

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
COLÉGIO POLITÉCNICO DA UFSM  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOMÁTICA

Roberta Aparecida Fantinel

**SUSCEPTIBILIDADE À OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÕES NO MUNICÍPIO DE  
DONA FRANCISCA – RS: USO DE MÉDIA PONDERADA E  
GEOPROCESSAMENTO PARA ANÁLISE AMBIENTAL**

Santa Maria, RS  
2018

**Roberta Aparecida Fantinel**

**SUSCEPTIBILIDADE À OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÕES NO MUNICÍPIO DE  
DONA FRANCISCA – RS: USO DE MÉDIA PONDERADA E  
GEOPROCESSAMENTO PARA ANÁLISE AMBIENTAL**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Geomática da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Especialista em Geomática**.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Caroline Paim Benedetti

Santa Maria, RS  
2018

**Roberta Aparecida Fantinel**

**SUSCEPTIBILIDADE À OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÕES NO MUNICÍPIO DE  
DONA FRANCISCA – RS: USO DE MÉDIA PONDERADA E  
GEOPROCESSAMENTO PARA ANÁLISE AMBIENTAL**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Geomática da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Especialista em Geomática**.

**Aprovado em 18 de outubro de 2018:**



**Ana Caroline Paim Benedetti, Dra. (UFSM)**  
(Presidente/Orientadora)



**Claire Delfini Viana Cardoso, Dra. (UFSM)**



**Fernanda Dias dos Santos, Msc. (UFSM)**

Santa Maria, RS  
2018

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais, minha irmã e ao meu namorado, que sempre me apoiaram nas minhas decisões, que me deram coragem a não desanimar na busca da concretização de meus ideais e por tudo o que me proporcionaram e continuam a proporcionar.

A minha orientadora Ana Caroline Paim Benedetti, por ser essa pessoa admirável não só no âmbito profissional, mas no pessoal também. Obrigada pelas orientações, atenção e contribuições concedidas no desenvolvimento deste trabalho, e pela confiança creditada a mim.

Aos membros da banca avaliadora, professora Claire Delfini Viana Cardoso e Fernanda Dias dos Santos.

A Universidade Federal de Santa Maria, por conceder a oportunidade de prosseguir meus estudos e aprimorar meus conhecimentos.

Obrigada.

[...] a vida passa rápido demais e [...] o bem maior que temos é o milagre de estar vivos, que por ser um fato cotidiano não recebe o devido valor, mas temos o direito de sermos felizes nesta vida, não sei se existe outra [...]

(MUJICA, 2017)

## RESUMO

### SUSCEPTIBILIDADE À OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÕES NO MUNICÍPIO DE DONA FRANCISCA – RS: USO DE MÉDIA PONDERADA E GEOPROCESSAMENTO PARA ANÁLISE AMBIENTAL

AUTORA: Roberta Aparecida Fantinel

ORIENTADORA: Ana Caroline Paim Benedetti

Este trabalho objetivou identificar as áreas suscetíveis à ocorrência de inundação no município de Dona Francisca – RS, a partir da análise ambiental e de técnicas de Geoprocessamento. Para o mapeamento do uso e cobertura do solo, foi utilizado o software SPRING versão 5.2.7. Com relação às variáveis, geologia, geomorfologia, tipologia de solo, declividade e hidrografia utilizou-se o software Quantum GIS (QGIS) versão 2.14.3; enquanto para a análise ambiental de áreas suscetíveis às inundações utilizou-se o software Vista SAGA 2007. No software Vista SAGA atribuiu-se os pesos (100%) e as notas de 1 (baixíssima susceptibilidade) a 10 (altíssima susceptibilidade) às diferentes classes dos mapas temáticos; posteriormente executou-se o cruzamento dos mapas temáticos utilizando o algoritmo de média ponderada. Os resultados apresentados demonstraram que as áreas de altíssima e alta susceptibilidade à ocorrência de inundações estão localizadas na região oeste e sul do município; associados às declividades de 0 a 8% (relevo plano e suavemente ondulado), solos Planossolos Háplicos Eutróficos, com feições geomorfológicas Planície alúvio-coluvionar e Depressão do Rio Jacuí. Nestas áreas ainda destaca-se a zona urbana e as atividades agrícolas como o cultivo do arroz, que é bastante expressivo nas áreas de planície. Quanto às áreas de média, baixa e baixíssima susceptibilidade, estas tiveram maior representatividade na área do estudo, estando localizadas na região central, leste e norte. Nestas áreas as declividades encontradas foram de 8% a >45% (relevo ondulado a montanhoso), as tipologias de solos destacaram-se o Planossolos Háplicos Eutróficos e Neossolo Litólicos Eutróficos. Quanto à geomorfologia e geologia evidenciou-se o Planalto dos Campos Gerais, Serra Geral e a fácies Gramado e formação Botucatu respectivamente. O uso de geotecnologias permitiu a avaliação ambiental dos dados obtidos por diferentes mapas temáticos, o que possibilitou ter uma visão integrada desses aspectos de grande relevância para a análise e mapeamento das áreas suscetíveis a inundação.

**Palavras-chave:** Análise Geo-ambiental. Geotecnologias. Software Vista SAGA.

## ABSTRACT

### SUSCEPTIBILITY OF FLOOD OCCURRENCE IN THE MUNICIPALITY OF DONA FRANCISCA - RS: USE OF WEIGHTED AVERAGE AND GEOPROCESSMENT FOR ENVIRONMENTAL ANALYSIS

AUTHOR: Roberta Aparecida Fantinel

ADVISOR: Ana Caroline Paim Benedetti

This work aimed to identify the areas susceptible to the occurrence of flooding in the municipality of Dona Francisca - RS, based on environmental analysis and Geoprocessing techniques. For the mapping of soil use and cover, SPRING software version 5.2.7. Regarding the variables, geology, geomorphology, soil typology, slope and hydrography, the software Quantum GIS (QGIS) version 2.14.3 was used; while for the environmental analysis of areas susceptible to flooding, the Vista SAGA 2007 software was used. In the Vista SAGA software, the weights (100%) and the scores of 1 (very low susceptibility) were assigned to 10 (very high susceptibility) to the different classes of thematic maps; the thematic maps were then crossed using the weighted average algorithm. The results showed that the areas of very high and high susceptibility to flood occurrence are located in the western and southern regions of the municipality; associated with the slopes of 0 to 8% (flat and gently undulating relief), soils Eutrophic Plasters, with geomorphological features Aluvio-coluviar Plain and Jacuí River Depression. In these areas the urban zone and agricultural activities such as the cultivation of rice are still outstanding, which is quite expressive in the lowland areas. As for the areas of medium, low and very low susceptibility, these were more representative in the study area, being located in the central region, east and north. In these areas, the slopes found were 8% to > 45% (wavy relief to hilly), soils typified as Planosols Eutrophic Abstracts and Eutrophic Lithium Neosols. As for geomorphology and geology, the Campos Gerais Plateau, Serra Geral and the easy Gramado and Botucatu formation were evidenced respectively. The use of geotechnologies allowed the environmental evaluation of the data obtained by different thematic maps, which allowed to have an integrated vision of these aspects of great relevance for the analysis and mapping of the areas susceptible to flooding.

**Keywords:** Geo-environmental analysis. Geotechnology. Vista SAGA software.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Elevação do nível de um rio provocada pelas chuvas. <b>I Nível normal:</b> sulco que comumente escoam as águas; <b>II Enchente:</b> quando o rio está com o volume elevado até a altura das margens sem transbordar para as áreas adjacentes; <b>III Inundação:</b> o rio se encontra no leito de enchente e quando aumentam ainda mais o nível d'água transborda alagando as várzeas e caracterizando uma inundação.....	23
Figura 2 – Localização do município de Dona Francisca, RS.....	29
Figura 3 – Arroio Trombudo, Dona Francisca, RS.....	40
Figura 4 – Mapa clinográfico utilizado para a análise ambiental, Dona Francisca, RS.....	41
Figura 5 – Cultivo do arroz irrigado, interior do município de Dona Francisca, RS.....	42
Figura 6 – Área urbana inundada (a) e o Parque Obaldino Tessele (b), Dona Francisca, RS.....	43
Figura 7 – Mapa do uso e cobertura do solo utilizado para a análise ambiental, Dona Francisca, RS.....	44
Figura 8 – Mapa pedológico utilizado para a análise ambiental, Dona Francisca, RS.....	46
Figura 9 – Mapa geomorfológico utilizado para a análise ambiental, Dona Francisca, RS.....	48
Figura 10 – Mapa geológico utilizado para a análise ambiental, Dona Francisca, RS.....	49
Figura 11 – Mapa das áreas suscetíveis à inundação, Dona Francisca, RS.....	51
Figura 12 – Áreas com altíssima susceptibilidade à inundação, Dona Francisca, RS.....	52



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação da declividade.....	33
Tabela 2 – Padrões das classes identificadas nas imagens e a sua representação temática.....	34
Tabela 3 – Subdivisão das variáveis, peso e notas atribuídas aos mapas e às classes.....	37
Tabela 4 – Classificação da susceptibilidade à inundação em Dona Francisca, RS, conforme as notas atribuídas.....	51

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
CPRM	Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MDE	Modelo Digital de Elevação
OLI	<i>Operational Land Imager</i>
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SPRING	Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
UTM	Universal Transversa de Mercator

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
1.1	PROBLEMA.....	13
1.2	OBJETIVOS.....	14
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	14
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	15
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	15
2.1	GEOTECNOLOGIAS.....	15
2.2	ANÁLISE AMBIENTAL.....	21
2.3	ENCHENTE E INUNDAÇÃO.....	22
2.4	SUSCEPTIBILIDADE A INUNDAÇÃO.....	25
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	28
3.1	CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO.....	28
3.2	ASPECTOS FISIAGRÁFICOS.....	29
3.3	CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÔMICA.....	30
3.4	MATERIAIS.....	31
3.5	PROCESSAMENTO DOS DADOS.....	32
<b>3.5.1</b>	<b>Elaboração dos mapas temáticos</b> .....	32
3.5.1.1	<i>Mapa de distância à hidrografia</i> .....	32
3.5.1.2	<i>Mapeamento clinográfico</i> .....	32
3.5.1.3	<i>Mapeamento do uso e cobertura do solo</i> .....	33
3.5.1.4	<i>Mapeamento pedológico</i> .....	34
3.5.1.5	<i>Mapeamento geomorfológico</i> .....	35
3.5.1.6	<i>Mapeamento geológico</i> .....	35
<b>3.5.2</b>	<b>Análise de áreas suscetíveis à inundação</b> .....	35
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	39
4.1	ANÁLISE TEMÁTICA.....	39
<b>4.1.1</b>	<b>Buffers</b> .....	39
<b>4.1.2</b>	<b>Aspectos clinográficos</b> .....	39
<b>4.1.3</b>	<b>Aspectos do uso e cobertura do solo</b> .....	41
<b>4.1.4</b>	<b>Aspectos pedológicos</b> .....	45
<b>4.1.5</b>	<b>Aspectos geomorfológicos</b> .....	47
<b>4.1.6</b>	<b>Aspectos geológicos</b> .....	48
4.2	ÁREAS SUSCETÍVEIS À OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÕES.....	50
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	55
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	56

## 1 INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos desempenham um papel fundamental na vida do homem, não só do ponto de vista econômico, mas do equilíbrio ambiental e da preservação de toda a vida no planeta. No entanto, o excesso de água causada pelas chuvas fortes e rápidas ou chuvas de longa duração, causam inundações e calamidades ambientais e sua escassez provoca fome, miséria e perdas econômicas (PAZ et al., 2000).

As principais condicionantes que resultam em eventos de inundações e enchentes em áreas próximas aos cursos d'água de um município é a interação dos aspectos naturais e antrópicos. Para Tominaga et al. (2009, p. 41), ressaltam que a “magnitude e frequência das inundações ocorrem devido a intensidade e distribuição da precipitação, da taxa de infiltração de água no solo, do grau de saturação do solo e das características morfométricas e morfológicas da bacia de drenagem”.

A inundação ocorre quando as águas dos rios, riachos ou das galerias pluviais saem do leito de escoamento devido à falta de capacidade de transporte de um destes sistemas; e ocupam assim as áreas onde a população utiliza para moradia, transporte, recreação, comércio, indústrias e atividades agrícolas (TUCCI e BERTONI, 2003). Ainda de acordo com os autores, quando a precipitação é intensa o solo infiltra boa parte do volume de água e o seu excesso que não consegue ser drenado acaba ocupando as várzeas, inundando conforme a topografia das áreas próximas aos rios.

A ocorrência de inundações seja de forma natural ou por interferência de ações antrópicas, podem ser identificadas e monitoradas por meio de técnicas específicas que contribuem no processo de prevenção e na tomada de decisões. Essas técnicas visam à utilização de ferramentas vinculados às geotecnologias, como Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas (SIG's). Em razão disso, o uso das geotecnologias tem-se tornado essencial para a análise e planejamento do território, incluindo os estudos ambientais, como por exemplo, os relacionados às inundações.

Florenzano (2007, p. 11) enfatiza que “o termo Sensoriamento refere-se à obtenção dos dados, e Remoto, significa distante, é utilizado porque a obtenção é feita à distância, ou seja, sem o contato físico entre o sensor e a superfície terrestre”.

O Sensoriamento Remoto de acordo com Makrakis (2017, p. 15) admite a “determinação de uma área suscetível à inundação sem a presença do evento, a partir de conhecimentos sobre a topografia do terreno, dados pluviométricos e informações sobre acontecimentos anteriores”. As imagens de Sensoriamento Remoto têm como vantagem a periodicidade, no qual permite a geração de mapas de qualquer parte da superfície terrestre sempre atualizado, tanto no que se refere a dados quantitativos como qualitativos (ALBUQUERQUE, 2009).

Referente ao Geoprocessamento, este é definido por Silva et al. (1998) como um conjunto de procedimentos computacionais, que operando sobre bases de dados geocodificados, executam análises, reformulações e síntese sobre os dados ambientais tornando-os usáveis em um sistema de processamento automático integrado ao banco de dados.

Rosa e Brito (1996, p. 7) salientam que o Geoprocessamento é o conjunto de “tecnologias destinado à coleta e tratamento de informações espaciais, assim com o desenvolvimento de novos sistemas e aplicações, com diferentes níveis de sofisticação”. Assim, como as demais ferramentas de geotecnologia supracitadas o Sistema de Informações Geográficas (SIG's) auxiliam no suporte para simulações, acompanhamento e tomada de decisão acerca de acontecimentos e identificação de áreas suscetíveis a inundação.

