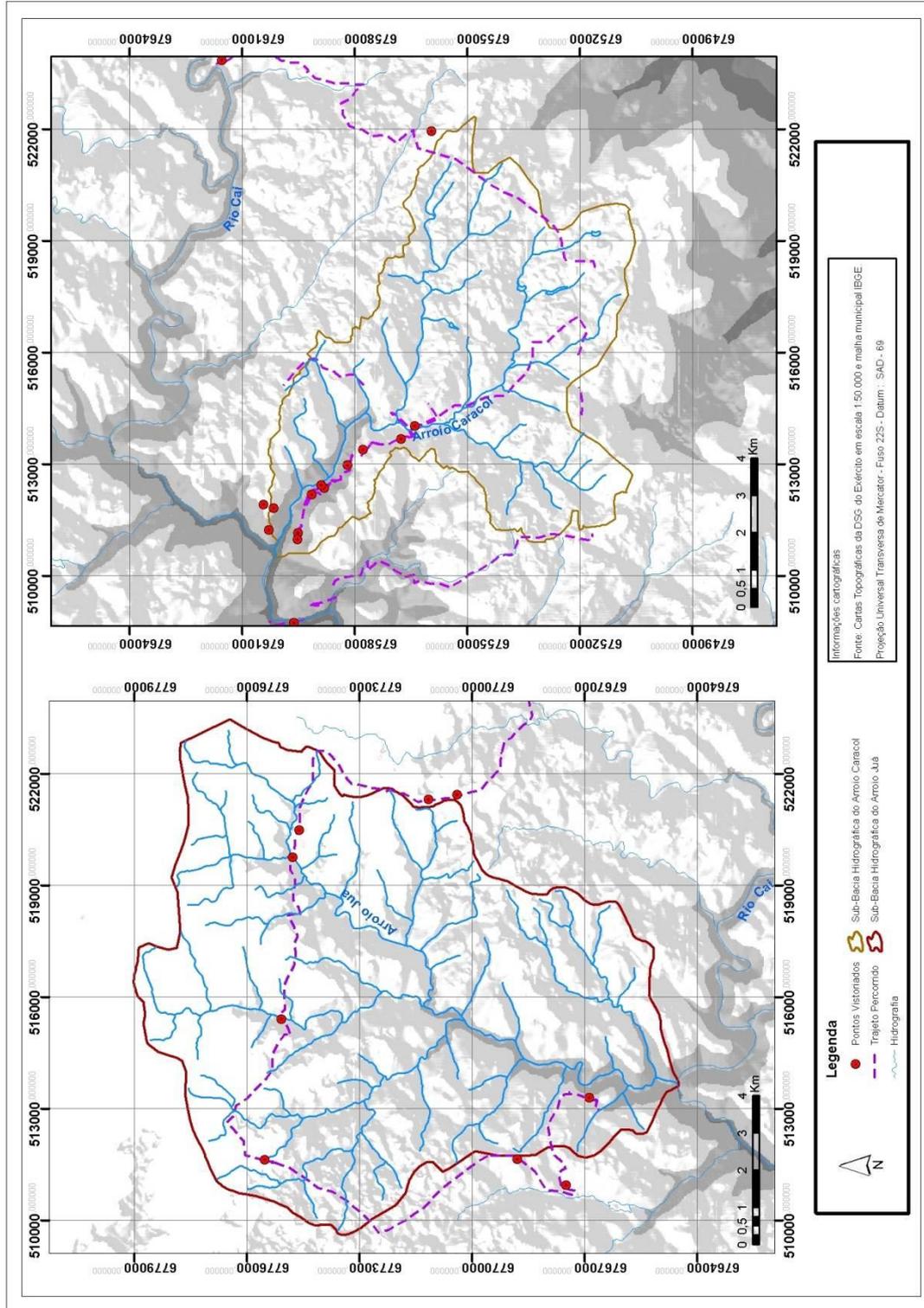
Para o desenvolvimento desse estudo foram realizados levantamentos em campo, mapa 03, a fim de estabelecer um maior conhecimento das bacias hidrográficas estudadas, além dos trabalhos prévios de geoprocessamento. Tal ação proporcionou a confecção dos mapas temáticos que foram utilizados como ferramentas para estabelecer a vulnerabilidade ambiental da área de estudo.

Aspecto importante na pesquisa geográfica, o trabalho de campo é uma ferramenta que auxilia no entendimento do fenômeno que se pretende explicar. Neste sentido, os trabalhos de campo ao serem realizados, especialmente pelos pesquisadores da Ciência Geográfica, têm como objetivo analisar as relações existentes no espaço geográfico, bem como realizar observações de aspectos fisiográficos, urbanos e econômicos na paisagem de forma empírica, buscando sempre a inter relação entre fenômenos, podendo assim chegar a conclusões diversas (MORAES, 2009).

Sendo assim, o trabalho de campo realizado necessita seguir alguns princípios importantes devendo ser destacado o olhar do pesquisador que necessita estar atento ao objeto de estudo, sem desvinculá-lo do todo, isto é, dos diversos elementos constituintes da paisagem.

O trabalho de campo foi realizado entre 10 e 11 de julho de 2010, com o objetivo de registrar as transformações da paisagem e a dinâmica do ambiente. Essa saída resultou em um extenso acervo fotográfico que contribuiu na compreensão de cada sub-bacia, além de servir como informação de apoio à interpretação das imagens de satélite, na etapa do mapeamento dos usos e cobertura do solo.

Mapa 03: Mapa com o trajeto e pontos visitados em campo nas Sub-Bacias dos Arroios Juá e Caracol.



Fonte: Elaborado pelo autor Maycon P. Damasceno (2011).

#### 4.2.2 Mapa Base

O mapa de rede de drenagem das sub-bacias hidrográficas dos Arroios Caracol e Juá foram obtidos através da digitalização das cartas topográficas do Ministério do Exército - DSG.

O modelo numérico do terreno ou modelo digital de elevação (MDE) constitui-se de uma imagem onde cada pixel possui o valor Z de altitude, correspondente as suas coordenadas X e Y. O modelo utilizado nesta pesquisa foi gerado a partir dos dados *ASTER GDEM* com uma de resolução espacial de 30m. O MDE possibilitou a geração de imagens para interpretação dos mapas de declividade. Como a construção do MDE foi possível a obtenção de uma representação muito próxima da topografia existente na bacia, sendo possível obter também, uma visão tridimensional de toda formação do relevo de ambas as sub-bacias. Com base no MDE, foi possível delimitar a área das duas sub-bacias através da identificação de seus divisores de água.

#### 4.2.3 Mapa de Declividade

As curvas de nível existente em uma carta topográfica permitem a confecção de mapas de declividade, um importante subsídio para estudos ambientais. O fator declividade é de grande importância, fundamental para a definição da fragilidade potencial e emergente. As classes de declividade apresentam um ótimo indicativo dos processos erosivos em uma bacia hidrográfica: quanto mais inclinado o relevo maior a suscetibilidade a esse tipo de processo, o que torna essa variável reveladora das aptidões e limitações de uso da terra (PADILHA, 2008).

Para se estabelecer os intervalos das classes de declividade foram utilizados os intervalos descritos por Ross (1994) apresentados na tabela 05.

<b>Tabela 05 - Grau de Fragilidade das Classes de declividade</b>	
<b>Fragilidade</b>	<b>Declividade</b>
<b>1 - Muito Fraca</b>	< 6%
<b>2 - Fraca</b>	6% a 12 %
<b>3 - Média</b>	12% a 20%
<b>4 - Forte</b>	20% a 30%
<b>5 - Muito Forte</b>	> 30%

Fonte: Ross (1994)

Foi utilizada a extensão Spatial Analyst (ArcGIs), na opção Slopé. Após o processamento, fez-se a reclassificação nas classes desejadas de declividade.

#### 4.2.4 Mapa de Tipo de Solos

O Estado do Rio Grande do Sul caracteriza-se pela predominância de solos com alta e muita alta suscetibilidade à erosão, condicionados pela presença significativa de solos rasos, como Cambissolos e Neossolo ou mesmo mais profundos como Argissolos, todos localizados em relevos acidentados das serras e planaltos sulinos (CARVALHO;CÂMARA, 2002 Apud PADILHA, 2008).

Informações temáticas em formato digital relativas aos tipos de solos que compõe as sub-bacias do Arroio Caracol e do Arroio Juá são oriundas do projeto RADAMBRASIL na escala 1:250.000. Os diferentes tipos de solos que representam as áreas de estudo foram delimitados apenas em escritório, sem identificação de campo, utilizando a nomenclatura do Mapa Exploratório de Solos do Rio Grande do Sul (IBGE, 2011).

Para a criação dos mapas de solos, utilizou-se a extensão Spatial Analyst através do comando Features to Raster, que transforma um arquivo vetorial em uma imagem Raster. Após o processamento, foi feita a reclassificação, estabelecendo as classes de acordo com a tabela 06 – Fragilidade dos tipos de solos.

Tabela 06 - Grau de Fragilidade das Classes de Solos	
Fragilidade	Tipos de Solos
1 Muito Fraca	Latossolo roxo, Latossolo vermelho-escuro e vermelho amarelo com textura argilosa
2 Fraca	Latossolo amarelo e vermelho-amarelo com textura média/argilosa
3 Média	Latossolo Vermelho-amarelo; Terra Roxa, Terra bruna; podzólio vermelho-amarelo com textura média/argilosa
4 Forte	Podzólio vermelho-amarelo com textura média/arenosa; cambissolos
5 Muito Forte	Podzolizados com cascalhos; litólicos e areias quartzosas

Fonte: Ross (1994)

#### 4.2.5 Mapa de Uso do Solo

A cobertura do solo também exerce uma grande influência na determinação da fragilidade ambiental. O termo *uso do solo* refere-se à forma pela qual o espaço está sendo ocupado pelo homem. A sua avaliação é de grande importância para avaliar a situação desse espaço e se esta ocupação e uso estão sendo realizada de forma positiva ou negativa.

O levantamento do uso do solo tem uma grande variedade de aplicações, torna-se um aspecto de interesse fundamental para a compreensão dos padrões de organização do espaço. Qualquer que seja a aparência ou característica do uso da terra, raramente permanece inalterável. Desse modo, há necessidade de atualização constante dos registros de uso da terra, para que as sua tendências possam ser analisadas (KLEINPAUL,2005).

Os estudos que acompanham a avaliação e monitoramento da cobertura vegetal, uso e ocupação do solo, entre outros, tem sido desenvolvidos através da

utilização do geoprocessamento, o que permite o uso de seus resultados de maneira rápida e fácil, especialmente na aplicação de ações de planejamento e gestão ambiental (MORAES, 2009).

No mapeamento do uso do solo das sub-bacias buscou-se identificar e quantificar as áreas ocupadas com plantios de árvores exóticas, área agrícolas, campos, solos exposto, além das áreas naturais e manchas urbanas, gerando assim subsídios importantes para avaliar a relação entre os usos da terra e o estado da conservação ambiental.

As informações para elaboração do mapa de uso e ocupação do solo foram extraídas através da classificação de imagens digitais. Esse processo envolveu a coleta de cenas orbitais, o georreferenciamento das imagens e por fim, a sua classificação.