Desta forma, a utilização das geotecnologias neste estudo foi considerada uma ferramenta essencial para identificar áreas suscetíveis à ocorrência de inundação; cabe ainda ressaltar que a escolha do tema para a realização da monografia deu-se, principalmente, em virtude da ausência de estudos de áreas suscetíveis a inundações no município de Dona Francisca, localizada na região central do Estado do Rio Grande do Sul.

## 1.1 PROBLEMA

O crescimento acelerado e desordenado da população, o uso e manejo incorreto do solo, bem como a falta de gerenciamento adequado das atividades ligadas ao setor agropecuário e industrial, vem cada vez mais ocasionando problemas ambientais. Estes problemas estão ligados diretamente ao desmatamento da cobertura vegetal, diminuição da biodiversidade, poluição do solo

e da água, erosão, enchente, inundação entre outros aspectos; que geram inúmeras alterações físicas, químicas e biológicas de uma determinada região.

As ocorrências de inundações no município de Dona Francisca - RS nos últimos anos têm-se intensificado, afetando uma pequena parte da área urbana, trechos viários rurais; no qual ficam interrompidos, especialmente os que estão situados em áreas próximas aos recursos hídricos, a agricultura irrigada, que em situações de chuvas intensas e prolongadas tem causado grandes prejuízos ambientais e econômicos, por conta dessas inundações.

Nesse sentido, como forma de compreender o comportamento das inundações, atribui-se o uso das geotecnologias que, por meio do estudo dos processos naturais e antrópicos, possibilitam analisar, prever e identificar a susceptibilidade às ocorrências de inundações de uma determinada área. Assim, a análise das variáveis atuantes no município de Dona Francisca, bem como as suas correlações e atribuições de pesos, juntamente com os dados gerados por meio do mapeamento temático possibilitará a identificação de áreas de ocorrência à inundação.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

O presente estudo tem como objetivo mapear as áreas suscetíveis à ocorrência de inundação no município de Dona Francisca – RS com base nas características ambientais, tais como: geologia, geomorfologia, clinografia (declividade), pedologia (solo), hidrografia e uso e cobertura do solo.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Elaborar e analisar os mapas que representam as características ambientais do município de Dona Francisca;
- Valorar as características ambientais e aplicar a média ponderada para identificar as áreas suscetíveis à ocorrência das inundações no município.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 GEOTECNOLOGIAS

O avanço das geotecnologias nos últimos anos vem ganhando cada vez mais representatividade e importância em estudos relacionados ao espaço geográfico. As geotecnologias de acordo com Rosa (2011) é um conjunto de tecnologias que são utilizadas para diversos fins, tais como: coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica de uma determinada localidade.

Toda ação de planejamento e monitoramento do espaço deve incluir segundo Medeiros e Câmara (2001) a análise de vários componentes diferentes do ambiente, como por exemplo, o meio físico-biótico, a ocupação humana e a relação entre esses dois elementos. “Essa análise depende basicamente das geotecnologias, que integram dados alfanuméricos e dados espaciais” (MIOLA, 2013, p. 67).

A utilização das geotecnologias contribui na elaboração de diversos tipos de mapeamentos, principalmente com as funcionalidades do seu instrumento maior, o Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Rosa (2011, p. 1) destaca que,

A evolução da tecnologia de Geoprocessamento e de softwares gráficos vários termos surgiram para as várias especialidades. O nome Sistemas de Informação Geográfica (ou *Geographic Information System* - GIS) é muito utilizado e em muitos casos é confundido com Geoprocessamento (ROSA, 2011, p. 1).

O emprego de técnicas de Geoprocessamento é de grande utilidade e eficiência, sobretudo nas análises de estudos ambientais, pois processam dados e gera informações de análises geográficas em diferentes formatos. O Geoprocessamento utiliza técnicas matemáticas e computacionais que permitem extrair informações ou realizar o tratamento de dados e objetos coletados de sistemas sensores referentes a objetos ou fenômenos que representam qualquer tipo de processamento de dados georreferenciados (CÂMARA e MEDEIROS, 1996; ASSAD e SANO, 1998; MOREIRA, 2005).

Conforme Piroli (2010), o Geoprocessamento pode ser entendido também como um ramo da ciência que estuda o processamento de informações

georreferenciadas, onde são utilizados aplicativos, equipamentos (computadores e periféricos), dados de diversas fontes e profissionais especializados.

O Geoprocessamento para Burrough (1987) representa o processamento de dados georreferenciados, à medida que, um Sistema de Informação Geográfica (SIG) processa dados gráficos e não gráficos (alfanuméricos) com ênfase em análises espaciais e modelagens de superfícies.

Na mesma linha das definições trabalhadas pelos autores supracitados, Rosa (2013, p. 59) ensina que o Geoprocessamento constitui-se em um “conjunto de tecnologias destinadas à coleta e tratamento de informações espaciais, assim como o desenvolvimento de novos sistemas e aplicações, com diferentes níveis de sofisticação”.

Conforme Veiga e Silva (2004, p. 189),

O Geoprocessamento muda a forma de coletar, utilizar, e disseminar a informação, possibilitando o acompanhamento, monitoria do desenvolvimento ou da implantação dos planos de desenvolvimento, por meio diversos, desde imagens de satélite até mapas interativos que permitem medir a espacialização da extensão dos efeitos das políticas e ações de desenvolvimento do espaço em questão em tempo real (VEIGA e SILVA, 2004, p. 189).

Para Rosa e Brito (1996); Lazarotto (2002); Benedetti (2010) o Geoprocessamento é constituído por quatro categorias técnicas, no qual estão relacionadas ao tratamento da informação espacial sendo elas:

1) Coleta de informação espacial como a Cartografia, Sensoriamento Remoto, Sistema de Posicionamento Global (GPS), Topografia, Fotogrametria e o Levantamento de dados alfanuméricos;

2) Armazenamento de informação espacial (Bancos de Dados, orientados a objetos, relacional, hierárquico);

3) Tratamento e análise da informação espacial, como por exemplo, a modelagem de dados, geoestatística, aritmética lógica, funções topológicas e redes;

4) Uso integrado de informação espacial, como os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), *Land Information System* (LIS), *Automated Mapping/Facility Management* (AM/FM) e *Computer Aided Drafting Design* (CADD).

O Geoprocessamento como ferramenta de avaliação e planejamento para Albuquerque (2009) vem sendo utilizado cada vez mais, tanto no meio público como



no setor privado, abrangendo desde a identificação de locais próprios à implantação de diferentes empreendimentos, análise de susceptibilidade a inundações, deslizamentos, avaliação de impactos ambientais, conflito de utilização de território, criação de cenários prospectivos, zoneamento territoriais para diferentes finalidades, análises de viabilidade ou planejamento agrícola (ASSAD e SANO, 1998; MEIRELLES et al., 2007; GUERRA, 2011; PRINA, 2015).

O uso do Geoprocessamento para o mapeamento de ambientes terrestres segundo Jensen (2009) e Lillesand e Kiefer (2000) é uma das aplicações mais antigas, o qual é utilizado para diversos estudos, como por exemplo, os de monitoramento e de estimativas.

Para Miranda (2005, p. 29),

A crescente preocupação com a preservação do meio ambiente deve incluir uma tomada de decisão que envolva interações complexas entre diferentes recursos naturais e as sociedades. As inquietações se referem a processos de desertificação, erosão (principalmente em solos agrícolas), monitoramento de espécies em extinção, locais de ocorrência de chuva ácida, poluição de corpos de água, contaminação de aquíferos e solos, mudanças climáticas globais, entre outros. Para mapear e monitorar tais mudanças, bem como planejar respostas apropriadas são necessários programas que possam capturar e armazenar informações sobre os recursos naturais existentes, usando a tecnologia espacial disponível (satélites de Sensoriamento Remoto) e SIG (MIRANDA, 2005, p. 29).

Dentre as tecnologias utilizadas em pesquisas voltadas para a análise da dinâmica do uso e cobertura da terra, destaca-se o Sensoriamento Remoto (SR), por meio dos seus produtos mais conhecidos as imagens de satélites. Os produtos do Sensoriamento Remoto (imagens orbitais e fotografias aéreas) são de grande importância para analisar o processo de planejamento e reestruturação do ambiente, além de permitir o monitoramento, a identificação de origens e características dos agentes modificadores do espaço, bem como o mapeamento e a intensidade das alterações provocadas pelo homem nos ecossistemas (PADILHA e KURKDJIAN, 1996).

De acordo com Novo (2010) o Sensoriamento Remoto consiste na:

utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação

eletromagnética e as substâncias que compõem em suas mais diversas manifestações (NOVO, 2010, p. 28).

Segundo Loch (1993, p. 87), o Sensoriamento Remoto é definido como “o conjunto de atividades, cujo objetivo reside na caracterização das propriedades de alvos naturais, através da detecção, registro e análise de fluxo de energia radiante, refletido ou emitido pelos mesmos”. Ainda de acordo Rocha (2000), “o Sensoriamento Remoto pode ser definido como a aplicação de dispositivos que, colocados em aeronaves ou satélites, nos permitem obter informações sobre objetos ou fenômenos da superfície da terra, sem contato físico com eles”.

Jensen (2009, p. 4) salienta que o 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.

Para Florenzano (2008) o Sensoriamento Remoto é uma tecnologia de aquisição à distância de dados da superfície terrestre, que se dá por meio de sensores instalados em plataformas terrestres, aéreas ou orbitais (satélites). O autor ressalta também que, os objetos de interesse da terra (água, solo, vegetação, infraestrutura) refletem, absorvem e transmitem radiação eletromagnética em proporções que variam de acordo com o comprimento de onda dos elementos constituintes desses objetos. Ainda, segundo Li et al. (2007) e Zhao et al. (2005), o Sensoriamento Remoto apresenta como grande vantagem à ampla cobertura espacial, baixo custo e maior operacionalidade.

Nessa perspectiva, o uso dos produtos do Sensoriamento Remoto, aliado as diversas possibilidades de análise com softwares de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), é evidenciado por Rosa e Brito (1996, p. 99), o qual enfatizam que “o Sensoriamento Remoto possibilita a obtenção de dados de forma rápida, confiável e repetitiva, em diferentes faixas espectrais e escalas, e os SIG's permitem a ligação dessas informações com outros tipos de produtos, tornando estas duas tecnologias complementares”.

Para tanto, quando discorreremos sobre o Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto é preciso conceituar seus instrumentos computacionais, denominados de

Sistemas de Informações Geográficas (SIG) ou *Geographic Information System* (GIS); o qual é utilizado no levantamento do uso e cobertura da terra com os dados de Sensoriamento Remoto (BLASCHKE e LANG, 2009).

Rosa (2011) ressalta que o SIG é um conjunto de ferramentas computacionais, composto de equipamentos e programas que, permitem análise envolvendo dados espaciais e não espaciais sobre o espaço.

Os Sistemas de Informações Geográficas para Longley (2013, p. 13) é definido como:

sistemas computacionais feitos para armazenar e processar informação geográfica. Eles são ferramentas que melhoram a eficiência e efetividade do tratamento da informação de aspectos e eventos geográficos. Eles podem ser usados para muitas outras tarefas úteis, como armazenar grandes quantidades de informação geográfica em banco de dados, realizar operações analíticas numa fração de tempo necessária para fazê-lo manualmente e automatizar o processo de confecção de mapas úteis (LONGLEY, 2013, p. 13).

Os SIG's podem ser definidos como sistemas destinados ao tratamento automatizado de dados georreferenciados, que manipulam dados de diversas fontes e formatos, dentro de um ambiente computacional ágil e capaz de integrar as informações espaciais temáticas e gerar novos dados derivados dos originais (ASSAD e SANO, 1998).

Burrough e Mcdonnell (1998) definem os SIG's como sistemas de informações espaciais compostos por software e hardware; os quais possibilitam coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre um mundo real para um objetivo específico, permitindo diversas associações entre as componentes de localização espacial e atributos geográficos.

Os SIG's têm como característica principal a possibilidade de inserir e integrar em um único banco de dados informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados censitários e cadastro (urbano e rural), imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno (CÂMARA e MEDEIROS, 1996).

Para Saab et al. (2013), os SIG's possuem mecanismos que servem para combinar as diversas informações por meio de algoritmos de manipulação e análise, assim como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados georreferenciados.

Segundo Moreira (2003) os SIG's apresentam duas características principais:

1-Permitem inserir e integrar, numa única base de dados (banco de dados), informações espaciais provenientes de diversas fontes, como: cartografia, imagem de satélites, dados censitários, dados de cadastro rural e urbano, dados de redes e de MNT (Modelo Numérico de Terreno).

2-Oferecem mecanismos para combinar várias informações através de algoritmos de manipulação e análise, bem como de consulta, recuperação, visualização e plotagem do conteúdo dessa base de dados georreferenciados (MOREIRA, 2003, p. 252).

Os SIG's podem ser utilizados para diferentes finalidades, dentre elas, para o planejamento do uso do solo, monitoramento ambiental e de safras agrícolas, tomada de decisões, gerenciamento de equipamentos distribuídos geograficamente (telefonia ou rede elétrica) (MEIRELLES et al., 2007).

O uso das geotecnologias configura-se em uma importante ferramenta que auxilia no mapeamento de comportamentos ambientais. Tais estudos são essenciais para fomentar o planejamento de ações de prevenção, preparação, resposta e reconstrução. Nessa perspectiva, Marcelino (2008) destaca que a:

Prevenção: concentra-se basicamente nas avaliações de risco. Os dados geoambientais, que podem ser obtidos com o auxílio das imagens de satélite e GPS, são transformados em planos de informações no SIG. Dependendo do software utilizado, são escolhidos modelos matemáticos que são aplicados no cruzamento das informações, para obtenção dos planos resultantes, como os mapas de perigo, vulnerabilidade e risco. Preparação: momentos antes do impacto, as geotecnologias são utilizadas na definição de rotas de evacuação, identificação de abrigos e centros de operações de emergência, criação e gerenciamento de sistemas de alerta e elaboração de modelos meteorológicos e hidrológicos utilizados na previsão. Nesta fase, as imagens de satélites geralmente são usadas para fornecer as informações de base para a caracterização das áreas afetadas, como também realizar o monitoramento dos desastres. Resposta: com um SIG é possível gerenciar de maneira eficiente e rápida, as situações mais problemáticas, como as ações de combate a sinistros (conter efeitos adversos) e de socorro às populações afetadas (busca e salvamento). Reconstrução: as geotecnologias também são amplamente usadas na realização do inventário, avaliação dos danos e na identificação de áreas seguras para a relocação e reconstrução das comunidades afetadas (MARCELINO, 2008, p. 33-34).