São registrados na bibliografia diferentes métodos de classificação de imagens para a extração de determinados elementos, visando, como no caso desta pesquisa, a elaboração de um mapa temático com as características da área de estudo (MORAES, 2009).

De acordo com Fitz (2008), “A classificação de uma imagem nada mais é do que a identificação de determinados elementos nelas presentes pela associação de cada um de seus pixels a uma determinada classe já preestabelecida” (Fitz, 2008 134, p).

Para o mapeamento de uso e cobertura do solo das sub-bacia hidrográfica dos Arroios Juá e Caracol foram estabelecidas as seguintes classes temáticas:

- Vegetação Nativa;
- Solo Exposto;
- Silvicultura;
- Área Urbana;
- Cultura Agrícola;
- Pastagem;

A classificação foi efetuada através do software ENVI 4.5 e a técnica escolhida para esse trabalho foi a da classificação supervisionada, através de parâmetros definidos pelo conhecimento prévio das características da área de estudo. O método empregado MAXVER (MAXIMA VEROSSIMILHANÇA) define a classificação “pixel a pixel”.

Essa técnica certamente é, hoje, a mais utilizada dentre os sistemas de classificadores supervisionados. Para que a classificação seja precisa, é necessário um número elevado de “pixels” para cada conjunto de treinamento, que representam polígonos representativos de cada classe. Portanto as áreas de treinamento devem conter uma quantidade suficiente de pixels para representarem uma classe previamente estabelecida (FITZ, 2008).

Todos os arquivos foram convertidos para utilização no software ArcGis 9.3, onde foi elaborado o mapa de uso e ocupação de solo da área de estudo.

As classes de fragilidade referentes ao uso e ocupação da terra foram determinadas com base em Ross (1994). O resultado segue a tabela 07, com algumas adaptações consideradas relevantes para a área deste estudo.

<b>Tabela 07 – Grau de Proteção e Fragilidade das Classes de Uso e Cobertura do solo</b>	
<b>Fragilidade</b>	<b>Uso e Cobertura do solo</b>
1 - Muito Fraca	Florestas com matas naturais ou cultivadas com biodiversidade.
2 - fraca	Formações arbustivas naturais com estrato herbáceo denso; Formações arbustivas densas (mata secundária, cerrado denso, capoeira densa); Mata homogênea de Pinus densa; Pastagens Cultivadas sem pisoteio do gado; Cultivo de ciclos longos.
3 - Média	Culturas de ciclo longo em curvas de nível, terraceamento com café, laranja com forrageiras entre as ruas; pastagens com baixo pisoteio; silvicultura de Eucaliptos com sub-bosque de nativas.
4 - Forte	Culturas de ciclo longo de baixa densidade, com solo exposto entre ruas, culturas de ciclo curto, com cultivo em curvas de nível.
5 - Muito Forte a Nula	Áreas desmatadas e queimadas recentemente, solo exposto por arado/gradeação, solo exposto por caminhos, estradas, terraplenagens, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas.

Fonte: Ross (1994)

#### 4.2.6 Mapa de Fragilidade Potencial e Emergente

O mapeamento da fragilidade dos ambientes naturais antropizados da área de estudo delimitou diferentes compartimentos nas Sub-Bacias estudadas, identificando o grau de fragilidade a partir da sobreposição dos demais mapeamentos temáticos anteriormente descritos.

Para cada mapeamento específico foram atribuídos pesos para cada situação das variáveis analisadas, ao invés de atribuir valores qualitativos como forte, fraco e médio, atribuem-se valores numéricos de 1 a 5 para cada uma das variáveis. De acordo com Ross (1994), esse produto cartográfico final sintetiza através de números, a soma das variáveis: relevo, litologia/solo e vegetação/uso do solo, da seguinte maneira.

- Índices de Declividade do relevo: peso ou nota 1 para menor declividade e peso ou nota 5 para um maior índice de declividade.
- Litologia/solos: Gradação do menos suscetível à erosão com valores variando de 1 a 5 para o mais suscetível.
- Vegetação/uso do solo: O menor valor (1) para os tipos de uso que oferecem maior proteção ao solo, o valor 5 para o tipo de uso que oferece menor proteção.

O mapa de fragilidade potencial foi elaborado por meio do cruzamento das informações relativas às classes de fragilidade do mapa de declividade e tipos de solos, que ocorrem na bacia.

O mapa de fragilidade emergente foi elaborado a partir da relação feita entre as informações resultantes da fragilidade potencial com as informações das classes de fragilidade do uso e ocupação do solo da área de estudo.

Portanto, o produto final o mapa de fragilidade ambiental, gerado a partir dos mapeamentos básicos, podem conter diferentes combinações entre as variáveis. Após a identificação dos pesos, foi feita a soma desses atributos através de uma operação no programa ArcGis denominada álgebra de mapas.

Os graus de fragilidade para cada classe dos mapeamentos de declividade, tipos de solos e uso do solo e cobertura vegetal foram atribuídos de acordo com as classes de fragilidade definidas por Ross (1994), exemplificadas nas tabelas 5,6 e 7. As classes de solos apresentadas na tabela 6 são correspondentes a antiga nomenclatura utilizada na classificação dos solos, essa nomenclatura foi atualizada no presente trabalho a partir do Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 1999).

## 5. ANALISE DOS RESULTADOS

### 5.1 MAPA BASE

A rede de drenagem das duas bacias da área de estudo, mapa 04 e 05, apresenta-se bem ramificadas, exibindo diversos tipos e formas de curso d'água, com a ocorrência canais intermitentes e perenes.

Quanto a Sub-Bacia do Arroio Juá, esta apresenta uma área total de 12470,65 ha e o perímetro tem cerca de 50 km. O seu curso principal possui cerca de 19 km.

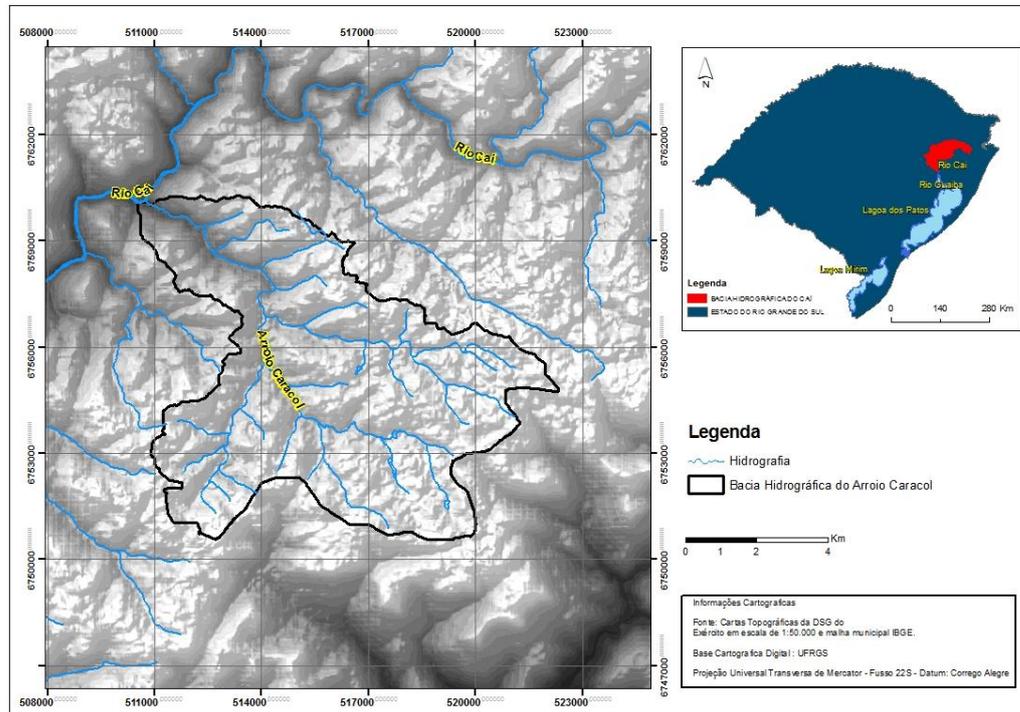
A sub-bacia do Arroio Caracol possui uma área de 6520,63 ha e seu perímetro é de cerca de 48,00 km. O canal principal do Arroio Caracol, foto 07, possui uma extensão de 10 km.

Foto 07 - Ponte sobre o Arroio Caracol/RS.



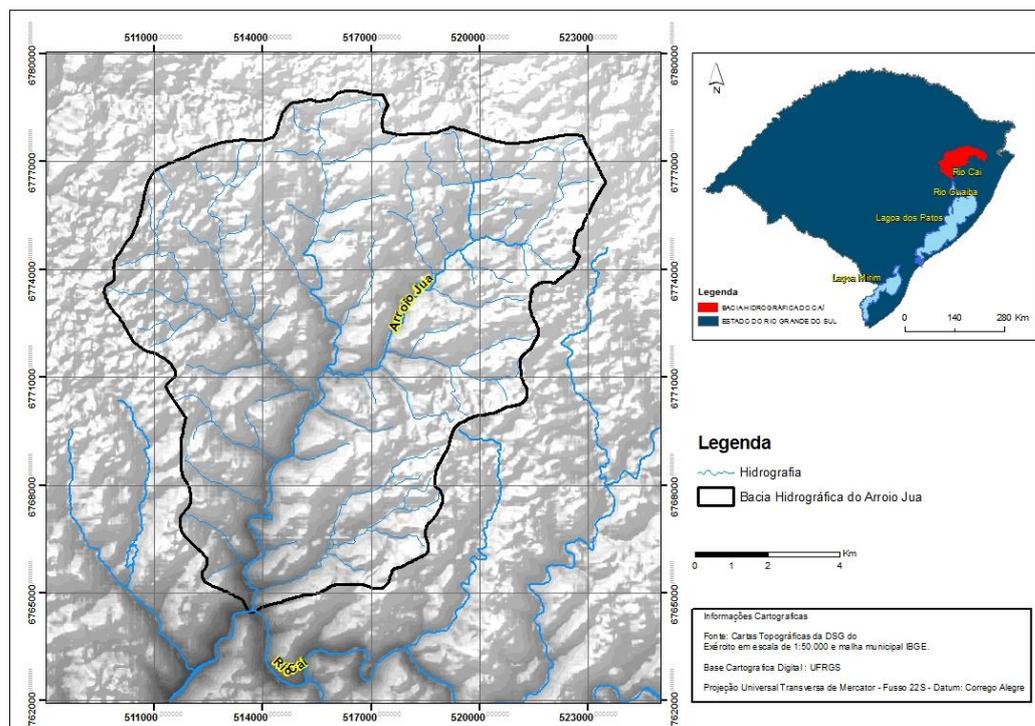
Fonte: Autor Maycon P. Damasceno (2010).

Mapa 04: Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Caracol/RS.



Fonte: Elaborado pelo autor Maycon P. Damasceno (2011).

Mapa 05: Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Juá/RS.