Deste modo, percebe-se que as geotecnologias podem ser usadas para diversos fins, pois novas aplicações, métodos e ferramentas surgem a cada dia, onde podem ser adaptados em função das pesquisas e estudos a serem desenvolvidos.

## 2.2 ANÁLISE AMBIENTAL

A metodologia e a técnica da geotecnologia atualmente vêm sendo utilizadas para diversos fins, sendo um deles a análise ambiental. A análise ambiental constitui-se de técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, que segundo Ramalho (2002) leva em consideração a facilidade da representação da espacialidade cartográfica do fenômeno analisado e a integração dos dados pelo mapeamento temático.

A análise ambiental estuda as correlações dos elementos físicos, biológicos e antrópicos do ambiente em determinado espaço; de forma que os SIG's, por permitirem um estudo integrado da realidade, intensificam a análise ambiental (SANTOS e BERNARDINO, 2014).

A análise ambiental “é um instrumento fundamental na investigação interdisciplinar, pois fornece uma gama variada de percepções que irão auxiliar no aprofundamento do conhecimento científico” (STIPP e STIPP, 2004, p. 24).

Barros et al. (2016, p. 2) salientam que “a análise ambiental de uma de área, seja urbana ou rural, é importante a realização de seu mapeamento, já que este permite estudos que fornecem subsídios para o planejamento e gerenciamento da mesma”. Christofolletti (2005) considera que para a realização da análise ambiental é necessário avaliar e analisar as transformações possíveis em função dos projetos de uso do solo em suas diversas categorias.

Estudos relacionados ao uso e cobertura do solo são de fundamental importância em qualquer tipo de análise ambiental. O termo uso e cobertura do solo segundo Jensen (2009) trata-se do modo como a terra é utilizada e quais os materiais encontrados sobre a superfície terrestre.

De acordo com Turner e Meyer (1994) e Ellis e Pontius (2009) o termo “uso do solo” refere-se às alterações promovidas para atender as necessidades humanas sobre as mais diversas coberturas, podendo-se destacar a pecuária, agricultura, áreas de conservação e área residencial; enquanto que a “cobertura do solo” indica a caracterização física, química e biológica da camada superficial terrestre, podendo ser representada, dentre outros, por floresta gramínea, água ou área construída.

Pinto et al. (2009, p. 2) destacam que,

o uso e ocupação do solo implicam distintos comportamentos nos atributos do solo e da água, sendo que a remoção das florestas tem

causado aumento significativo dos processos que levam à degradação de imensas áreas, com prejuízos aos recursos hídricos e à biodiversidade.

Quando se realiza a análise ambiental em um determinado município inevitavelmente se depara com uma infinidade de problemas, seja por meio de alterações ambientais ou antrópicas. Deste modo, o mapeamento do uso e ocupação do solo é a base para estabelecer critérios referentes a essas alterações; neste quesito, surgem também à necessidade de realizar o método de análise multicritério. Esse método baseia-se na análise ponderada dos parâmetros do meio físico (fatores), que é feita pela influência que cada um representa no processo de análise, como por exemplo, em áreas suscetíveis a inundações. Desta forma é atribuído um peso no qual indica o grau de contribuição; onde esses pesos podem ser obtidos por consenso técnico, revisão bibliográfica de trabalhos elaborados na área ou por uso de técnicas específicas (CORVALÁN e GARCIA, 2011).

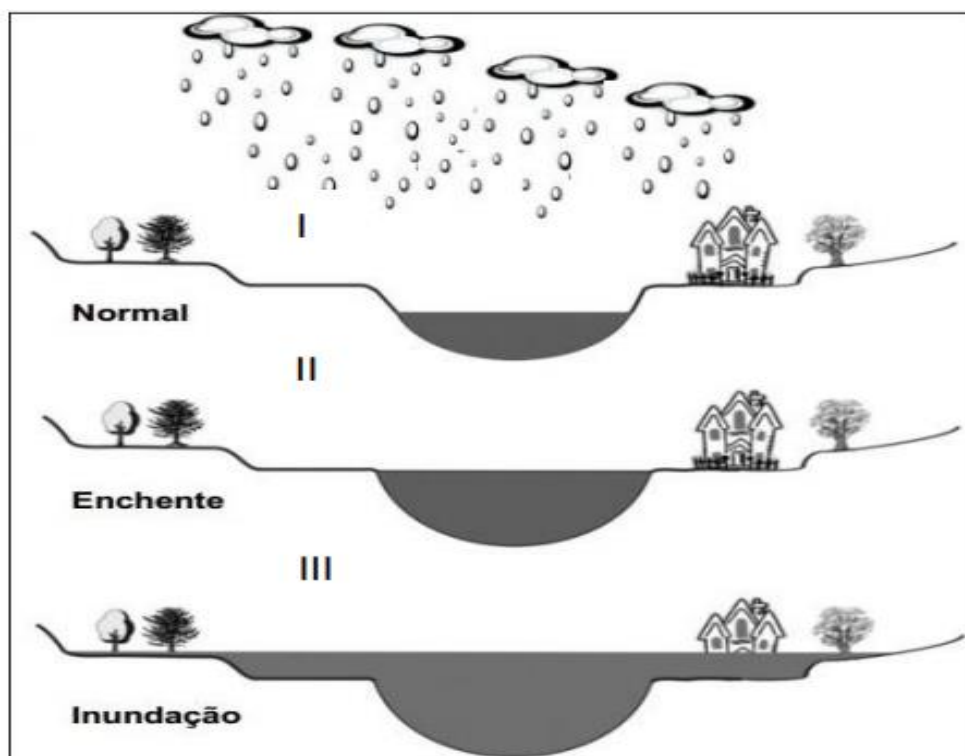
A média ponderada constitui-se em um resultado final obtido após a atribuição de pesos para fatores e notas para os seus atributos, na qual se difere da média que apenas considera o somatório de todos os fatores. Para Andres (2006) a utilização da média ponderada no Geoprocessamento ocorre no processo de avaliação, onde são atribuídos pesos para os planos de informação e notas para cada uma de suas classes a serem analisadas.

Conforme Silva (2001), a média ponderada, apesar de ser considerada simples, é muito utilizada na pesquisa ambiental para a obtenção de estimativas de possibilidades de ocorrência de entidades e eventos ambientais.

### 2.3 ENCHENTE E INUNDAÇÃO

Para as terminologias enchente e inundação encontram-se na literatura definições diversificadas. Com intuito de definir uma homogeneização de termos empregados os autores Goerl e Kobiyama (2005), propuseram um melhor entendimento sobre essas terminologias (Figura 1), que se resume a sua delimitação ou não dos cursos d'água no seu canal de drenagem.

Figura 1 – Elevação do nível de um rio provocada pelas chuvas. **I Nível normal:** sulco que comumente escoam as águas; **II Enchente:** quando o rio está com o volume elevado até a altura das margens sem transbordar para as áreas adjacentes; **III Inundação:** o rio se encontra no leito de enchente e quando aumentam ainda mais o nível d'água transborda alagando as várzeas e caracterizando uma inundação.



Fonte: Goerl e Kobiyama (2005).

O Ministério das Cidades (BRASIL, 2007) define enchente como “elevação temporária do nível d’água em um canal de drenagem devido ao aumento da vazão ou descarga”; enquanto que inundação refere-se ao “processo de extravasamento das águas do canal de drenagem para as áreas marginais (planície de inundação, várzea ou leito maior do rio) quando a enchente atinge cota acima do nível máximo da calha principal do rio”.

O conceito de enchente, para Castro (1998, p. 62) é a "elevação do nível de água de um rio, acima de sua vazão normal". Segundo Kobiyama et al. (2006) enchente é o acúmulo de água de um determinado rio, no entanto sem o extravasamento para as áreas adjacentes. De acordo com Castro (2003) as enchentes estão relacionadas aos períodos prolongados de chuvas, atingindo principalmente grandes bacias e rios de planícies.

Pompêo (2000) ensina que as enchentes são fenômenos naturais e que ocorrem em razão de fortes precipitações periódicas devido às chuvas de elevada magnitude; as vazões atingem tal magnitude que podem superar a capacidade de descarga da calha do curso d'água e extravasar para áreas marginais habitualmente não ocupadas pelas águas (BRASIL, 2007).

As enchentes urbanas apresentam dois tipos de processos, os quais ocorrem de forma isolada ou integrada sendo: enchentes devido à urbanização ou a ocupação em áreas ribeirinhas. As enchentes que ocorrem devido à urbanização se dão em consequência da ocupação do solo com superfícies impermeáveis e rede de condutos de escoamentos, onde o desenvolvimento urbano pode produzir obstruções ao escoamento como aterros e pontes, drenagens inadequadas e obstruções ao escoamento junto a condutos e assoreamento; já as enchentes em áreas ribeirinhas ocorrem principalmente pelo processo natural que atingem a população que ocupa o leito maior dos rios (TUCCI et al., 1995).

Novares et al. (2016) salienta que a retirada e substituição da cobertura vegetal natural, são fatores modificadores e, em muitas situações resultam simultaneamente em redução de tempo de concentração e em aumento do volume de escoamento superficial, causando o extravasamento de cursos d'água.

Quanto à inundação, esta ocorre principalmente pela duração e intensidade da precipitação. Tucci (1993, p. 621) ressalta “quando a precipitação é intensa a quantidade de água que chega simultaneamente ao rio pode ser superior à sua capacidade de drenagem, ou seja, a da sua calha normal, resultando na inundação das áreas ribeirinhas”.

Para Tucci e Bertoni (2003) o excesso de volume de água que não consegue ser drenado, uma vez que o solo já não tem mais capacidade de infiltrar, grande parte desse volume escoar para a várzea inundando de acordo com a topografia das áreas próximas aos rios.

De acordo com Brasil (2007), as inundações compreendem os fenômenos de natureza hidrometeorológicas, fazendo parte da dinâmica natural, sendo fortemente intensificados pelas alterações ambientais e antrópicas. As áreas inundadas podem ser definidas pelo excesso do volume d'água que segundo Silva (2007) não consegue ser drenado e ocupam a várzea inundável de acordo com a topografia das áreas próximas aos cursos hídricos, ocorrendo de forma aleatória em função dos processos climáticos locais e regionais.



As várzeas de um rio são mais extensas nos seus cursos médio e baixo, onde a declividade se reduz e aumenta a incidência de áreas planas, sendo mais propícias à ocupação e mais suscetíveis a inundação (LISBÔA, 2013).

O termo inundação para a Defesa Civil, de acordo com Castro (1998), é caracterizado como:

Transbordamento de água da calha normal de rios, mares, lagos e açudes, ou acumulação de água por drenagem deficiente, em áreas não habitualmente submersas. Em função da magnitude, as inundações são classificadas como: excepcionais, de grande magnitude, normais ou regulares e de pequena magnitude. Em função do padrão evolutivo, são classificadas como: enchentes ou inundações graduais, enxurradas ou inundações bruscas, alagamentos e inundações litorâneas. Na maioria das vezes, o incremento dos caudais de superfície é provocado por precipitações pluviométricas intensas e concentradas, pela intensificação do regime de chuvas sazonais, por saturação do lençol freático ou por degelo. As inundações podem ter outras causas como: assoreamento do leito dos rios; compactação e impermeabilização do solo; erupções vulcânicas em áreas de nevados; invasão de terrenos deprimidos por maremotos, ondas intensificadas e macaréus; precipitações intensas com marés elevadas; rompimento de barragens; drenagem deficiente de áreas a montante de aterros; estrangulamento de rios provocado por desmoronamento (CASTRO, 1998, p. 96).

A probabilidade e a ocorrência de enchente e inundação, para Tominaga et al. (2009) ocorrem devido à combinação de fatores naturais e antrópicos como:

- formas do relevo;
- características da rede de drenagem da bacia hidrográfica;
- intensidade, quantidade, distribuição e frequência das chuvas;
- características do solo e o teor de umidade;
- presença ou ausência da cobertura vegetal;
- uso e ocupação irregular nas planícies e margens de cursos d'água;
- disposição irregular de lixo nas proximidades dos cursos d'água;
- alterações nas características da bacia hidrográfica e dos cursos d'água.

## 2.4 SUSCEPTIBILIDADE À INUNDAÇÃO

A susceptibilidade relacionada ao fator inundação é condicionada por um conjunto de diversos fatores, tais como a topografia, geomorfologia, tipologia dos solos, ação antrópica (LIMA, 2010), declividade, tipo de cobertura vegetal, usos do

solo, impermeabilização, características dos recursos hídricos, a intensidade e duração das chuvas; que geram condições propícias às ocorrências das inundações de um determinado local e momento.

Os conceitos relacionados ao fator de inundação são definidos como sendo ameaça, desastre natural, perigo, risco, resiliência, severidade, vulnerabilidade e susceptibilidade (IPT, 2014).

O termo susceptibilidade para Wilvert (2010) designa a potencialidade de ocorrência de um determinado fenômeno em algum local, levando em consideração a predisposição natural do ambiente para que o fenômeno ocorra. Garcia e Zêzere (2013, p. 81) definem o termo susceptibilidade como “possibilidade espacial de ocorrência de um determinado fenômeno numa dada área com base em fatores condicionantes do terreno, independentemente do seu período de recorrência”. De acordo com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2014), a susceptibilidade indica a potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em áreas de interesse ao uso do solo.

Conforme Lima (2010) a susceptibilidade consiste em um ou mais atributos físicos que uma área possui e a que a torna potencialmente sujeita à ocorrência de desastres relacionados à dinâmica hídrica.

Para Julião et al. (2009) a susceptibilidade representa a tendência de uma área ser afetada por um determinado perigo, por tempo indeterminado. A susceptibilidade para Carvalho et al. (2006) indica a potencialidade de ocorrer processos naturais e induzidos em um determinado local, expressando-se conforme as classes de probabilidade de ocorrência.

A análise de áreas suscetíveis à inundação é fundamental para entender a ocorrência e auxiliar no planejamento territorial e no controle e prevenção de inundações, minimizando assim, os danos sociais, ambientais e materiais (OLIVEIRA et al., 2009).

Trentin et al. (2013, p. 165) destacaram que a susceptibilidade

corresponde à possibilidade de ocorrência de um determinado evento na área analisada compreendido através de parâmetros que definem uma possibilidade real de registros históricos de inundações em determinados bairros, onde se identificam as áreas inundadas e os períodos de recorrência.

Referente à elaboração de mapas de susceptibilidade a inundação possui duas abordagens, sendo a primeira abordagem ligada às engenharias, por meio da análise hidrológica e hidráulica, com a simulação de desempenho dos escoamentos chuva-vazão em modelos hidrológicos, regionalização de vazões, entre outros; enquanto a segunda abordagem envolve aspectos como a tipologia do solo, relevo, presença/ausência de vegetação (IPT, 2014).

Na análise da susceptibilidade são usadas duas abordagens metodológicas, a qualitativa e quantitativa. Os métodos qualitativos são baseados no julgamento de especialista por meio de dados obtidos em observações realizadas a campo e na interpretação via Sensoriamento Remoto. Enquanto os métodos quantitativos baseiam-se em análises estatísticas, por meio da comparação da distribuição espacial dos fenômenos com os parâmetros considerados (TOMINAGA, 2009).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

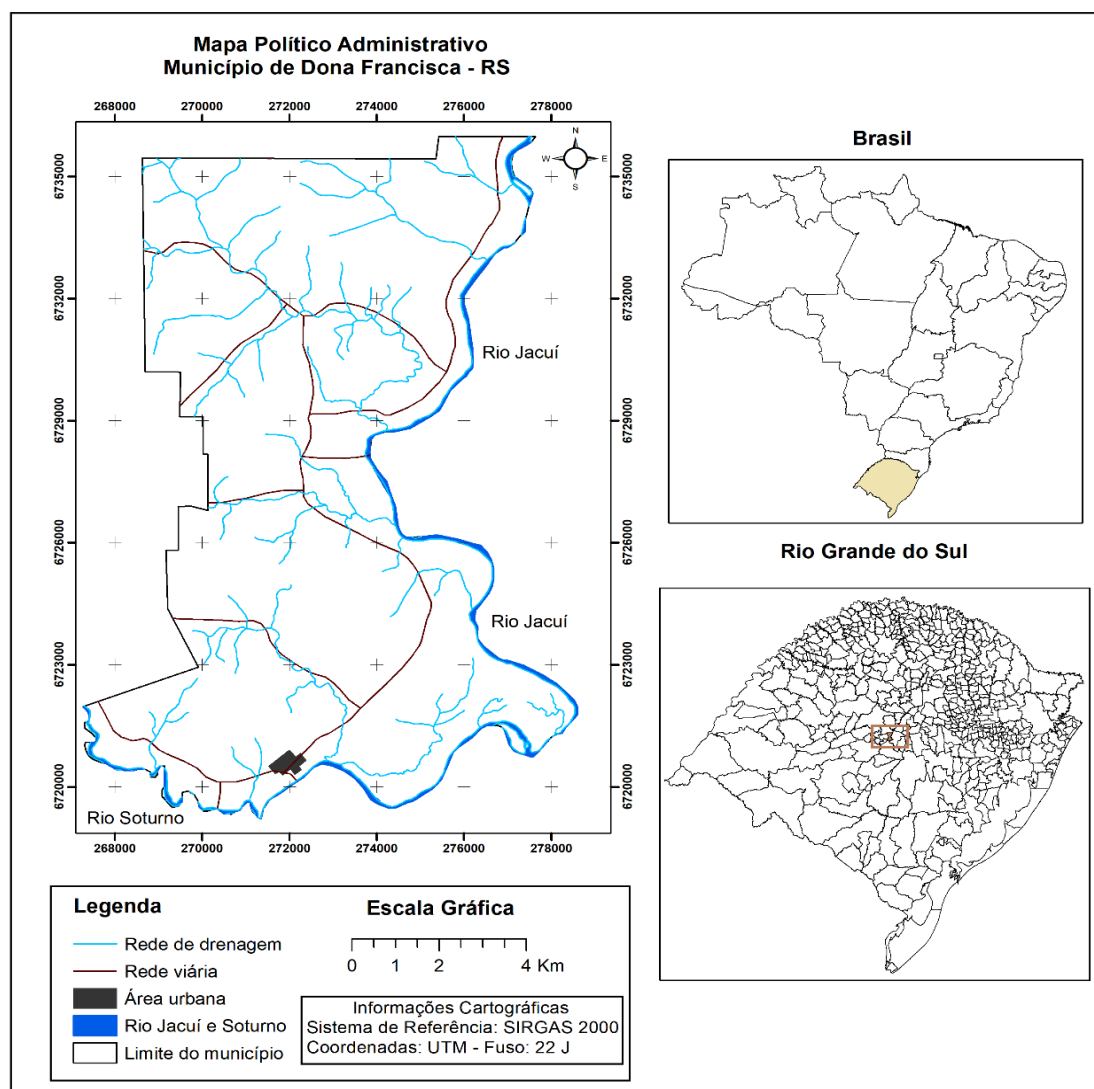
O município de Dona Francisca pertence à região da Quarta Colônia de Imigração Italiana, situada geograficamente na Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul. Limita-se ao Norte com o município de Nova Palma, ao Sul com Restinga Seca, a Oeste com Faxinal do Soturno e a Leste com Agudo. Está localizada às margens do Rio Jacuí e do Rio Soturno, tendo como coordenadas de referência 29° 36' 41" de latitude Sul e 53° 21' 03" de longitude Oeste, com altitude média de 64m em relação ao nível médio do mar (Figura 2).

De acordo com dados do IBGE (2010) tem como área territorial 114,346 Km<sup>2</sup>. Além da sede, o município ainda possui oito comunidades, sendo elas: Linha Grande, Linha Soturno, Linha do Moinho, Linha Ávila, Linha Dambrós, Formoso, Sanga Funda, Trombudo e quatro vilas: Conjunto Habitacional Gentil Tessele, Vila Mostardeiro, Núcleo Habitacional Recanto e Vila Corsan (LAGO e FARENZENA, 2008).

De acordo com Bianchi (2007), a emancipação do município de Dona Francisca foi instituída durante no ano de 1964. O nome Dona Francisca segundo Casassola (1978) foi escolhido em homenagem à esposa do seu colonizador, Manoel José Gonçalves Mostardeiro; pelo fato da demarcação dos lotes coloniais, solicitou-se a presença do casal proprietário das terras para prestigiarem o acontecimento, sendo que o "Marco Pião" foi fixado pela senhora Francisca Pereira Gonçalves Mostardeiro.

Ainda de acordo com Casassola (1978) a linha que partia deste "Marco Pião" seguia em direção à encosta da Serra Geral, deixando à direita o morro Santo Antônio passando a denominar-se Linha Dona Francisca; com a chegada dos colonos italianos e alemães e fixando residência na Colônia, deram o nome ao município de Dona Francisca.

Figura 2 – Localização do município de Dona Francisca, RS.



Fonte: Autora (2018).

### 3.2 ASPECTOS FISIOGRÁFICOS

De acordo com a classificação de Köppen, o clima do município de Dona Francisca é do tipo climático Cfa, subtropical úmido, com temperatura média anual de 22°C e a temperatura média do mês mais frio varia de -3°C e 18°C, com precipitação média anual de aproximadamente 1.722 mm (ALVARES et al., 2013).

Conforme o Plano Municipal de Saneamento Básico de Dona Francisca (PMSBDF, 2011) os ecossistemas predominantes no município são formados por floresta estacional decidual, banhados, várzeas e florestas de galeria da Depressão Central. As florestas estacionais deciduais, para Espírito-Santo et al. (2006) são

tipicamente decíduas, com perda das folhas superior a 50% na estação seca do ano, onde os índices de deciduidade da floresta podem variar. O ecossistema denominado de banhados refere-se às áreas alagadas e vegetadas permanente ou temporariamente, possuindo terras cultiváveis.

Os solos de várzeas são formados por planícies de rios, lagoas e lagunas; em função da heterogeneidade do material de origem e dos diferentes graus de hidromorfismo, apresentam grande variação nas características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas (PINTO et al., 2004; AGROLINK, 2017). O relevo do município é caracterizado pela Depressão Central no qual é formada por acúmulos de sedimentos recentes, resultantes da ação dos rios Jacuí e Soturno; e pelo relevo acidentado que faz parte da Serra Geral, formado por sucessivos derrames basálticos (LAGO e FARENZENA, 2008).

O município de Dona Francisca possui uma rede hidrográfica bem distribuída, constituída essencialmente dos rios Jacuí e Soturno, tendo como principais fins a irrigação, fornecimento de energia e abastecimento de água, onde atende uma significativa parcela dos habitantes ao longo do seu percurso que vai desde sua nascente, no município de Passo Fundo, até desembocar no Rio Guaíba na capital Gaúcha, a cidade de Porto Alegre (FAVERA, 2006).

### 3.3 CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÔMICAS

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia Estatística, (IBGE, 2010) o município possui uma população residente de 3.401 habitantes, sendo a maior parte da população residente na zona urbana, onde vivem 2.146 pessoas, enquanto a zona rural concentra 1.255 habitantes.

O sistema fundiário do município é baseado nas pequenas propriedades rurais. Em áreas de encostas do morro os produtos agrícolas mais cultivados são o fumo, o milho e o feijão, sendo utilizada a mão-de-obra familiar e técnicas mais rudimentares. Nas áreas planas, ou seja, nas várzeas que sobressaem ao longo das margens do Rio Jacuí e do Rio Soturno, as técnicas de produção agrícolas, são mais modernas, utilizando máquinas e equipamentos mais avançados e sofisticados, sendo geralmente executadas por chefes de famílias e alguns empregados e diaristas (FAVERA, 2006; VENDRUSCOLO, 2010). Nestas áreas a cultura agrícola

predominante é o arroz irrigado, apresentando a maior área plantada, e conseqüentemente a maior produção em toneladas.

A principal base econômica do município é a agricultura com destaque, respectivamente, pela produção do arroz irrigado seguido do plantio do fumo. O cultivo do arroz é voltado ao mercado interno, sendo de grande importância para a economia local, o qual contribui com a arrecadação municipal. O fumo é um produto de grande importância para o município, uma vez que é totalmente voltado para o mercado de grandes empresas fumageiras, gerando grande parte da renda do agricultor. Quanto ao cultivo do milho, este é utilizado na pecuária e comercializado apenas os excedentes da produção. O feijão é cultivado em áreas reduzidas, sendo utilizada a maior parte para o consumo próprio (MAZIERO, 2005).

### 3.4 MATERIAIS

Para a execução do presente trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

- 1) Dados do radar *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) - carta topográfica SH-22-Y-A;
- 2) Imagem do satélite Landsat 8, sensor OLI (*Operational Land Imager*) órbita/ponto 222/081, do dia 20 de novembro de 2017;
- 3) *Shapefile* das tipologias de solos (pedologia), geomorfologia, geologia e hidrografia.

### 3.5 PROCESSAMENTO DOS DADOS

Para o mapeamento da classificação do uso e cobertura do solo, foi criado um banco de dados georreferenciados para o processamento e o armazenamento das informações no software SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) versão 5.2.7; enquanto para as variáveis, geologia, geomorfologia, tipologia de solo, declividade e hidrografia utilizou-se o software Quantum GIS (QGIS) versão 2.14.3. Adotou-se o sistema de projeção UTM (Universal Transversa de Mercator) e o Datum SIRGAS/2000.

O software Vista SAGA 2007 (Sistema de Análise Geo-Ambiental) foi utilizado para a análise ambiental com intuito de identificar as áreas suscetíveis à ocorrência de inundações.

### **3.5.1 Elaboração dos mapas temáticos**

Os processos físicos relacionados com a susceptibilidade a inundação, de uma determinada área, estão diretamente ligados com os aspectos geomorfológicos, pedológicos, uso e ocupação do solo e hidrográficos (OLIVEIRA, 2009; DIAS et al., 2004). No entanto, para este estudo de identificação das áreas suscetíveis a inundação considerou-se como variáveis mais significativas os seguintes mapas temáticos: hidrografia (*buffers*), clinografia (declividade), uso e cobertura do solo, tipologias de solo (pedologia), geomorfologia e geologia.

#### *3.5.1.1 Mapa de distância à hidrografia*

As áreas mais planas de um determinado local quando estão localizadas próximas às redes de drenagem, são mais suscetíveis à ocorrência de inundações. Partindo deste pressuposto, criou-se por meio do *shapefile* das feições da hidrografia o mapa de distâncias (*buffer*). Para mapear as áreas com maior e menor susceptibilidade à ocorrência de inundações levou-se em consideração apenas três faixas de distâncias (*buffers*): 50m, 100m e 200m, de acordo com o Novo Código Florestal (Lei 12.651), no qual impõe cada um desses *buffers* a largura do rio.

#### *3.5.1.2 Mapeamento clinográfico*

A declividade é uma variável importante na determinação dos riscos de inundação de uma determinada área, pois, "(...) influencia diretamente no acúmulo de água no terreno. Áreas planas apresentam maiores probabilidades de sofrer inundação do que áreas escarpadas" (MAGALHÃES et al., 2012, p. 65).

O mapa clinográfico ou mapa de declividade foi elaborado com base na imagem referente a um Modelo Digital de Elevação (MDE) Geotiff do radar *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). A carta topográfica SH-22-Y-A em escala 1.250.000 e com resolução espacial de 30 metros, foi adquirida gratuitamente do site



do Centro de Sensoriamento Remoto do Serviço Geológico dos Estados Unidos - *United States Geological Survey* (USGS, 2017).

Para a confecção do mapa clinográfico foram utilizados dados altimétricos em forma de grade, representada por uma estrutura do tipo vetorial, a qual caracteriza a superfície do terreno por meio de um conjunto de faces triangulares interligadas, permitindo assim, o cálculo das declividades a partir de interpolação espacial. Posteriormente, foi realizado o fatiamento da grade de declividades gerada em intervalos adaptados de Ross (2011) e Salomão (1999) (Tabela 1).