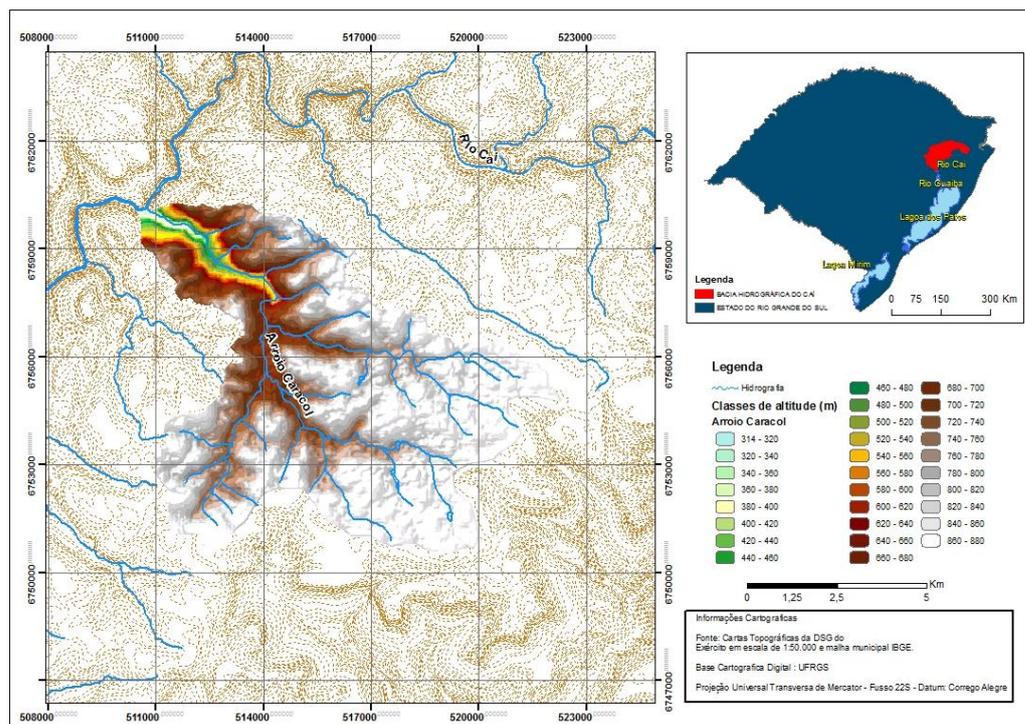
Fonte: Elaborado pelo autor Maycon P. Damasceno (2011).

## 5.2 MAPAS DE DECLIVIDADE

Com o modelo numérico do terreno MNT foi possível elaborar a imagem que representa os dados hipsométricos que servem como base para a elaboração do mapa de declividades e das fragilidades potencial da área de estudo.

As altitudes da sub-bacia do Arroio Caracol (mapa 06) e Juá (mapa 07) variam de 986m à 314 metros.

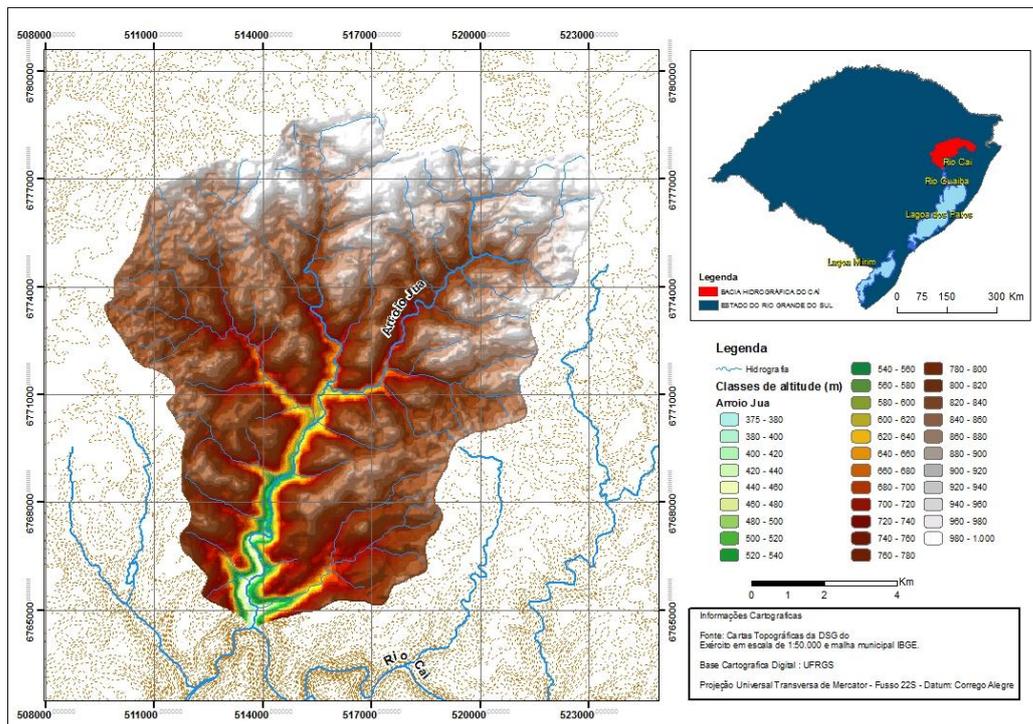
Mapa 06: Classes de Altitude da Sub-Bacia do Arroio Caracol/RS.



Fonte: Elaborado pelo autor Maycon P. Damasceno (2011).

Analisando-se o mapa hipsométrico da Sub-Bacia do Arroio Caracol observa-se que há uma maior dissecação na área noroeste da bacia onde se localizam as áreas com declividades mais acentuadas.

Mapa 07: Classes de Altitude da Sub-Bacia do Arroio Juá /RS



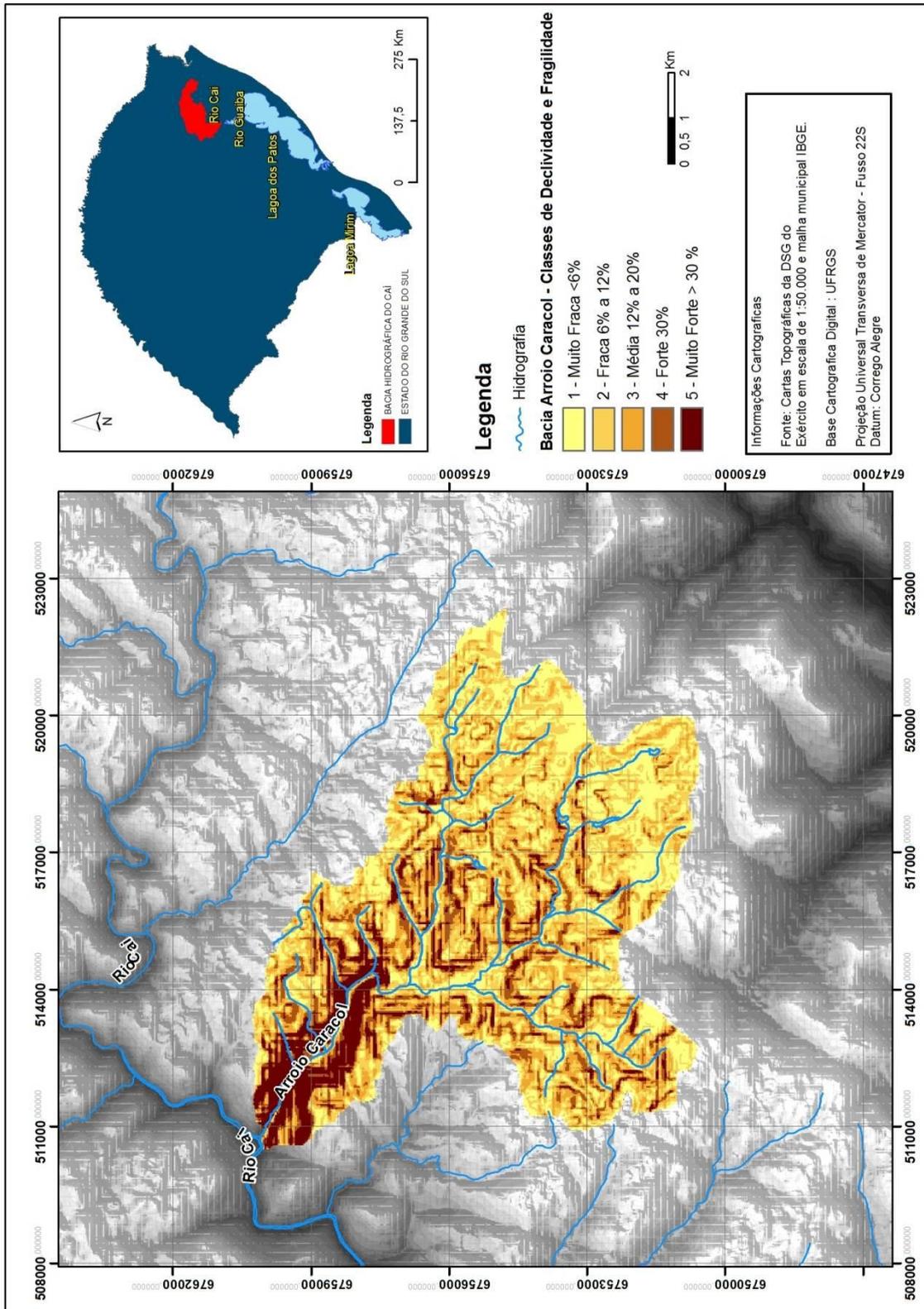
Fonte: Elaborado pelo autor Maycon P. Damasceno (2011).

Dentre as classes de declividade, duas dominam a área da bacia (tabela 08), ocupando 56%, as classes de declividade muito fraca (0-6%) e fraca (6-12%) segundo a metodologia de Ross (1994).

Tabela 08 - Classes de declividade e fragilidade da Sub-Bacia do Arroio Caracol			
Classes de Fragilidade	Classes de Declividade (%)	Área na Bacia (ha)	(%)
1 - Muito Fraca	< 6	1664,21	26
2 - Fraca	6 - 12	1931,79	30
3 - Média	12 - 20	1438,09	22
4 - Forte	20 - 30	841	13
5 - Muito forte	> 30	638,21	10
	-	6520,63	100

Fonte: Adaptado de Ross (1994)

Mapa 08: Classes de fragilidade, Arroio Caracol/RS.