Tabela 1 – Classificação da declividade.

<b>Declividade (%)</b>	<b>Categoria</b>
0 a 3%	Plano
3 a 8%	Suavemente ondulado
8 a 20%	Ondulado
20 a 45%	Fortemente ondulado
>45%	Montanhoso

Fonte: Adaptados de Ross (2011) e Salomão (1999).



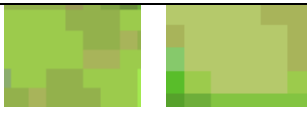





### 3.5.1.3 Mapeamento do uso e cobertura do solo

A classificação do uso e cobertura do solo foi elaborado por meio da imagem obtida do sensor *Operational Land Imager* (OLI) do satélite Landsat 8, com órbita/ponto 222/081 adquiridas gratuitamente na página do site do *States Geological Survey*, (USGS, 2017); referente ao dia 20 de novembro de 2017.

As imagens foram importadas para um banco de dados geográficos no software SPRING; para execução da técnica de realce por contraste linear, as bandas espectrais foram manipuladas para gerar as composições (*Red, Green e Blue*) (R4G3B2 (cores naturais), R5G4B3 e R6G5B4 (falsa-cor)). Essas composições foram utilizadas para identificar os alvos, bem como obter as amostras para a execução da classificação digital supervisionada por pixels, sendo empregando o classificador de Máxima Verossimilhança (MaxVer).

Para este mapeamento foram estabelecidas quatro classes temáticas sendo elas: **Lâmina d'água**: representa os açudes, barragens, banhados e canais fluviais, podendo aparecer também, em alguns casos, áreas cobertas com água para o cultivo do arroz; **Campo**: vegetação rasteira composta de gramíneas e pastagens; **Solo exposto**: compreende as áreas de terra preparadas para o cultivo ou em pousio, áreas de voçorocas e ravinas provocadas por processos erosivos e ainda afloramento de rochas. A classe correspondente à **área urbana** foi amostrada e classificada juntamente com solo exposto e; **Floresta**: formações florísticas nativas em estágio inicial, médio e/ou avançado de regeneração de porte arbóreo e florestas plantadas (Tabela 2).

Tabela 2 – Padrões das classes identificadas nas imagens e a sua representação temática.

Classes	Amostras	Representação temática
Água		
Campo		
Floresta		
Solo exposto		

Fonte: Autora (2018).

#### 3.5.1.4 Mapeamento pedológico

O mapeamento das tipologias do solo foi realizado por meio do arquivo vetorial no formato *shapefile*, disponibilizado gratuitamente pela Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA, 2011) na escala 1:5.000.000.

### 3.5.1.5 Mapeamento geomorfológico

O estudo geomorfológico no município de Dona Francisca se faz necessário, pois o mesmo possibilita uma análise detalhada das diferentes feições e forma do relevo, auxiliando assim, na identificação das áreas suscetíveis a inundação. A abordagem com ênfase geomorfológica para Fujimoto (2002) é essencial para a compreensão da dinâmica hídrica e para avaliar áreas onde a intervenção antrópica causou alteração consideráveis no ambiente.

Para o mapeamento da geomorfologia utilizou-se dados a partir de arquivo vetorial fornecido no formato *shapefile*, disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017) na escala 1: 250.000.

### 3.5.1.6 Mapeamento geológico

O mapeamento geológico do município de Dona Francisca, foi elaborado a partir do arquivo vetorial no formato *shapefile*, disponibilizado de forma gratuita pela Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM, 2017) na escala de 1: 750.000.

## 3.6.1 Análise de áreas suscetíveis à inundação

Para identificar às áreas suscetíveis à ocorrência de inundação utilizou-se o software Vista SAGA (Sistema de Análise Geoambiental) disponibilizado de forma gratuita pelo Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Federal do Rio de Janeiro (LAGEOP/UFRJ).

O software Vista SAGA é um Sistema de Informação Geográfica (SIG), no qual é utilizado para a modelagem de todo e qualquer tipo de dado Geo-Ambiental, e tem se mostrado eficiente para diversas aplicações no universo do Geoprocessamento (AQUINO e VALLADARES, 2013).

Segundo Marino (2008, p. 33) ressalta que o software Vista SAGA é:

“uma ferramenta específica para o processamento das avaliações ambientais. Outro fator essencial é a possibilidade de acesso ao código fonte do programa, viabilizando a criação das rotinas complementares,

necessárias ao prosseguimento do trabalho, e conseqüentemente, enriquecimento do poder operacional do aplicativo” (MARINO, 2008, p. 33).

Os mapas temáticos confeccionados no software SPRING e QGIS, foram salvos com a mesma resolução de armazenamento, ou seja, o mesmo tamanho do pixel, posteriormente foi exportado no formato Geotiff. Após, os mapas foram importados para o software Vista SAGA, onde se iniciou o processo de rasterização, que tem como propósito converter o arquivo para um formato próprio do aplicativo, o formato matricial raster/saga (\*.Rs2).

A partir das informações mapeadas no formato raster, os mapas foram utilizados como dados de entrada no software SAGA em sua função Avaliação Ambiental.

A Avaliação Ambiental fundamenta-se no entrecruzamento ou nas combinações dos mapas (variáveis) utilizando-se da média aritmética ponderada; onde são atribuídos os pesos que devem ser igual a 100% e também as notas em que cada componente de legenda de cada plano de informação recebe nota de 0 a 10, de acordo com a ocorrência de um evento ou entidade ambiental que seja causado, em princípio pela atuação relacionado aos parâmetros ambientais nela considerados (SILVA, 2001; RODRIGUES et al., 2013).

A análise ambiental foi realizada de acordo com a formulação de média ponderada proposta por Silva (2001):

$$A_{ij} = \sum n (P_{ij(k)} \times N_{ij(k)})$$

Em que:

**$A_{i,j}$** : possibilidade de ocorrência do evento analisado no elemento (pixel)  $i,j$  da matriz (mapa) resultante;

**$P_{ij(k)}$** : peso (percentual) da contribuição do parâmetro "k", em relação aos demais, para a ocorrência do evento analisado;

**$N_{ij(k)}$** : nota, segundo o (s) avaliador (es), dentro da escala de "0 a 10", da ocorrência do evento analisado, na presença da classe encontrada na linha  $i$ , coluna  $j$  do mapa  $k$ .

**n**: número de parâmetros (mapas) utilizados.

Com as variáveis consideradas influentes (geologia, geomorfologia, clinografia (declividade), tipologias de solo (pedologia), hidrografia e classes de uso e cobertura do solo) para o mapeamento de áreas suscetíveis à ocorrência de inundação, foram definidas as principais classes associadas a cada variável, ou seja, foi subdividido em classes que mais influenciam na susceptibilidade das áreas, bem como os pesos e notas consideradas para a área do estudo.

Desta forma, a construção das análises baseou-se na organização e aplicação da Árvore de Decisões, na qual consiste no procedimento de avaliação por critérios múltiplos (Tabela 3).

Tabela 3 – Subdivisão das variáveis, peso e notas atribuídas aos mapas e às classes.

<b>Mapa</b>	<b>Peso (%)</b>	<b>Classe</b>	<b>Nota</b>
Hidrografia (Buffers)	22	50m	1
		100m	3
		200m	10
Clinografia	25	0-3%	10
		3-8%	8
		8-20%	3
		20-45%	0
		>45%	0
Uso do solo	20	Lâmina d'água	10
		Solo Exposto	10
		Área Urbana	10
		Campo	5
		Floresta	0

Solo	15	Planossolo Háplico Eutrófico (SXe19)	10
		Neossolo Litólico Eutrófico (RLe23)	5
Geomorfologia	10	Planície alúvio-coluvionar	10
		Depressão do Rio Jacuí	10
		Serra Geral	5
		Planalto dos Campos Gerais	0
Geologia	8	Depósito-aluvionares	10
		Caturrita	8
		Botucatu	2
		Gramado	0

Fonte: Autora (2018).

Cabe ressaltar que a escolha das variáveis, bem como atribuições de pesos e notas para as avaliações devem ser realizadas de acordo com a opinião do pesquisador do trabalho, além de contar com técnicos especializados nos temas em discussão com propósito de obter valores mais próximos à realidade (MARINO et al., 2012).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ANÁLISE TEMÁTICA

Mediante a avaliação ambiental foi possível atribuir pesos aos mapas temáticos envolvidos na análise e as notas para cada parâmetro (classe) pertinente ao respectivo mapa. No software Vista SAGA atribuiu-se os pesos (100%) e as notas de 1 (baixíssima susceptibilidade) a 10 (altíssima susceptibilidade) às diferentes classes temáticas.

#### 4.1.1 *Buffers*

Os *buffers* indicam a distância em metros em relação aos cursos hidrográficos do município de Dona Francisca e corresponde às seguintes faixas com suas respectivas notas quanto a susceptibilidade de ocorrência à inundação: 200m (nota 10 – altíssimo); 100m (nota 3 – baixo) e; 50m (nota 1 – baixíssimo).

A variável hidrografia (*buffers*) recebeu o peso equivalente a 22% dos mapas integrantes a análise.

#### 4.1.2 Aspectos clinográficos

A variável clinográfica (declividade) recebeu o maior peso (25%); pois possui grande influência, sendo que as diferentes inclinações do relevo apresentam uma intensa relação com a dinâmica hidrológica, uma vez que está relacionada com a velocidade do escoamento superficial das águas e com as áreas naturalmente expostas às inundações.

Na análise da declividade quanto à susceptibilidade à inundação foi possível constatar por meio do mapeamento, cinco classes temáticas sendo:

**a) 0 a 3% (nota 10 – altíssimo):** predominante na área leste e sul do município, este intervalo corresponde a áreas caracterizadas por um relevo mais plano, onde se destaca a Planície alúvio-coluvionar. As declividades baixas, elemento característico da área de estudo, apresentam lugares favoráveis para o desenvolvimento das atividades agrícolas, como por exemplo, o cultivo do arroz irrigado, a ocupação urbana e rural, contudo estas atividades associadas aos cursos

d'água podem trazer riscos para a drenagem, vindo a agravar o fenômeno de inundação.

**b) 3 a 8% (nota 8 – alto):** são caracterizadas pela presença de um relevo suave ondulado, destacadas na região centro-oeste e na porção norte do município.

**c) 8 a 20% (nota 3 – baixo):** encontra-se principalmente na porção norte/sul e na região oeste, confere um relevo com característica ondulado. Deve-se salientar que não foi considerado como baixíssimo potencial para a ocorrência à inundação nas declividades de 8 a 20%, pois parte dessa declividade encontra-se próximo ao afluente o Arroio Trombudo localizado no interior do município.

O Arroio Trombudo quando a precipitação é intensa, transborda e acaba inundando algumas propriedades rurais, bem como interrompendo estradas de acessos (Figura 3).

Figura 3 – Arroio Trombudo, Dona Francisca, RS.



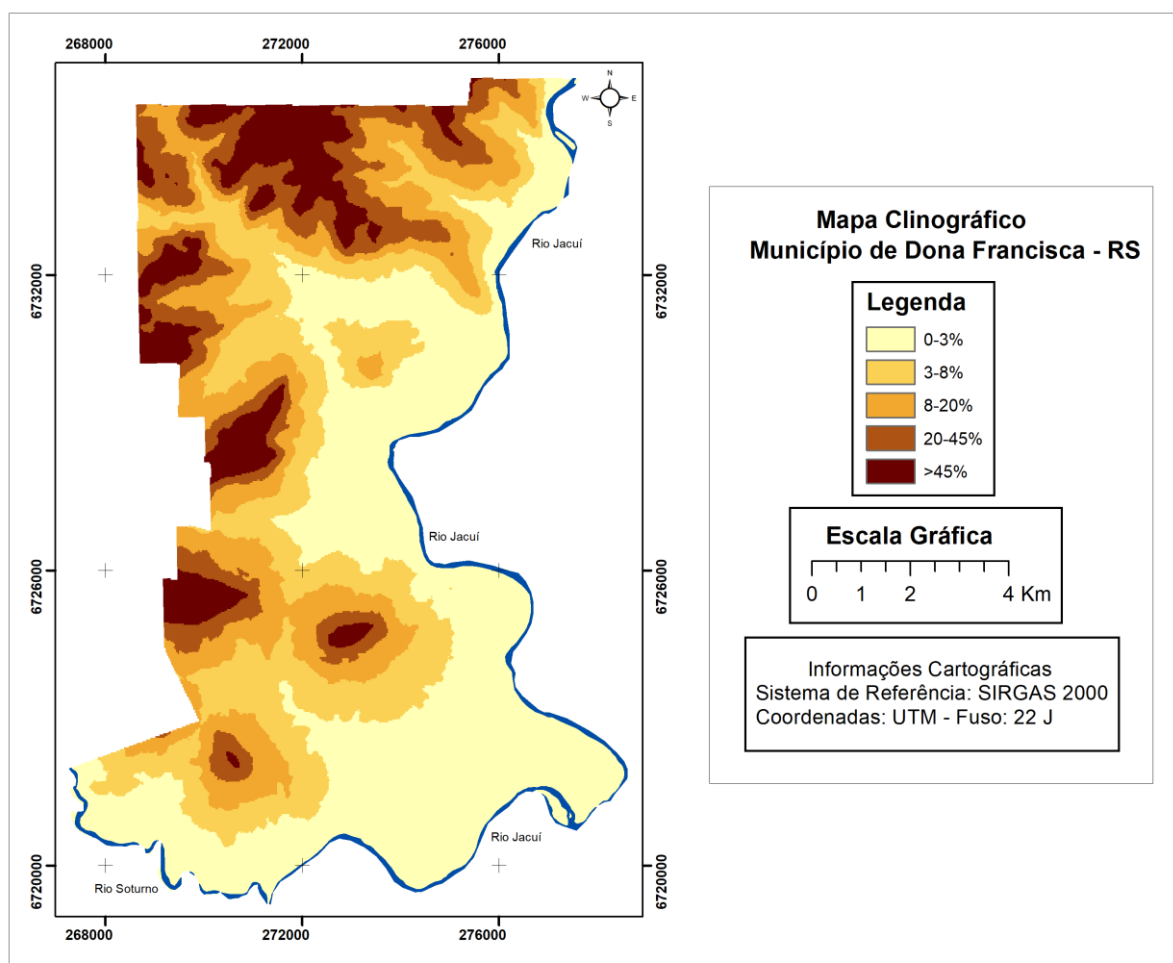
Fonte: Hineraski (2015).