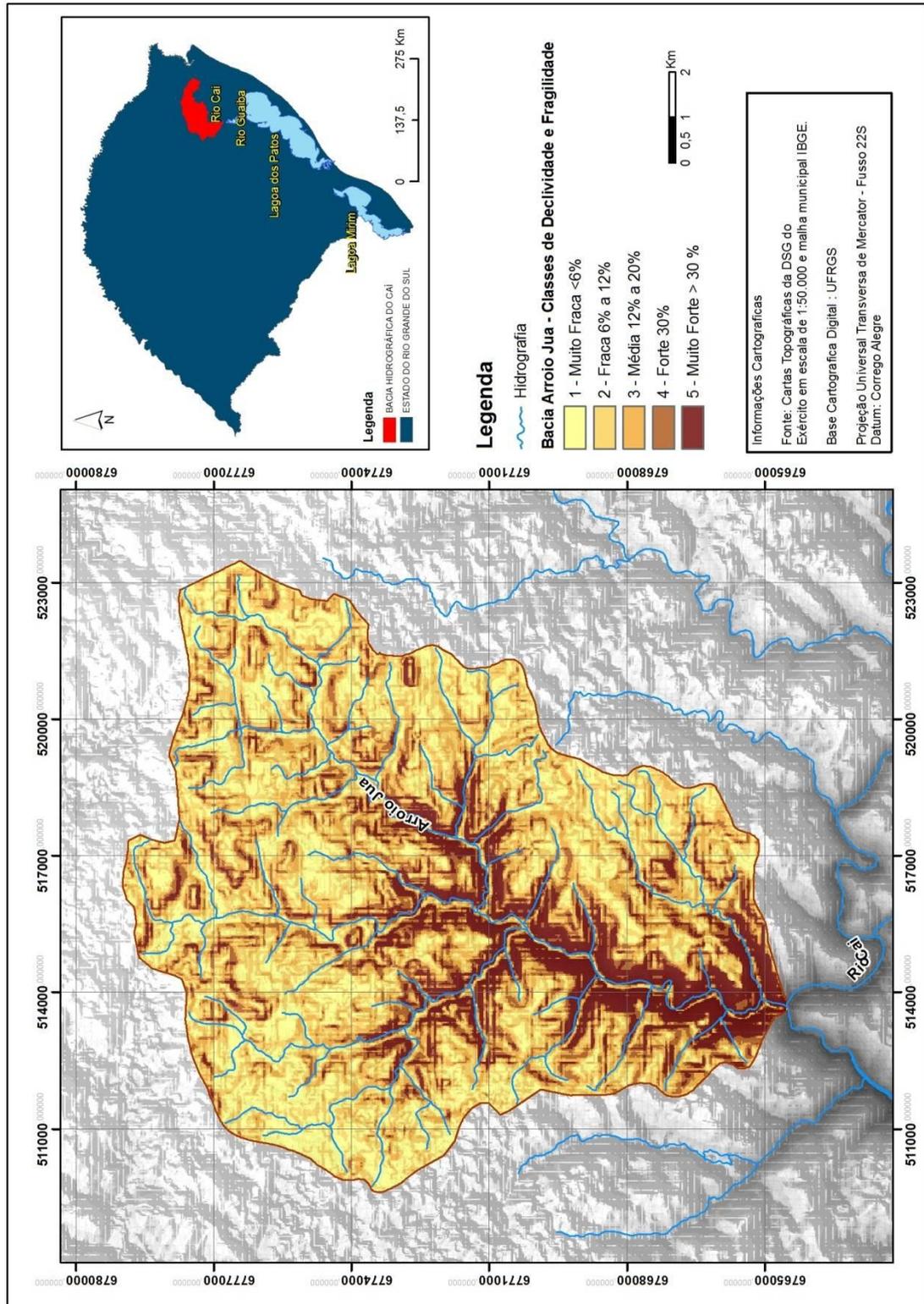
Fonte: Elaborado pelo autor Maycon P. Damasceno (2011).

Na Sub-bacia do Arroio Juá, tabela 09, observou-se que 50% da área total da bacia possui declividade abaixo de 12% situação semelhante à que foi encontrada na sub-bacia do Arroio Caracol. Outra semelhança é a concentração das áreas com maior declividade em uma porção específica das duas sub-bacias. No caso do Arroio Juá, essa declividade concentra-se ao sul da bacia.

<b>Tabela 09 - Classes de declividade e fragilidade da Sub-Bacia do Arroio Juá</b>			
<b>Classes de Fragilidade</b>	<b>Classes de Declividade (%)</b>	<b>Área na Bacia (ha)</b>	<b>(%)</b>
1 - Muito Fraca	< 6	2793,42	22
2 - Fraca	6 - 12	3444,91	28
3 - Média	12 - 20	2679,95	21
4 - Forte	20 - 30	1703,8	14
5 - Muito forte	> 30	1844,69	15
	-	12470,65	100

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

Mapa 09: Classes de declividade e fragilidade, Arroio Juá/RS.



Fonte: Elaborado pelo autor Maycon P. Damasceno (2011).

### 5.3 TIPOS DE SOLOS

Os tipos de solos encontrados na área de estudo de acordo com a classificação proposta pela Embrapa (2009) são:

Na Sub-bacia do Arroio Caracol, mapa 10, predomínio de Cambissolo Húmicos Aluminico ocupando uma área de 5886,55 Ha da bacia. Na área restante, ou seja, 633,93 ha está exposto o Neossolo Litólico. Sub-bacia do Arroio Juá: também ocorre o predomínio do Cambissolo Hístico Aluminico com 9830,36 Ha, seguido pelo Neossolo Litólico com 1994,1 Ha. Em uma pequena porção do território da bacia 192,9 ha, ainda encontramos Argissolos Vermelhos.

A área da Sub-bacia Hidrográfica do Arroio Caracol apresenta dois graus de fragilidade referentes à classificação das unidades de solo. A classe dominante de solos presentes na sub-bacia e a de fragilidade forte ocupando mais de 90% da área de estudo (tabela 10).

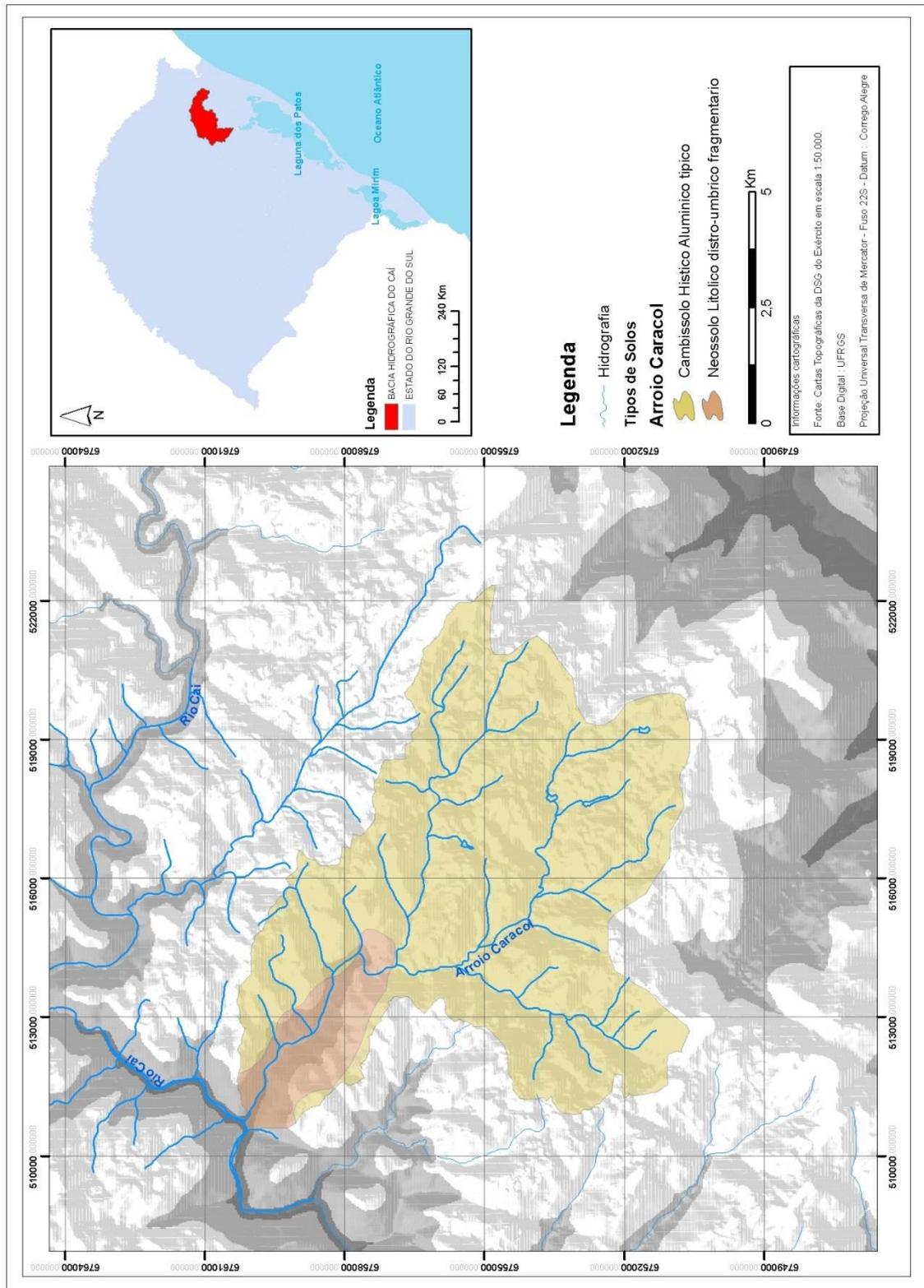
A situação não muda com relação a Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Juá, mapa 11, essas características se mantêm, a diferença esta na presença de mais uma classe fragilidade, pois apresenta o mesmo domínio de fragilidade forte com mais de 80% da área sendo representada por essa classe de fragilidade (tabela 11).

De acordo com a vulnerabilidade de cada solo frente aos processos erosivos, os mesmo foram classificados em graus diferentes de fragilidade de acordo com cada bacia e conforme tabela abaixo.

<b>Tabela 10 Tipo de Solos Bacia Hidrográfica do Arroio Caracol</b>		
<b>Grau de Fragilidade</b>	<b>Tipos de Solo</b>	<b>Peso na Fragilidade</b>
Forte	Cambissolo Hístico Aluminico	4
Muito Forte	Neossolo Lítico	5

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

Mapa 10: Tipos de Solos da Sub-Bacia do Arroio Caracol/RS.



Fonte: Elaborado pelo autor Maycon P. Damasceno (2011).