**d) 20 a 45% (nota 0 – baixíssimo):** ocorre também na região oeste e norte, sendo marcado por um relevo fortemente ondulado.

**e) >45% (nota 0 – baixíssimo):** situa-se predominantemente nos pontos mais altos (topos de morros) localizados na região oeste e norte do município, onde se encontram o Planalto dos Campos Gerais e Serra Geral formado por um relevo montanhoso (Figura 4).



Figura 4 – Mapa clinográfico utilizado para a análise ambiental, Dona Francisca, RS.



Fonte: Salomão (1999), Ross (2011), Autora (2018).

#### 4.1.3 Aspectos do uso e cobertura do solo

Segundo Robaina et al. (1999, p.121) “a análise do uso da terra é de fundamental importância, afim de que se possa diagnosticar e planejar uma forma mais adequada e racional da ocupação do solo”. Para a análise do uso e cobertura do solo, levou-se em consideração a permeabilidade do solo, no qual está relacionada diretamente com as taxas de infiltração e escoamento superficial.

O peso atribuído foi de 20% e as classes temáticas foram divididas em:

**a) Lâmina d’água (nota 10 – altíssimo):** estas áreas são naturalmente e constantemente inundadas, quando há intensas precipitações.

**b) Solo exposto (nota 10 – altíssimo):** destaca-se principalmente em áreas planas com declividade de 0 a 3% em toda a porção leste do município às margens do rio Jacuí e Soturno. Nestas áreas a principal cultura agrícola que sofre com as inundações é o cultivo do arroz irrigado (Figura 5), gerando muitas vezes perdas econômicas ao orizicultor.

O efeito da gota da chuva quando atinge o solo sem proteção da matéria orgânica ou cobertura vegetal pode provocar erosões acentuadas. Essas erosões resultam em um maior volume de sedimentos que são lançados na rede de drenagem, além disso, elementos artificiais, como por exemplo, as construções com materiais impermeáveis influenciam no volume de chuva que contribui significativamente para o transbordamento da calha fluvial.

Figura 5 – Cultivo do arroz irrigado, interior do município de Dona Francisca, RS.



Fonte: Alves (2017).

**c) Zona Urbana (nota 10 – altíssimo):** nesta área ocorre à redução do volume de infiltração da água precipitada devido à impermeabilização. A zona urbana está localizada na região de áreas planas com declividade (0 a 3%). Quando ocorrem inundações no município uma pequena parcela das casas que estão localizadas relativamente próximas ao rio Jacuí são invadidas pela água, bem como o Parque Histórico Municipal Obaldino Tessele (Figura 6).

A supressão da vegetação, compactação do solo, asfaltamento das ruas, construção de prédios e de calçadas causam interferência na magnitude e no regime do escoamento da água (ARAÚJO NETO e BAPTISTA, 1995). Araújo et al. (2000) realizaram simulações com precipitação artificial sobre diferentes tipos de pavimentos e averiguaram que o escoamento superficial é 44% maior que o do solo compactado o que é de grande importância para a temática de inundações.

A impermeabilização favorece o escoamento das águas para o seu ponto mais baixo denominado de exutório, mais rapidamente e de forma concentrada, gerando assim, o aumento na magnitude e frequência das enchentes (BOTELHO, 2011), o que contribui especialmente com a problemática em relação à ocorrência de inundações.

Figura 6 – Área urbana inundada (a) e o Parque Histórico Municipal Obaldino Tessele (b), Dona Francisca, RS.



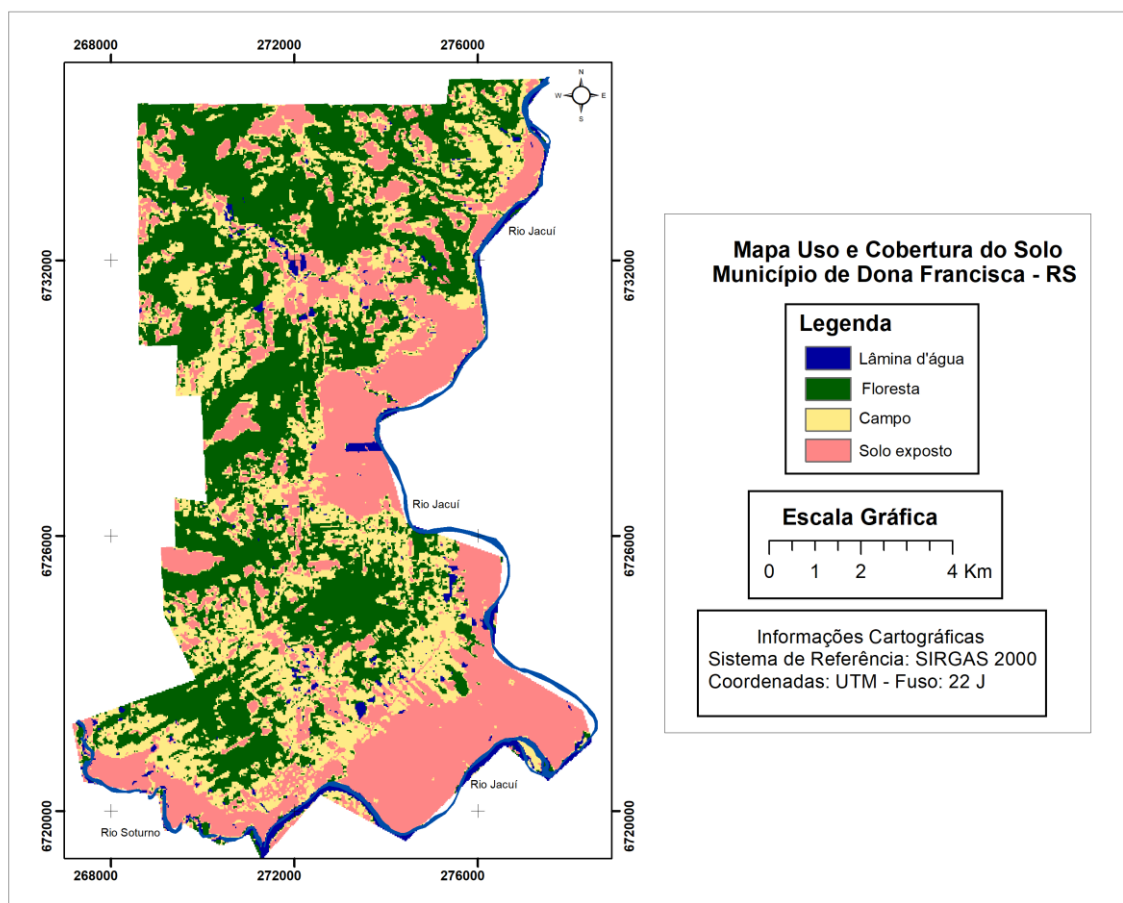
**Fonte:** Rádio Jornal Integração (2015).

**d) Campo (nota 5 – médio):** está situada na região central, mais precisamente nas declividades plano e suavemente ondulado (0 a 8%). Essa vegetação desempenha importante papel na filtragem da água que chega até os cursos hídricos, assim como favorece a decantação de sedimentos.

**e) Floresta (nota 0 – baixíssimo):** estas áreas são evidenciadas na porção oeste do município e em topos de morros, onde as declividades variam de 8% a >45% (Figura 7). Enquanto que nas áreas com declividade de 0 a 3% é possível encontrar remanescentes de florestas ao longo do curso dos rios Jacuí e Soturno.

Cabe salientar que na temática das inundações, a cobertura vegetal exerce uma importante função, pois quanto mais densa a cobertura florestal, maior será a interceptação da água precipitada o que irá reduzir o volume do escoamento superficial e conseqüentemente diminuirá o aumento do nível das águas.

Figura 7 – Mapa do uso e cobertura do solo utilizado para a análise ambiental, Dona Francisca, RS.



Fonte: Usgs (2017), Autora (2018).

#### 4.1.4 Aspectos pedológicos

O solo é formado basicamente por aglomerados minerais e matéria orgânica, e possui uma grande importância na drenagem e infiltração da água. Para o parâmetro solo designou-se o peso de 15%, no qual levou-se em consideração as características físicas, destacando-se, textura, estrutura e permeabilidade.

As classes de solo representativas no município são:

**a) Planossolos Háplicos Eutróficos – Sxe13 (nota 10 – altíssimo):** predomina em quase toda a extensão do município. O Planossolos Háplicos Eutróficos encontra-se nas áreas de várzea e depressões, com relevo plano a suavemente ondulado. São solos verdadeiramente hidromórficos e tem como principal atividade econômica a produção do arroz irrigado no município de Dona Francisca.

Conforme Arruda (2008, p. 12) este solo quando inserido no relevo do tipo ondulado favorece os “processos erosivos do tipo laminar, e o solo se esvai facilmente pelos sulcos. Tal susceptibilidade impõe a esses solos procedimentos de práticas agropecuárias que sejam compatíveis com a sua preservação”.

O Planossolos Háplicos Eutróficos possui drenagem natural deficiente e a alta saturação por bases (STRECK et al., 2008); motivo pelo qual nessas áreas há maior propensão à inundação do que no Neossolo Litólicos Eutróficos. A característica marcante no Planossolo segundo a Embrapa (1999, p. 95) é “a diferenciação bem acentuada entre os horizontes A ou E e o B, devido à mudança textural normalmente abrupta, ou com transição abrupta conjugada com acentuada diferença de textura do A para o horizonte B”.

Para a Embrapa (1999, p. 95) o Planossolo possui horizontes que,

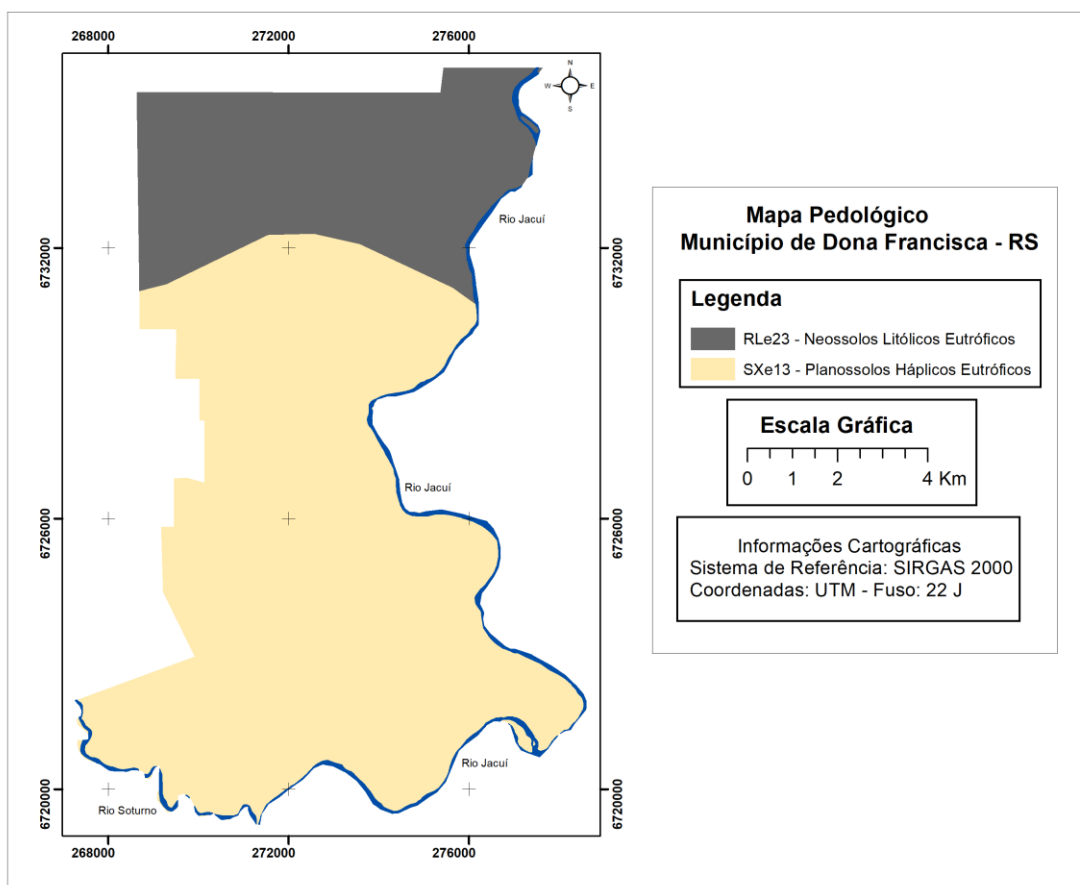
apresentam-se adensados, com teores elevados em argila dispersa, constituindo, por vezes, um horizonte pã, condição essa que responde pela restrição à percolação de água, independente da posição do lençol freático, ocasionando retenção de água por algum tempo acima do horizonte B, o que se reflete em feições associadas com excesso de umidade.

**b) Neossolos Litólicos Eutróficos – RLe23 (nota 5 – médio):** destacou-se na porção norte da área de estudo, em declividades mais acentuadas (maior que 20%) (Figura 8). Streck et al. (2008), ressalta que o Neossolo Litólicos Eutróficos possuem alta susceptibilidade à erosão hídrica, por serem solo rasos e com

sequência de horizontes A-R que têm baixa capacidade de infiltração e armazenamento de água no solo, o que impossibilita o seu uso com culturas anuais, diante deste fato, estas áreas devem ser mantidas com vegetação natural. Conforme a Embrapa (1999) os Neossolos podem apresentar alta saturação por bases, acidez e altos teores de alumínio e de sódio.

O Neossolo Litólico é formado pela dissolução do material de origem e por processos erosivos, devido a sua localização em áreas de relevo fortemente ondulado, além do mais, trata-se de solos jovens e pouco desenvolvidos; onde geralmente a soma dos horizontes sobre a rocha não ultrapassa 50 cm; normalmente são solos pedregosos e/ou rochosos sendo encontrados em diversos tipos de relevo e drenagens (ARRUDA, 2008; STRECK et al., 2008).

Figura 8 – Mapa pedológico utilizado para a análise ambiental, Dona Francisca, RS.



Fonte: Embrapa (2011), Autora (2018).