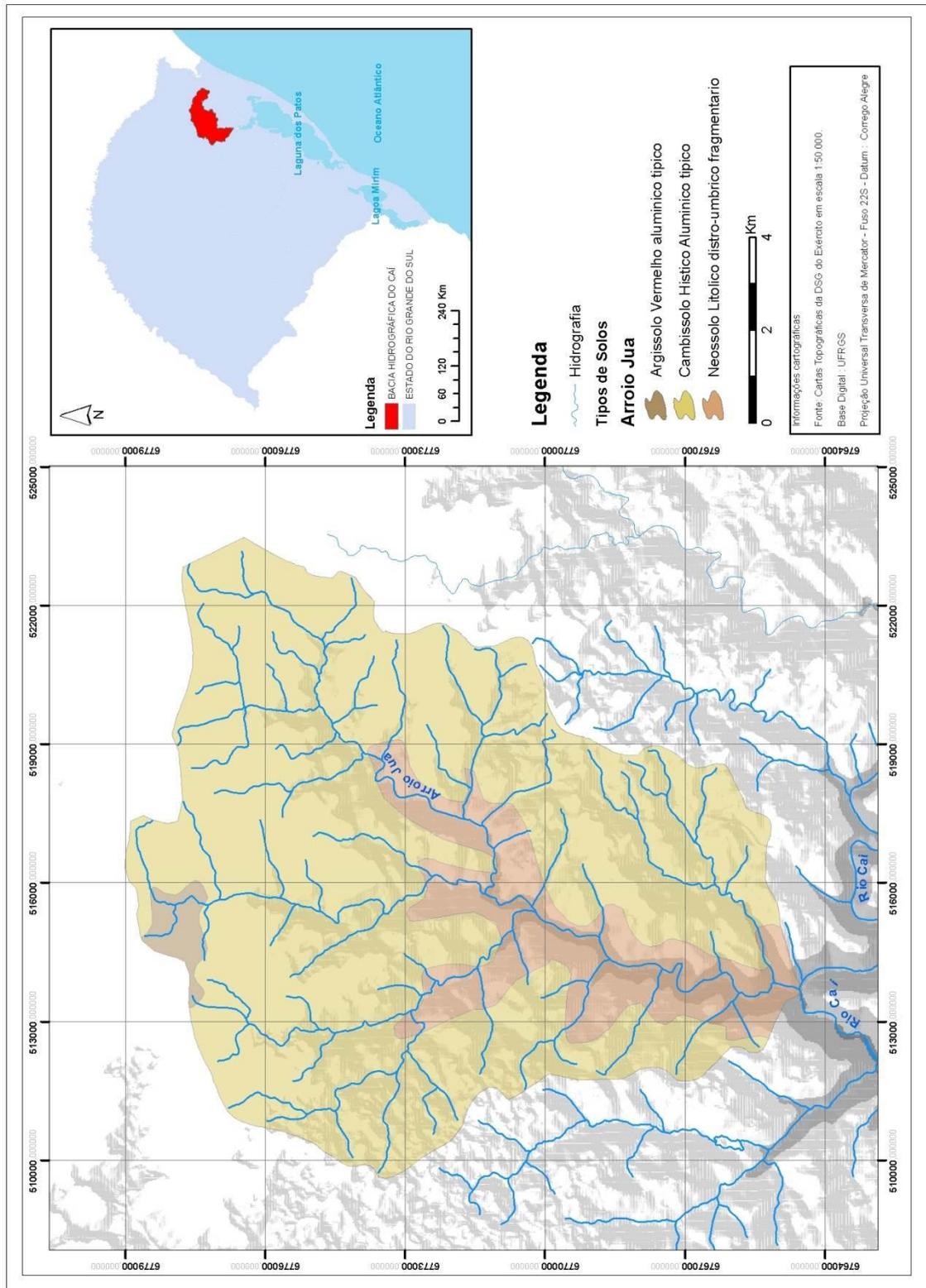
Os Neossolos Litólicos apresentam pouca profundidade efetiva para o desenvolvimento das raízes e para o armazenamento de água e, por ocorrerem em regiões de relevo forte ondulado e montanhoso, em geral com permanente e afloramentos de rochas, essas solos apresenta fortes restrições para culturas anuais. Em consequência disso, devem ser mantidos sob preservação permanente. Entretanto em áreas sobre rocha decomposta e declividade < 15 podem ser cultivados, mediante práticas extensivas de conservação (STRECK 2008).

De acordo com Streck (2008), os Cambissolos presentes na região dos Campos de Cima da Serra, em situações de maior altitude, devido às limitações climáticas (geadas tardias e baixa insolação), apresentam algumas restrições a culturas agrícolas, entre as melhores opções destacam-se a fruticultura de clima temperado (macieiras e pereiras) e silvicultura, além de pastagens. Situação essa encontrada na região da Sub-Bacia hidrográfica do Arroio Juá, A Encosta Superior do Nordeste, região onde encontramos a Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Caracol, apresenta aptidão para culturas anuais, bem como silvicultura. Devido ao relevo acidentado, forte acidez e baixa disponibilidade de nutrientes, o uso agrícola desses solos exige práticas conservacionistas intensivas.

<b>Tabela 11 Tipo de Solos Bacia Hidrográfica do Arroio Juá</b>		
<b>Grau de Fragilidade</b>	<b>Tipos de Solo</b>	<b>Peso na Fragilidade</b>
Média	Argissolo Vermelho	3
Alta	Cambissolo Hístico Aluminico	4
Muito Forte	Neossolo Lítico	5

Fonte: Adaptado de Ross (1994)

Mapa 11: Tipos de Solos da Sub-Bacia do Arroio Juá/RS.



Fonte: Elaborado pelo autor Maycon P. Damasceno (2011).

## 5.4 USO DO SOLO

Os tipos de uso e cobertura do solo foram divididos em classes conforme as seguintes classes: Vegetação Natural, Campos e Pastos, Solo Exposto, Silvicultura, Área Urbana e Cultura Agrícola. Esses usos foram classificados de acordo a fragilidade apresentada por cada bacia, classificação representada no Mapa 11 e 12.

A tabela 12 destaca as classes de uso e ocupação encontradas na sub-bacia do Arroio Caracol.

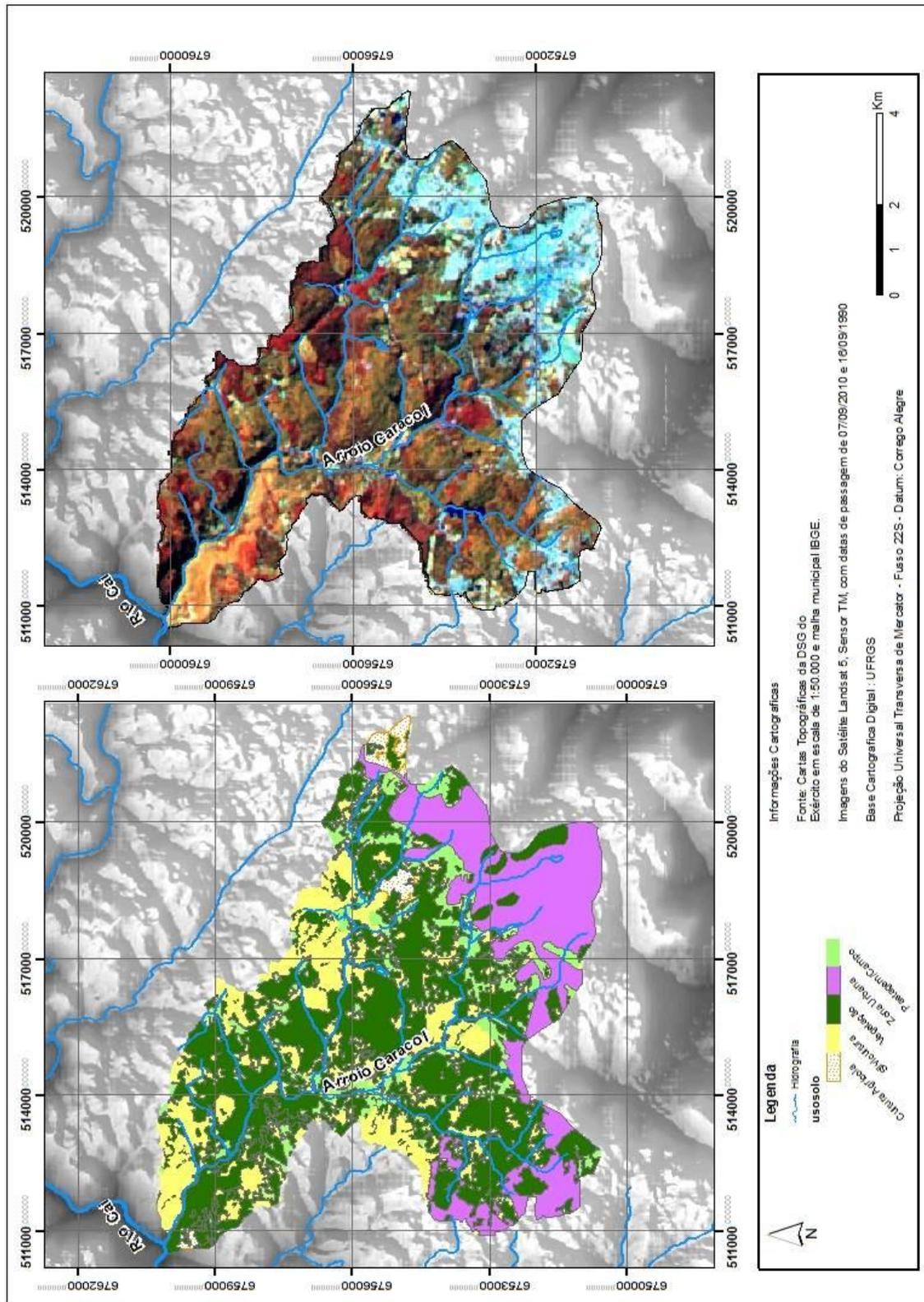
<b>Tabela 12 Classes de Uso e Ocupação do Solo da Bacia Hidrográfica do Arroio Caracol</b>			
<b>Uso do Solo</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Área (%)</b>	<b>Peso na Fragilidade</b>
Vegetação	3149,04	48	1
Silvicultura	1371,6	21	2
Pastagem/Áreas Desmatadas	645,04	10	3
Cultura Agrícola / Solo	93,32	1	4
Zona Urbana	1261,63	19	5
Total	6520,63	100	-

Fonte: Adaptado de Ross (1994)

Referente ao uso e à ocupação do solo das Sub-Bacias Hidrográficas do Arroio Juá e Caracol pode-se distingui-las através da forma de ocupação mais relevante em cada bacia. Enquanto uma se destaca pela presença de áreas ocupadas por florestas e campos a outra tem como destaque uma extensa área urbanizada.

A vegetação ocorre de maneira predominante na área de ambas, principalmente em áreas de grau mais elevado de declividade das bacias, caracterizando áreas de difícil acesso. A Silvicultura esta presente nas duas bacias, mas sua ocupação é maior na bacia do Arroio Caracol ocupando cerca de 21% da Sub-Bacia.

Mapa 12: Uso e Ocupação do Solo da Sub-Bacia do Arroio Caracol/RS.



Fonte: Elaborado pelo autor Maycon P. Damasceno (2011).

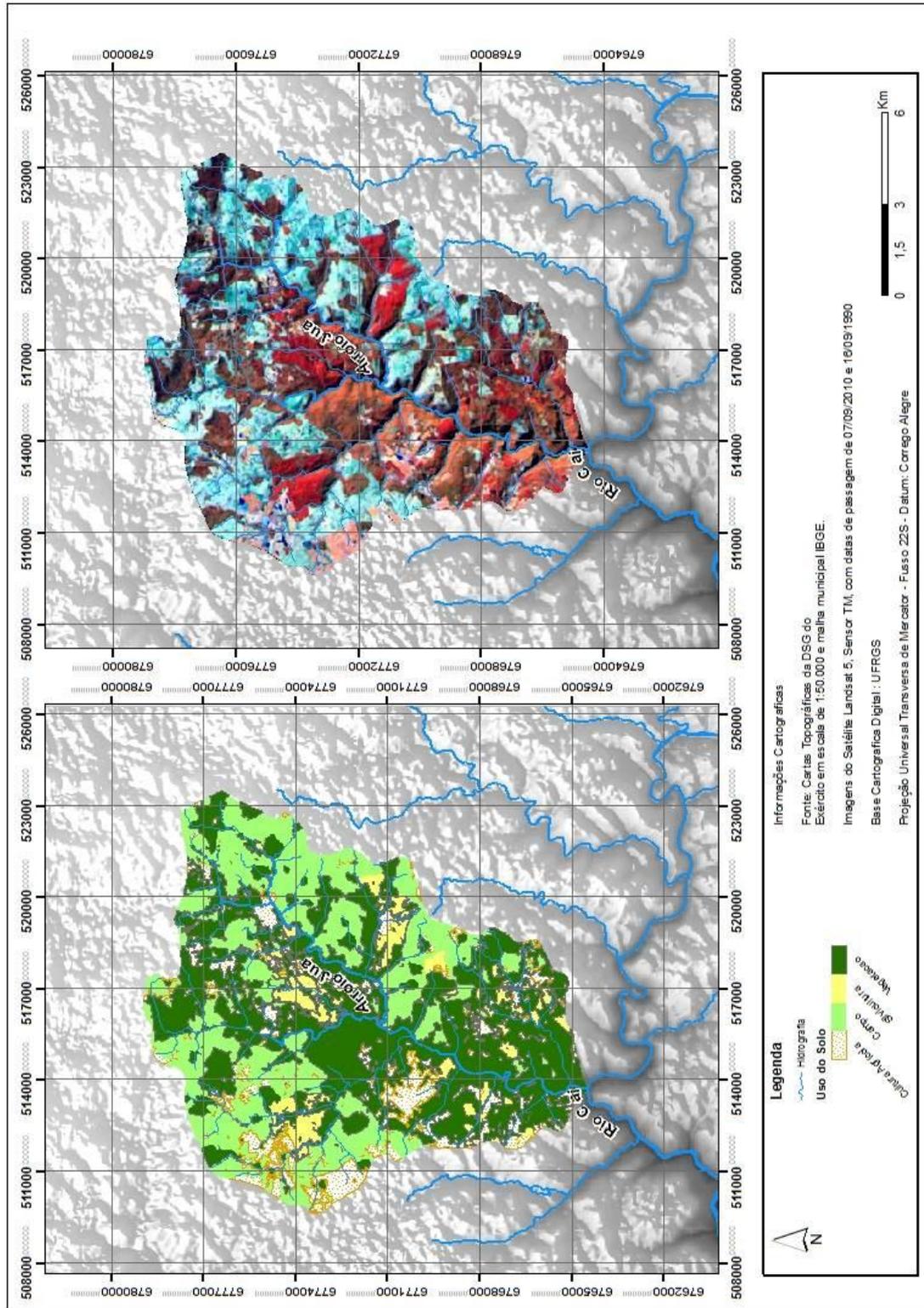
Com relação a ocupação do solo com uso agrícola, a bacia do Arroio Juá apresenta um percentual maior, cerca de 11% , grande parte localizada nas bordas da bacia em altitudes mais elevadas e regiões mais planas, caracterizando cultivos e criações variadas.