#### 4.1.5 Aspectos geomorfológicos

Os aspectos geomorfológicos possibilitaram realizar uma análise detalhada das diferentes feições e modelos do relevo que se encontram na área de estudo, contribuindo assim, na identificação das áreas suscetíveis as inundações, estando estas relacionadas diretamente com as formas do relevo. Para os aspectos geomorfológicos atribuiu-se o peso de 10% e as classes representativas foram:

**a) Depressão do Rio Jacuí (nota 10 – altíssimo):** a Depressão do Rio Jacuí destacou-se na porção centro-sul do município, com declividades que variam de 0 a 3% até 20%. Segundo Schirmer et al. (2013) a Depressão do Rio Jacuí apresenta vastas superfícies planas, recobertas por colúvios, com dissecação incipiente, formando colinas. Viero e Silva (2010, p. 42) destacam que “esses terrenos estão parcialmente recobertos pela extensa planície aluvial do rio Jacuí e de seus tributários principais”. Para Justus et al. (1986), salientam que nestas áreas há predomínio de colinas suaves entalhadas por sulcos e por cabeceiras de drenagem de primeira ordem e amplos interflúvios sobre os limos e argilas do substrato.

**b) Planície alúvio-coluvionar (nota 10 – altíssimo):** corresponde às áreas de várzeas ou áreas levemente inclinadas; estando destacada na porção leste e sul o qual corresponde às margens planas dos rios Jacuí e Soturno, tendo como declividades de 0 a 3%.

As características do Colúvio necessitam de cuidados na ocupação antrópica, pois segundo Cristo (2002, p. 92) “é um local com maior facilidade de ocorrerem movimentos de massa e, portanto, há necessidade de manter o local o mais estável possível, com medidas como a manutenção da vegetação natural”.

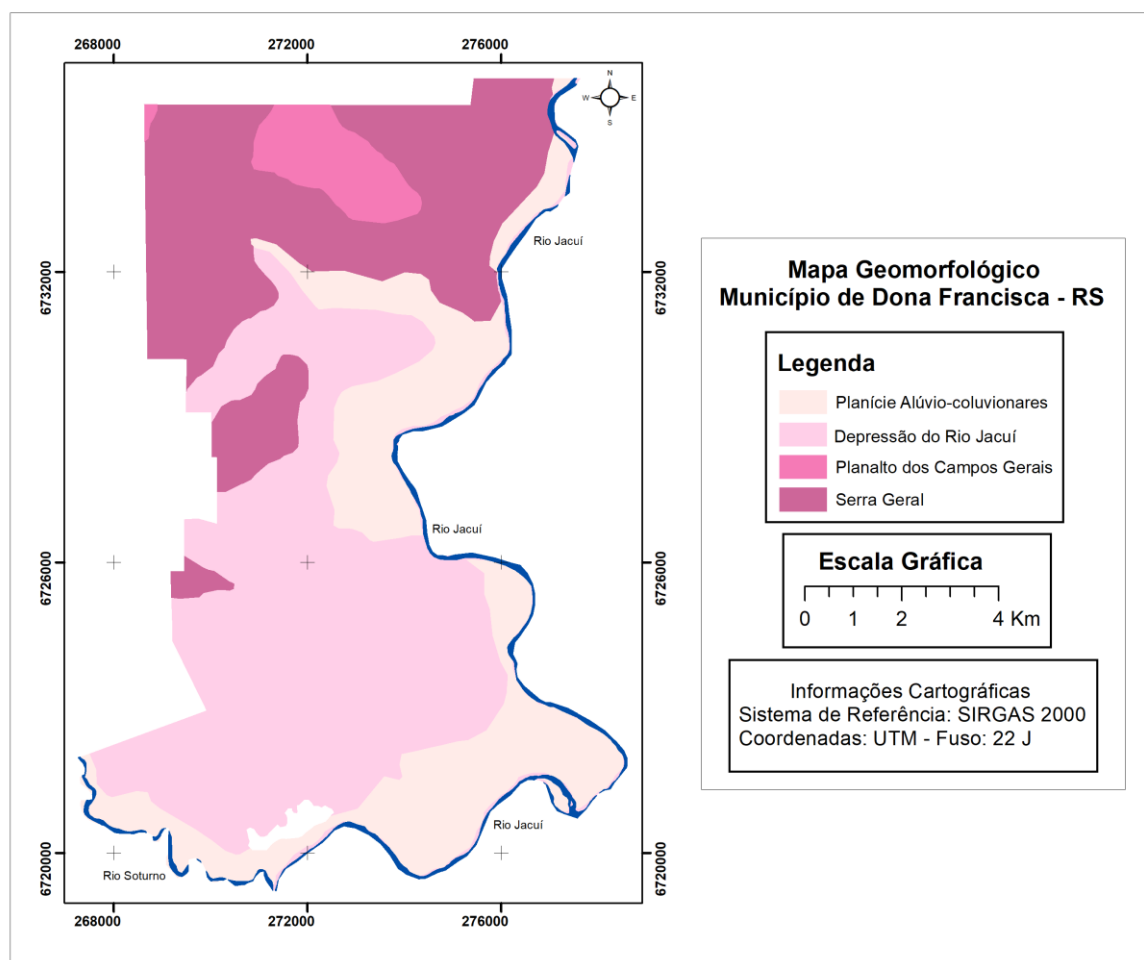
No município de Dona Francisca os depósitos aluvionares e os materiais coluviais são provenientes das cheias do arroio Trombudo, dos rios Jacuí e Soturno depositado sobre a planície de inundação.

**c) Serra Geral (nota 5 – médio):** foi possível averiguar apenas na porção norte, onde as declividades variam 8 a 20% e >45%. As características do relevo desta unidade geomorfológica de acordo com Lemos (2014) são propícias ao desenvolvimento e preservação florestal.

**d) Planalto dos Campos Gerais (nota 0 – baixíssimo):** destacaram-se apenas na porção norte da área de estudo; nesta área há o predomínio das declividades de 20% até >45%.

Segundo o Projeto Radam Brasil (1986), esse tipo de relevo foi desenvolvido sobre as formações vulcânicas, representadas por colinas de pequenas amplitudes e separadas por vales (Figura 9).

Figura 9 – Mapa geomorfológico utilizado para a análise ambiental, Dona Francisca, RS.



Fonte: Ibge (2017), Autora (2018).

#### 4.1.6 Aspectos geológicos

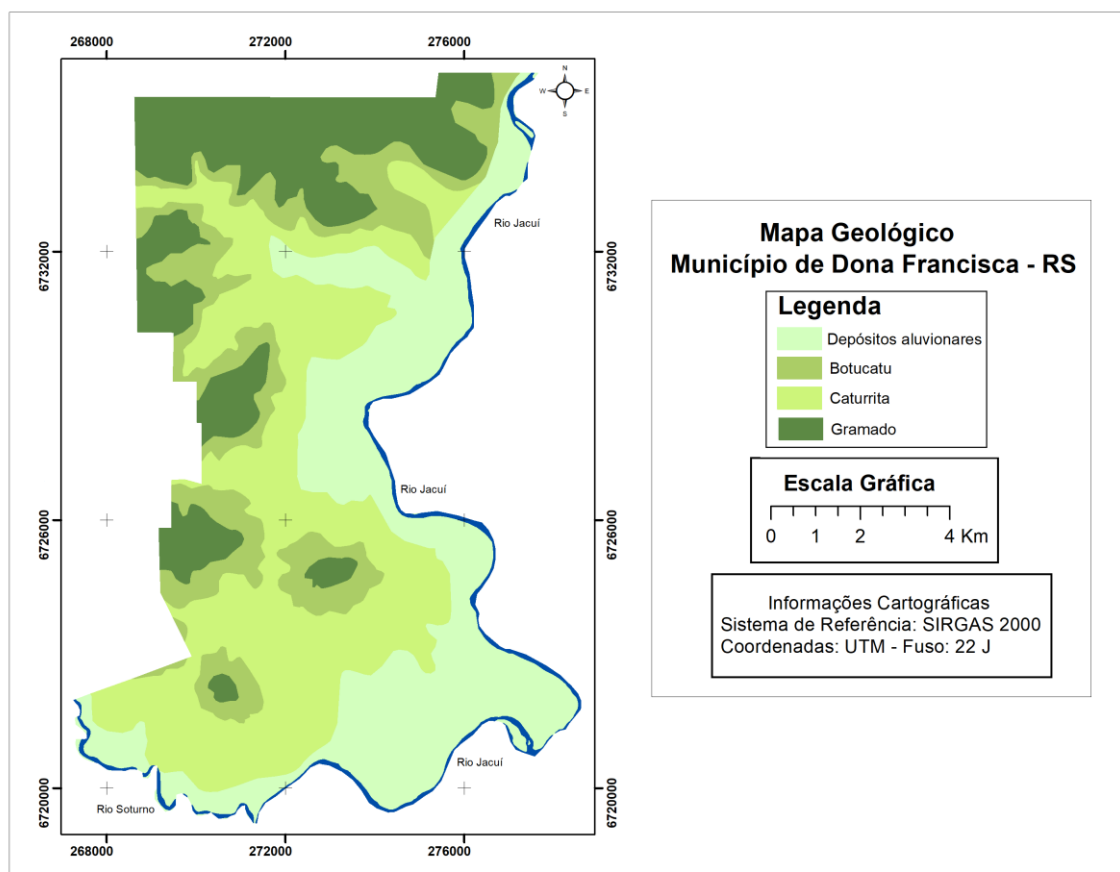
Para a avaliação ambiental dos aspectos geológicos do município de Dona Francisca atribui-se o peso de 8%, e caracterizam-se pela presença de:

**a) Depósito-aluvionares (nota 10 – altíssimo):** essa formação geológica encontra-se ao longo das margens dos rios Jacuí e Soturno, destacando-se nas menores declividades (0 a 3%). Estudos realizados por Schirmer et al. (2013) nos



municípios da região da Quarta Colônia salientaram que os Depósito-aluvionares apresentam baixa declividade, menor que 5% (Figura 10).

Figura 10 – Mapa geológico utilizado para a análise ambiental, Dona Francisca, RS.



Fonte: Cprm (2017), Autora (2018).

Conforme Miranda (2016, p. 41), os Depósito-aluvionares são “aluviões recentes; sedimentos arenosos, argilo-arenosos e conglomeráticos inconsolidados, depositados ao longo dos canais ativos das drenagens”.

Para Carvalho et al. (2014), os Depósito-aluvionares são detritos ou sedimentos de qualquer natureza, carregados e depositados pelos rios. Este material é retirado das margens e das vertentes, sendo levado em suspensão pelas águas dos rios que o acumulam em bancos, constituindo os Depósito-aluvionares (GUERRA e GUERRA, 2003). Conforme Schirmer et al. (2013, p. 205) destacaram que “os Depósito-aluvionares com cultivo do arroz são as principais características

de uso dessa unidade”, fato esse que no município de Dona Francisca se faz presente.

De acordo com o Projeto Biodiversidade (2014), são formados por cascalhos, areias e siltes finos, depositados por um sistema fluvial no leito e nas margens das drenagens, incluindo as planícies de inundação.

**b) Formação Caturrita (nota 8 – alto):** destacou-se nos relevos plano (0 a 3%) e suavemente ondulado (3 a 8%). Foi possível observar que a formação Botucatu é discordante, sendo que os arenitos eólicos dessa unidade sobrepõem as litologias da formação Caturrita. A formação Caturrita é constituída por camadas de arenitos finos a médios, na tonalidade cinza claro de composição quartzosa (BORTOLUZZI, 1974; MACIEL et al., 1990).

**c) Fácies Gramado (nota 0 – baixíssimo) e Formação Botucatu (nota 2 – baixíssimo):** situam-se predominantemente nas regiões norte e oeste, nessas áreas o relevo se apresenta com topografia fortemente ondulado (20 a 45%) e montanhoso (>45%). As fácies Gramado encontram-se ao longo da Serra Geral e sobre os sedimentos arenosos da formação Botucatu.

A formação Botucatu segundo Schirmer (2012, p. 79) é “de origem eólica, constituído por grãos bem selecionados e dispostos em estratos cruzados de alto ângulo formando “sets” bastante longos”. Essa formação conforme Bortoluzzi (1974) é composta por arenitos essencialmente quartzosos contendo feldspatos alterados, cimentados por sílica, predominantemente, ou por óxido de ferro.