Na tabela 13 destacam-se as classes de uso e ocupação encontradas na sub-bacia do Arroio Juá.

<b>Tabela 13 Classes de Uso e Ocupação do Solo da Bacia Hidrográfica do Arroio Juá</b>			
<b>Uso do Solo</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Área (%)</b>	<b>Peso na Fragilidade</b>
Vegetação Natural	6074,73	49	1
Silvicultura	913,99	7	2
Campo	4082,78	33	3
Áreas Agrícolas/Solo Exposto	1399,15	11	4

Fonte: Adaptado de Ross (1994)

Mapa 13: Uso e Ocupação do Solo da Sub-Bacia do Arroio Juá/RS.



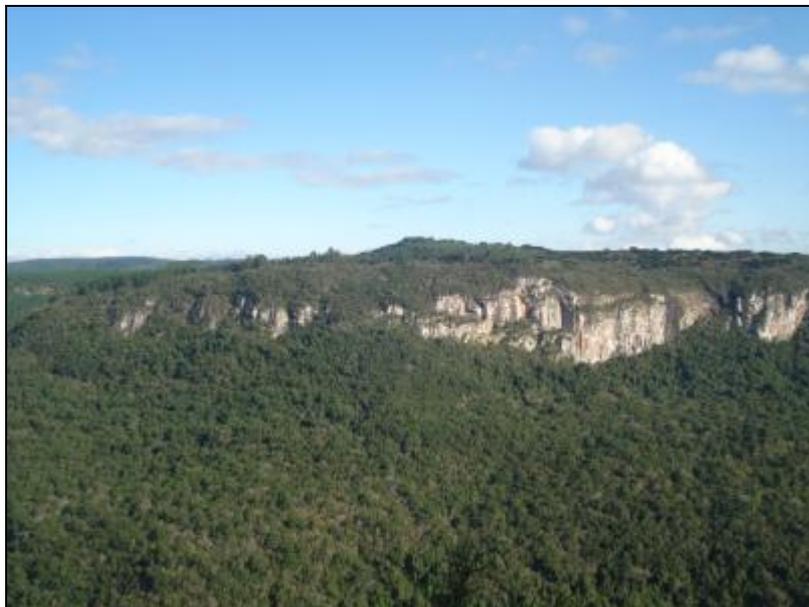
Fonte: Elaborado pelo autor Maycon P. Damasceno (2011).

#### 5.4.1 Vegetação Natural

Foram analisadas nesta classe as formações florestais naturais de porte arbóreo característicos da região, como a Floresta Ombrófila Mista e Floresta Estacional Decidual, foto 08, além das formações mistas com a presença de bosques cobertos de *Araucária Angustifólia*.

Qual apresenta um alto grau de proteção aos solos, pois a formação de um dossel contínuo e a presença de extratos arbóreos inferiores, além de uma camada de matéria orgânica muito expressiva, diminuem a condição erosiva. Conforme as tabelas anteriores, esta categoria é a mais representativa em ambas as bacias, pois aparecem com mais de 45% de ocupação do solo.

Foto 08: Porção Norte da Sub-bacia do Caracol, área correspondente a classe de vegetação natural.



Fonte: Autor Maycon P. Damasceno (2010).

#### 5.4.2 Silvicultura

Essa classe é representada pelas formações florestais plantadas, das quais predominam as espécies *Pinus sp.* e *Eucalyptus sp.* (foto 09).

Foto 09: Plantio de *Pinos sp.* na Sub-Bacia do Arroio Caracol.



Fonte: Autor Maycon P. Damasceno (2010).

Essa formação apresenta uma proteção inferior em relação à classe de vegetação natural, mas devido a sua homogeneidade e um importante acúmulo de matéria orgânica essa classe apresenta um grau de proteção elevado. Há, no entanto um forte componente de contaminação do solo pelo acúmulo das acículas.

#### 5.4.3 Campos Naturais, Pastagem e Áreas desmatadas.

Nessa classe ocorre a presença de vegetação rasteira natural constituindo os campos, foto 10. Essas áreas são destinadas a pastoreio de gado ou mesmo áreas denominadas de campos sujos oriundas de lavouras abandonadas.

A proteção que esta classe apresenta é baixa em relação às classes anteriores, mas devido ao fato dessas áreas apresentarem um uso com nenhuma interferência direta no solo, como sua remoção ou utilização, e ainda apresentarem em determinados locais a presença de indivíduos arbóreos esparsos, esta classe possui um grau de proteção maior que as áreas com culturas agrícolas.

Foto 10: Campos Naturais na sub-bacia do Arroio Juá/RS.



Fonte: Autor Maycon P. Damasceno (2010).

#### 5.4.4 Cultura Agrícola e Solo Exposto

Esta classe apresenta áreas destinadas à agricultura familiar características de pequenas propriedades com finalidade de subsistência e/ou comércio local, sendo cultivado principalmente frutas e hortaliças. A classe solo exposto aparece de maneira conjunta com a cultura agrícola, tendo em vista que durante um determinado período do ano, o preparo para plantio, apresenta pouca proteção do solo (foto 11).

Fotos 11: Áreas utilizadas para agricultura na sub-bacia do Caracol e Juá/RS.



Autor Maycon P. Damasceno (2010).

#### 5.4.5 Áreas Urbanas

Foram consideradas nesta categoria as áreas correspondentes à ocupação urbana. Normalmente são áreas que correspondem às sedes dos municípios das áreas de estudo. No caso da bacia do Arroio Juá essa classe não foi definida, pois foi somente identificado na região a presença da vila que leva o nome do Arroio. Como não existe um aglomerado urbano significativo nesta bacia esse uso não foi relacionado.

Situação bem diferente foi encontrada na bacia do Arroio Caracol que tem suas nascentes localizadas em um ambiente fortemente urbanizado com a presença da cidade de Canela.

Como as áreas urbanas são interligadas por várias vias e ruas, ocorre uma diminuição da infiltração da água da chuva o que resulta em um maior escoamento superficial e transporte de sedimentos. Portanto pode-se esperar que o grau de proteção do solo nestes locais seja baixo. No caso desta pesquisa, esta classe apresenta o grau de proteção mais baixo entre as demais classes de uso do solo da bacia.

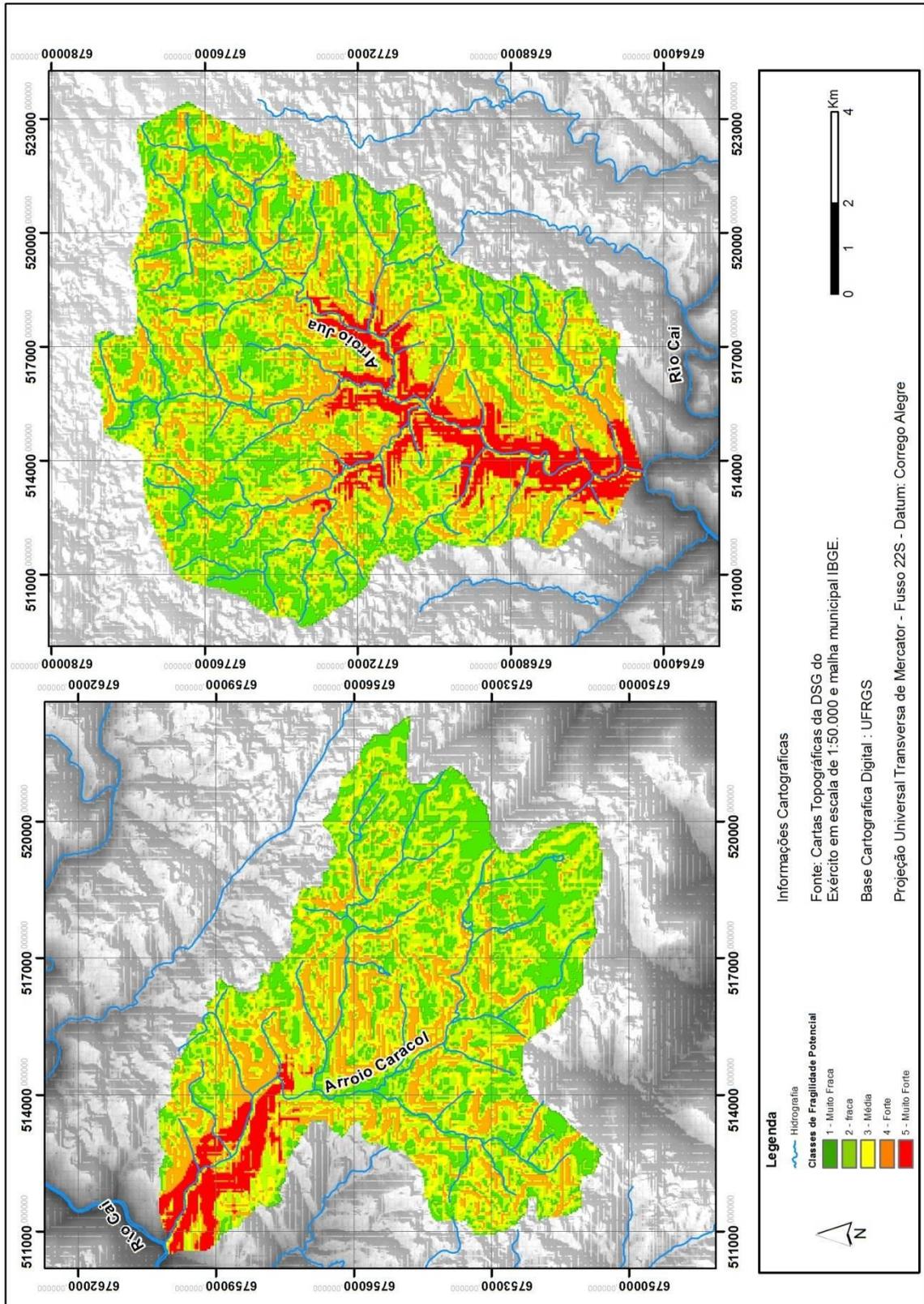
## 5.5 FRAGILIDADE POTENCIAL

A fragilidade potencial foi determinada a partir da relação entre as informações da declividade e as unidades de solo das duas sub-bacias.

Para a elaboração do mapa de fragilidade potencial da área de estudo, as classes foram hierarquizadas em cinco diferentes níveis que são: fragilidade muito fraca, fraca, média, alta e muito alta, conforme a Tabela 14 e 15 que mostram a quantificação das áreas de fragilidade de cada bacia.

No mapa 14, pode-se observar que a fragilidade manteve-se integralmente muito forte nas áreas de declividade superior a 30% nas duas Sub-Bacias. Fica claro também o predomínio da classe de muito fraca e fraca fragilidade potencial, isso ocorre devido aos níveis baixos de declividade (0-12%).

Mapa 14: Classes de Fragilidade Potencial da Sub-Bacia do Arroio Caracol e Juá.



Fonte: Elaborado pelo autor Maycon P. Damasceno (2011).

Quanto à Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Juá, a classe de fragilidade potencial com maior representatividade é a denominada **muito fraca** e **fraca** fragilidade, as duas ocupando 50% da área total, estando distribuída por toda bacia. Os solos presentes nessas classes são Cambissolos e os Argissolos, com um gradiente de declividade que atingem no máximo 12%.

A classe de fragilidade **média** representa 21% da área da Sub-Bacia, esta associada a presença de Cambissolos e uma declividade média entre 12% e 20% .

<b>Tabela 14 – Áreas correspondentes a Fragilidade Potencial da Bacia Hidrográfica do Arroio Jua</b>		
<b>Classes de Fragilidade</b>	<b>Área na Bacia (ha)</b>	<b>(%)</b>
1 - Muito Fraca	2764,6	22
2 - Fraca	3474,49	28
3 - Média	2611,45	21
4 - Forte	2511,1	20
5 - Muito Forte	1087,12	9

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

Nas áreas de maior declividade, acima de 30%, que estão concentradas ao sul da Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Juá, vinculadas os Neossolos fazem com que esta classe seja caracterizada como de **Forte a Muito Forte** representando juntas 29% da área.

Quanto à fragilidade potencial da Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Caracol, esta tem na classe de fragilidade, **Muito Fraca a Fraca e Média** como a de a maior representatividade da Sub-Bacia, com cerca de 77% da área total. Essas classes estão associadas a áreas com declividade entre 6% e 20%.

<b>Tabela 15 – Áreas correspondentes a Fragilidade Potencial da Bacia Hidrográfica do Arroio Caracol</b>		
<b>Classes de Fragilidade</b>	<b>Área na Bacia (ha)</b>	<b>(%)</b>
1 - Muito Fraca	1635,53	25%
2 - Fraca	1946,87	30%
3 - Média	1400,26	22%
4 - Forte	1185,27	18%
5 - Muito Forte	325,82	5%

Fonte: Adaptado de Ross (1994)

Nas áreas com declividade, acima de 30%, que estão concentradas ao noroeste da Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Caracol, vinculadas os Neossolos fazem com que esta classe seja caracterizada como de **Forte a Muito Forte Fragilidade**, representando juntas 23% da área total.

## 5.6 FRAGILIDADE EMERGENTE

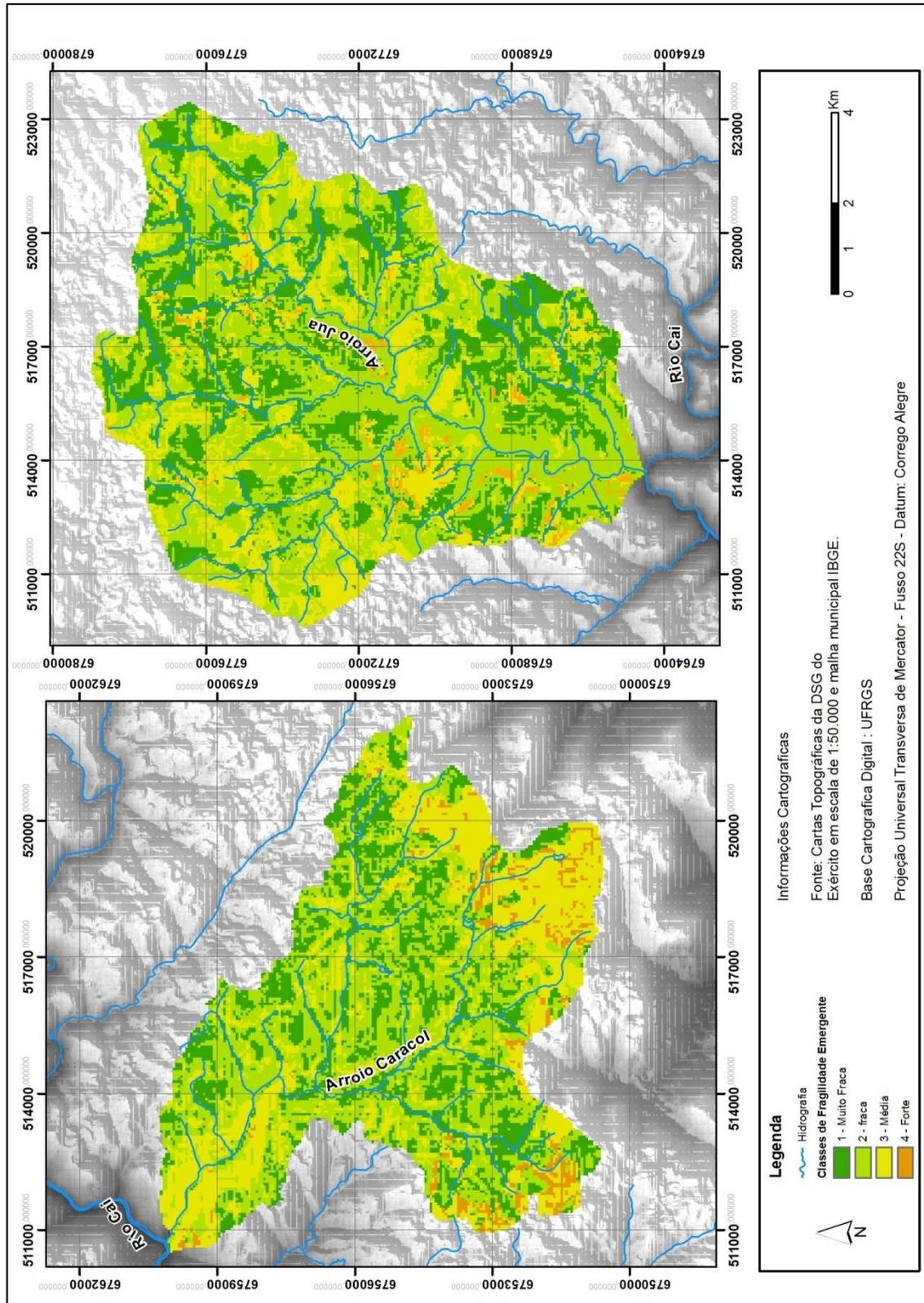
Para análise da fragilidade emergente das Bacias Hidrográficas dos Arroios Caracol e Juá, mapa 15, além de analisarmos os elementos constantes na fragilidade potencial como tipo de solo e declividade, acrescenta-se nesta análise o elemento humano. Que se caracteriza pela forma que o homem utiliza o solo, mas principalmente a influencia que o mesmo exerce sobre o meio natural e as consequências desta interferência (PADINHA, 2008).

A tabela 16 apresenta as classes de fragilidade ambiental emergente da Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Caracol, onde a classe mais representativa é a de fragilidade Fraca, presente em 41% da área total da Bacia.

Tabela 16 – Áreas correspondentes a Fragilidade Emergente da Bacia Hidrográfica do Arroio Caracol		
Classes de Fragilidade	Área na Bacia (ha)	(%)
1 - Muito Fraca	1666,1	26%
2 - Fraca	2671,75	41%
3 - Média	1876,86	29%
4 - Forte	256,42	4%

Fonte: Adaptado de Ross (1994)

Mapa 15: Classes de Fragilidade Emergente da Sub-Bacia do Arroio Caracol e Juá.



Fonte: Elaborado pelo autor Maycon P. Damasceno (2011).

A situação se repete ao observamos a tabela 17, que demonstra a distribuição das classes de fragilidade Emergente na Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Juá. A classe que se destaca é de fragilidade fraca com 48% do território da bacia.

A classe de fragilidade muito fraca ocupa boa parte da área das duas sub-bacias. O uso do solo nessas classes é formado em sua maioria por florestas naturais, campos e florestas plantadas (silvicultura), como essa classe ocupa boa parte do território duas Sub-Bacias, elas possuem todos os tipos de solos identificados.

A Classe determinada como média fragilidade emergente destaca-se como sendo a segunda mais representativa na Sub-Bacia do Arroio Caracol com 29% da área total, sendo o uso e cobertura composto principalmente pela ocupação urbana. Proporcionando assim um grau maior de fragilidade ambiental, devido às alterações no ambiente físico-natural como a retirada da cobertura vegetal e a substituição por áreas construídas que introduz novas formas ao relevo.

<b>Tabela 17 – Áreas correspondentes a Fragilidade Emergente da Bacia Hidrográfica do Arroio Juá</b>		
<b>Classes de Fragilidade</b>	<b>Área na Bacia (ha)</b>	<b>(%)</b>
1 - Muito Fraca	3593,14	29%
2 - Fraca	5922,56	48%
3 - Média	2690,96	22%
4 - Forte	239,57	2%

Fonte: Adaptado de Ross (1994)

Na Sub-Bacia do Arroio Juá, a classe de média fragilidade também ganha destaque, ocupando 22% da bacia. O que caracteriza a diferença entre as duas Sub-Bacias esta no uso do solo. A ocupação do solo por áreas destinadas a agricultura somadas a áreas em pousio ganham destaque na bacia.

É possível perceber que as classes de fragilidade potencial sofreram alterações em função do grau de proteção atribuído com o uso da terra e da cobertura vegetal. A atividade agrícola e o uso urbano acentuado também

contribuirão para a passagem da posição da carta da fragilidade potencial para na carta de fragilidade emergente.

As áreas de média fragilidade ambiental, não por coincidência, são as áreas preferências às atividades agrícolas e ocupações urbanas, nas Sub-Bacia hidrográficas do Arroio Caracol e Juá, já que tem bons solos para o plantio devido a sua ocupação nas vertentes, e por apresentarem declividades moderadas. Esse fato remete estas áreas a uma maior preocupação com o planejamento de uso e ocupação.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa propôs desenvolver uma análise partindo da abordagem integrada dos sistemas naturais estabelecidos nas Sub-Bacias Hidrográficas dos Arroios Caracol e Juá. Nesse sentido, a pesquisa por meio do uso da cartografia, obteve o diagnóstico da fragilidade ambiental da área de estudo.

A articulação entre levantamento de informações, o trabalho de campo e o mapeamento das formas de uso do solo das Sub-Bacias Hidrográficas dos Arroios Caracol e Juá, permitiu entender a dinâmica das ações antrópicas na área de estudo.

Foram identificadas sete classes de uso do solo, com o predomínio da classe de vegetação nativa, seguida dos campos e pastagens, o que afirma que a região ainda detém uma qualidade ambiental alta, levando em conta a predominância da paisagem pela vegetação nativa e campos sulinos.

No interior da Sub-Bacia do Arroio Caracol verificaram-se a predomínio de florestas nativas, fundamentais para manter o equilíbrio ecológico na região, e também uma grande quantidade de plantio de árvores exóticas (*pinus e eucalipto*). Apesar dessa aparente preservação dos recursos naturais, a existência de uma forte ocupação humana estabelecida pela cidade de Canela em seu território, tornou-se responsável por gerar os conflitos ambientais nessa Sub-Bacia.

Por outro lado na Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Juá, que também possui o predomínio da vegetação nativa, os campos ganham destaque na paisagem da região, o que potencializa a região para o desenvolvimento de atividades agrícolas e agropecuárias.

A análise das formas de uso e cobertura do solo combinada com a identificação dos tipos de solos e declividades de cada Sub-Bacia permitiu entender e compreender as áreas de estudo, possibilitando a identificação de atuais e futuros conflitos ambientais a partir das transformações expressas na paisagem.

Os usos conflitantes identificados na área de estudo as Sub-Bacias Hidrográficas dos Arroios Caracol e Juá foram a presença de um forte núcleo urbano; silvicultura fortemente estabelecida em toda região; e a presença de atividades agrícolas. A presença da área urbana estabelecida na Sub-Bacia do Arroio Caracol é a principal diferença existente entre as duas Sub-Bacias Hidrográficas analisadas. Podemos afirmar após o determino desta pesquisa que a presença de ocupações urbanas, nas vertentes da Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Caracol é uma fragilidade importante identificada na bacia. A situação encontrada hoje ainda pode ser considerada moderada, mas fica evidente a importância de planejamento urbano na região a fim de coibir a expansão desorganizada da cidade. Fica clara que medidas de controle devem ser tomadas pelas autoridades a fim de evitar um agravamento do quadro.

Esse quadro muda de maneira radical, quando tratarmos da Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Juá, no interior da bacia foi encontrado pequenos núcleos populacionais que interferem pouco na paisagem. A região se mantém com índices baixos de fragilidade, o fato de possuir algumas propriedades rurais identifica pontos com uma fragilidade considerada média. No entanto fica o alerta para a crescente expansão da silvicultura na região em especial com plantios *Pinos sp.* espécie que tem como característica principal a sua proliferação rápida.

O sistema de diagnóstico ambiental abordado pela pesquisa se mostrou aparentemente eficaz em apontar áreas potencialmente frágeis do ponto de vista ambiental, podendo ser aplicada em diferentes escalas e com outros fatores ambientais.

Diante do aumento do uso dos recursos naturais fica cada vez mais evidente a necessidade do planejamento ambiental. Diante disso, esta pesquisa mostrou-se como um importante material capaz de auxiliar o planejamento na unidade da bacia hidrográfica. A análise da qualidade ambiental através do uso de software de geoprocessamento e sensoriamento remoto utilizados como uma ferramenta podem ser determinantes no auxílio do gerenciamento das bacias por parte das autoridades.

Os resultados obtidos por esta pesquisa levaram em conta os dados obtidos em um período específico em que ela foi realizada. Desse modo o intuito é que, por meio de atualizações, considerando principalmente o uso do solo, e adotado a metodologia sugerida, possam ser realizados novos levantamento da fragilidade ambiental em outros períodos.

## REFERÊNCIAS

ATLAS EÓLICO: Rio Grande do Sul / elaborado por Odilon A. Camargo...[et al.] e editado pela Secretaria de Energia Minas e Comunicações. Porto Alegre: SEMC, 2002. 70p.

ASTER, G.: <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp> Acesso em fevereiro de 2011.

BARRELLA, W. et al. As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001. 2ª Ed.

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

BOTELHO, R. G. M. Planejamento Ambiental em Microbacias Hidrográfica. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. e BOTELHO, R. G. M (org). **Erosão e Conservação dos solos – Conceitos e Temas e Aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. 270-300 p.

BRUCH, A. **Análise sócio-ambiental da sub-bacia hidrográfica do Arroio João Dias, Minas do Camaquã/RS**. Porto Alegre: UFRGS/PPGEA, 2009. 172f.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S.; "**Princípios Básicos do Geoprocessamento**". In : Assad, E.; Sano, E.E.(eds.), *Sistema de Informações Geográficas. Aplicações na Agricultura*. Brasília, DF, EMBRAPA., 1998 (2a. edição, revista e ampliada).

CAMARGO, A. Odilon; Secretaria de Energia, Minas E Comunicação – SEMC, "**ATLAS EÓLICO DO RS**", 2004.

CASSETI, V. **Ambiente e Apropriação do Relevo**. São Paulo: Contexto, 1991.

CHRISTOFOLETTI. A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

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

COELHO, M.C.N. **Impactos ambientais urbanos no Brasil**. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, Baptista da Cunha (org). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. 3. Ed. 416p.

COMITECAÍ, **Plano de Bacia – Bacia Hidrográfica do Rio Caí**. Relatório Temático A1 – Dinâmica Social. Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Caí, Porto Alegre, 2007. Disponível em: <<http://www.comitecai.com.br/plano/download.html>>.

COMITECAÍ, **Plano de Bacia – Bacia Hidrográfica do Rio Caí**. Relatório Temático A2 – Disponibilidade Hídrica. Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Caí, Porto Alegre, 2007. Disponível em: <<http://www.comitecai.com.br/plano/download.html>>.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Monitoramento por Satélite**. Disponível em <<http://www.cnpm.embrapa.br/>>. Acesso em: Maio. de 2011.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, 1999. 412p.

EMBRAPA, CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos** – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SP, 2009.

ENGESAT. ; Disponível em: < <http://www.engesat.com.br/precos/> >. Acesso em: 11 set. 2011.

FELGUEIRAS, C.A; CÂMARA, G. 2004. Modelagem Numérica do Terreno, In Introdução à ciência da Geoinformação (ed) INPE, São José dos Campos – SP.

FITZ, P.R. **Geoprocessamento Sem Complicação** / Paulo Roberto Fitz. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FRANCO, M. **Planejamento Ambiental Para Cidade Sustentável**. São Paulo: Annablume FAPESP, 2001.

FLORENZANO, T. **Imagens de Satélite para Estudos Ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

FLORENZANO, T. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**(org). São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Impactos Ambientais Urbanos no Brasil. Vol. 1**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. 416p.

HOLZ, M. **Do mar ao Deserto**: a evolução do Rio Grande do Sul no tempo geológico. Porto Alegre, RS: Ed. Universidade/UFRGS, 1999. 142p.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <http://www.ibge.gov.com.br>. Acesso em 15 de abril de 2011.

INPE, INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/>

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres** / John R. Jensen; tradução José Carlos Neves Epiphânio. – São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

KLEINPAUL, J.J. Análise multitemporal da cobertura florestal da microbacia do arroio grande, Santa Maria, RS. 2005. 80f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). UFSM-RG. Santa Maria, 2005.

KÖEPPEN, W. **Climatologia**: con um estúdio de los climas de la tierra. México: fondo de Cultura Economica, 1948. 478p.

LIBAULT, A. **Os Quatro Níveis da Pesquisa Geográfica. Métodos em Questão**. São Paulo: IGEO/USP, 1971.

LIMA, W.P.; ZAKIA M.J.B. Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES; R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000.p.33-43.

MENDONÇA, F. **Geografia e Meio Ambiente**. São Paulo: Contexto, 2007. 8ª Ed.

MENDONÇA, F. **Geografia Física: Ciência Humana?** São Paulo: Contexto, 2001. 7ª Ed.

MORAES, V. **Uso do Solo e Conservação Ambiental no Parque Nacional da Lagoa do Peixe e Entorno (RS)**. / Vanessa Lugin Moraes. – Porto Alegre: UFRGS/PPGEA, 2009.

MOREIRA, I. A. G. **Espaço e sociedade no Rio Grande do Sul**. 2 ed. Porto Alegre: Mercado Aberto, 1986.109p.

NEIMAN, Z. **Era Verde? Ecossistemas Brasileiros Ameaçados**. 23.ed, São Paulo: 1989. 103p.

PADINHA, D. G. **Geoprocessamento Aplicado Na Caracterização da Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande, RS**. Dissertação de Mestrado. UFSM, 2008. 86 p.

RAMBO, B. **A fisionomia do Rio Grande do Sul**; 2ed; Selbach; Porto Alegre; 1994.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento Tecnologia Transdisciplinar**. Juiz de Fora-MG: Ed. do Autor, 2002. 220p.

RODRIGUES, T. L. **Avaliação da Adequação dos Produtos Aster Gdem no Auxílio ao Mapeamento Sistemático Brasileiro**. Curitiba: UFPR 2010.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. São Paulo : Contexto, 2008. 8. Ed 2º Ed - reimpressão.

ROSS, J. L. S. (org.). **Geografia do Brasil**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005. 5ª. Ed. rev.

ROSS, J L. S. **Geomorfologia Ambiental**. In: Geomorfologia do Brasil. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1998.

ROSS, J L. S. **Análise Empírica Da Fragilidade De Ambiente Naturais Antropizados**. In: Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, FFLCH-USP, nº8, 1994.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: Teoria E Prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SANTOS, M. **A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo, Razão e Emoção**. São Paulo: HUCITEC, 1997, 2ª Ed.

SEMA, Disponível em <http://www.sema.gov.br>. Acesso em 04 de Novembro de 2010.

SILVA, J. X. **Geoprocessamento para na análise ambiental**. Rio de Janeiro: J. Xavier da Silva, 2001.

SPÖRL, C; ROSS, J.L.S. **Análise Comparativa da Fragilidade Ambiental com Aplicação de Três Modelos**. In: GEOUSP – Espaço e Tempo, n.15, 2004, São Paulo. P.39-49.

SPÖRL, Christiane. **Análise da Fragilidade Ambiental Relevo-Solo com Aplicação de Três Modelos Alternativos nas Altas Bacias do Rio Jaguari-Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata**. Dissertação de Mestrado. São Paulo: FFLCH – USP, 2001.

STRECK, E. V., (Coord), **Solos do Rio Grande do Sul**. 2º. ed. EMATER/RS, Porto Alegre, 2008.

SUERTEGARAY, D. M. A. Espaço Geográfico Uno e Múltiplo. In Suertegaray. D.M.A.; BASSO. L.A. e VERDUM, R.(org). **Ambiente e lugar no urbano - A Grande Porto Alegre**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2000.

TRICART, J. **“Ecodinâmica”**. FIBGE/Supren. Rio de Janeiro, 1977.

VALE DOS VINHEDOS: **Caracterização Geográfica da Região**. Caxias do Sul: EDUCS, 1999. 144p.