## 4.2 ÁREAS SUSCETÍVEIS À OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÕES

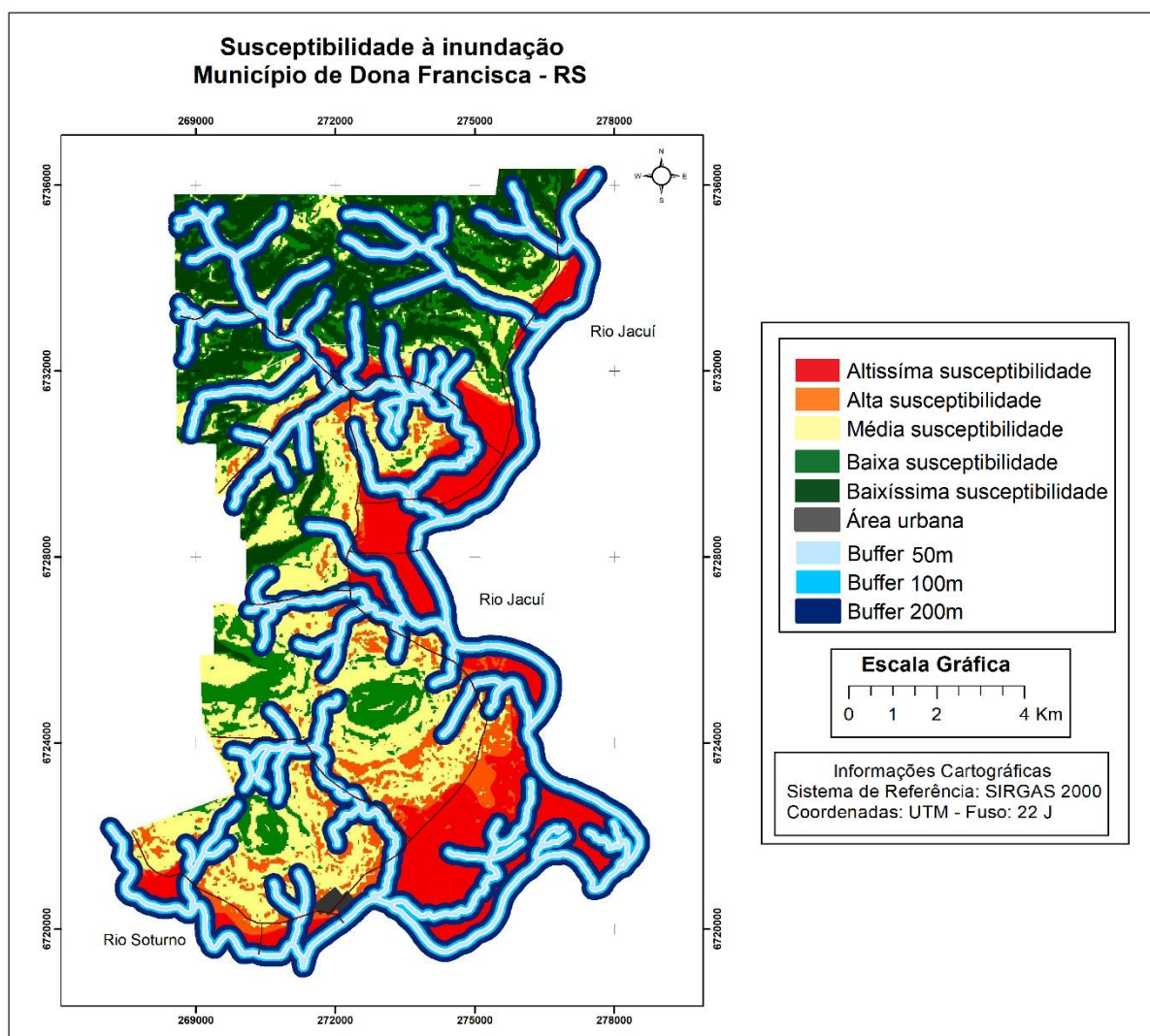
Com base nos pesos e nas notas definidas e atribuídas no software Vista SAGA para as variáveis clinografia (declividade), uso e cobertura do solo, tipologias de solo (pedologia), geomorfologia e geologia, foi possível realizar o cruzamento dessas variáveis obtendo o mapeamento das áreas suscetíveis à ocorrência de inundações. Posteriormente obteve-se as ponderações de cada parâmetro que variaram de 1 (baixíssimo) a 10 (altíssimo) (Tabela 4), de acordo com a susceptibilidade. A avaliação ambiental, baseada na média ponderada, possibilitou gerar o mapa no qual apresenta as áreas com diferentes susceptibilidades a ocorrência de inundação (Figura 11).

Tabela 4 – Classificação da susceptibilidade à inundação em Dona Francisca, RS, conforme as notas atribuídas.

Notas	Susceptibilidade à inundação
0, 1 e 2	Baixíssimo
3 e 4	Baixo
5 e 6	Médio
7 e 8	Alto
9 e 10	Altíssimo

Fonte: Autora (2018).

Figura 11 - Mapa das áreas suscetíveis à inundação, Dona Francisca, RS.



Fonte: Autora (2018).

As áreas classificadas como altíssima susceptibilidade à inundação no município de Dona Francisca concentrou-se nas porções mais planas, onde predominam as menores declividades de 0 a 3% (relevo plano) concentrados juntamente ao leito principal dos rios Jacuí e Soturno; confirmando assim o que era esperado, pois em condições de precipitação intensa e prolongada, geralmente essas áreas são atingidas pelas águas. Isso indica que em regiões planas as chances são maiores de ocorrer o processo de inundação (Figura 12). As áreas suscetíveis à inundação para Chaves e Peixoto Filho (2015) estão integradas a vales que passam rios e córregos, designado como planícies fluviais.

Lima (2010) em seu estudo sobre o mapeamento da susceptibilidade à inundação na bacia hidrográfica do Arroio do Salso, Porto Alegre/RS, constatou que as áreas suscetíveis mapeadas podem estar sujeitas a inundação provocada pelo lago Guaíba e pela retenção do escoamento pelo efeito dique das vias elevadas, o que ocasiona o extravasamento da drenagem principal e acúmulo local da água da chuva em decorrência da baixa declividade do terreno associada a solos com reduzida capacidade de drenagem.

Figura 12 – Áreas com altíssima susceptibilidade à inundação, Dona Francisca, RS.



**Fonte:** Alves (2015).

Quanto às características do solo, nestas áreas com altíssima susceptibilidade à inundação, destaca-se o Planossolos Háplicos Eutróficos. Referente  geomorfologia, as reas corresponderam a Planície alvio-coluvionar e a Depresso do Rio Jacuí, j no domínio geológico destacou-se o Depósito aluvionares.

Siqueira et al. (2006, p. 55) destacaram que,

“as reas de planície aluvionar so as mais instáveis das classes geológicas, pois neste tipo de relevo ocorre a acumulaco de sedimentos provenientes do arraste de outras reas pela ao da gua e por si só j consiste na regio de acumulaco de gua das inundaes naturais do rio”.

As características geomorfológicas de acordo com Lima (2010) contribuem para a susceptibilidade  inundao devido ao seu formato, sendo capaz de coletar grandes volumes de precipitao.

Em relao ao uso e cobertura do solo, estas reas de altíssima susceptibilidade s inundaes esto associadas s altas taxas de impermeabilizao do solo, onde se encontram a rea urbana do município e maioritariamente os ambientes agrícolas. Além disso, apresentam solo hidromórfico (Planossolos Háplicos Eutróficos), no qual no permite uma maior infiltrao de gua, podendo ser um dos fatores que vem a contribuir para o extravasamento do lenol freático na superfície, ocasionando assim, em muitos casos inundaes.

Referente s reas com alta susceptibilidade  inundao estas foram correlacionadas diretamente com a declividade de 0 a 8% (relevo plano e suavemente ondulado) e ao solo Planossolos Háplicos Eutróficos. As feies geomorfológicas e geológicas destacaram-se principalmente na Depresso do Rio Jacuí e Caturrita respectivamente. Quanto ao uso e cobertura do solo, destacam-se o Solo exposto e Campo.

A média susceptibilidade a inundao caracterizou-se também pelo solo Planossolos Háplicos Eutróficos. Nestas reas destacaram-se principalmente o Campo e Florestas, com predomínio de declividades superiores a 8%. Referente a geomorfologia est caracterizou-se por elevaes em forma de morros (Serra Geral) e Depresso do Rio Jacuí; cuja as feies geológicas so Caturrita e Botucatu.

As reas de baixa e baixíssima susceptibilidade  ocorrência de inundaes foram relacionadas com as declividades superiores a 20% (fortemente ondulado e

montanhoso). Por apresentarem declividades altas a possibilidade de ocorrer inundação é inexistente. No entanto, segundo Rezende et al. (2017, p. 15) “as áreas declivosas podem se tornar geradoras potenciais de fluxo superficial, que é drenado para as partes baixas, fundos de vales, contribuindo, assim, para a ocorrência de inundações”.

Muller (2012) avaliando a susceptibilidade a inundações na Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira em Joinville/SC constatou que as classes baixa e muito baixa/nula, relacionam-se as áreas nas quais o uso do solo apresenta vegetação arbustiva e arbórea com declividades superiores a 20%, e feições geomorfológicas na forma de morrarias e montanhas. O estudo de Temporim (2013) e Tucci (2009) enfatiza que as áreas íngremes não possuem capacidade de acumular de água.

Ainda no município de Dona Francisca – RS, destacaram-se o solo Neossolo Litólicos Eutróficos, sendo que a sua ocorrência está relacionada com as áreas que possuem topografia mais acentuada, bem como o uso do solo que é representado por florestas. Fato esse que é justificado no trabalho de Schuch et al. (2016), o qual evidenciaram que as áreas menos suscetíveis a inundações na Ilha de Santa Catarina/SC, são aquelas cobertas por vegetação e com relevo ondulado a forte ondulado.

## 5 CONCLUSÃO

O uso de geotecnologias (Geoprocessamento e SIG) permitiu realizar a avaliação ambiental dos dados obtidos por diferentes mapas temáticos, auxiliando na representação das características ambientais do município de Dona Francisca.

Por meio do mapeamento das áreas suscetíveis a inundações foi possível averiguar que no município de Dona Francisca as susceptibilidades altíssima e alta englobam um conjunto de fatores, sendo: as baixas declividades (0-3% e 3-8%), padrões e formas de relevo (planícies), ausência de cobertura vegetal (solo exposto), tipologia dos solos (Planossolos Háplicos Eutróficos). Quanto a geomorfologia, as áreas corresponderam a Planície alúvio-coluvionar e a Depressão do Rio Jacuí, enquanto o domínio geológico destacou-se o Depósito aluvionares.

De maneira geral, o desenvolvimento desta pesquisa foi importante para o conhecimento da realidade do município, sendo possível notar que o predomínio de áreas de ocorrência a s susceptibilidade a inundação foi de: média, baixa e baixíssima.

Do mesmo modo, a área de estudo é evidenciada por suas características naturais, principalmente por sua disposição geográfica, no qual é propícia a susceptibilidade a ocorrência de inundações, requerendo observância e planejamento quanto à ocupação urbana, bem como com técnicas de manejo empregadas para o desenvolvimento da agricultura nestas áreas.

Por fim, analisar áreas suscetíveis à ocorrência de inundações de uma determinada região é uma questão complexa, pois envolve diversos fatores, partindo da susceptibilidade natural e dos aspectos relacionados às atividades antrópicas na ocupação do espaço.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, E. R. 2009. 84 p. **Aplicação de geotecnologia na gestão ambiental do município de Salinas, Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente). Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, Bahia, 2009.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologisch e Zeitschrift**, Berlin, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ALVES, L. F. 2015. **Arquivo Pessoal de Fotografias**.
- ALVES, L. F. 2017. **Arquivo Pessoal de Fotografias**.
- ANDRES, J. 2006. 86 p. **Análises Temporais e Espaciais do Uso da Terra no Município de Pirapó/RS, por meio de Geotecnologias**. Dissertação (Mestrado em Geomática) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2006.
- ARAÚJO NETO, M. D.; BAPTISTA, G. M. de M. **Recursos hídricos e ambiente**. Brasília: Edição do Autor, 1995. 67 p.
- ARAÚJO, P. R.; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUN, J. A. Análise da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. In: TUCCI, Carlos E.M.; MARQUES, D.M.L.M. (Orgs.). **Avaliação e controle da drenagem urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade do Rio Grande do Sul, 2000, 558 p.
- ARRUDA, L. V. de. 2008. 105 p. **Caracterização de ambientes agrícolas e dos principais solos do município de Guarapira – PB**. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB, 2008.
- ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de Informações Geográficas. Aplicações na agricultura**. 2 ed., ver. e ampl. Brasília: Embrapa. 1998. 434 p.
- AQUINO, C. S.; VALLADARES, G. S. Geografia, geotecnologias e planejamento ambiental. **Geografia (Londrina)**, v. 22, n. 1, p. 117-138, 2013.
- BARROS, A. C. de.; SILVA, T. J. de.; COSTA, M. de M. Sensoriamento Remoto na análise ambiental da microbacia do córrego da água amarela Itaberá/SP. **Revista Holos Environment**, v. 16, n. 1, p. 1-9, 2016.
- BENEDETTI, A. C. P. 2010. 167 p. **Modelagem dinâmica para simulação de mudanças na cobertura florestal das Serras do Sudeste e Campanha Meridional do Rio Grande do Sul**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.



- BIANCHI, A. C. 2007. 162 p. **Avaliação de propostas públicas municipais e regionais no âmbito do planejamento integrado do turismo sustentável na Quarta Colônia, RS, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional). Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul, 2007.
- BOTELHO, R. G. M. Bacias hidrográficas urbanas. In: GERRA, A J. T. (Org.). **Geomorfologia urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011, p.71-115.
- BORTOLUZZI, C.A. Contribuição à Geologia da Região de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas**, Porto Alegre, v. 4, n. 1, p.7-86, 1974.
- BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford, Clarendon Press, 1987. 193 p.
- BURROUGH, P. A.; MCDONNEL, R. A. **Principles of Geographical Information Systems**. Oxford: Clarendon Press, 1998. 333 p.
- BLASCHKE, T.; LANG, S. **Análise da Paisagem com SIG**. Tradução Herman Kux. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- BRASIL. Ministério das Cidades. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios**. Organizadores: CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S. de.; OGURA, A. T. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007. 176 p.
- CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. **Geoprocessamento para projetos ambientais: tutorias para cursos**. São José dos Campos, SP, 1996. 161 p.
- CARVALHO, J, C; SALES, M, M; SOUSA, N, M; MELO, M, S, T (Organizadores). **Processos erosivos no Centro-Oeste brasileiro**. 1 ed. Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC, 2006. 464 p.
- CARVALHO, T. S. S.; MIRANDA, S. R.; CÂMARA, L. B. N.; SOARES, S. T. J. Caracterização dos depósitos aluvionares do Igarapé Paiva na Serra do Tepequém-RR. **Anais...** Simpósio Nacional de Geomorfologia, Manaus-AM, Brasil, 18 a 22 de Outubro de 2014.
- CASASSOLA, N. B. **Dona Francisca, nossa terra nossa gente**. 1978. 65 p. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 1978.
- CASTRO, A. L. C. de. **Glossário de Defesa Civil: Estudos de riscos e medicina de desastres**. 2ª Edição, Revista e Ampliada. Ministério do Planejamento e Orçamento - Secretaria Especial de Políticas Regionais - Departamento de Defesa Civil. Brasília, 1998. 173 p.
- CASTRO, A. L. C. de. **Manual de Desastres: Desastres Naturais**. Vol. I. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2003. 173 p.

CORVALÁN, S. B.; GARCIA, G. J. Avaliação ambiental da APA Corumbatai segundo critérios de erodibilidade do solo e cobertura vegetal. **Revista Geociências**, v. 30, n. 2, p. 269-283, 2011.

CHAVES, I. S. B.; PEIXOTO FILHO, G. E. Identificação de áreas suscetíveis à ocorrência de inundações na Região Administrativa Fercal (RA XXXI). **Anais... XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.

CHRISTOFOLETTI, A. aplicabilidade dos conhecimentos geomorfológicos nos projetos de planejamento. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. p. 415-440.

CPRM. **Serviço Geológico do Brasil**. Disponível em: <<http://geobank.cprm.gov.br/>>. Acesso em: 27 de nov. 2017.

CRISTO, S. S. V. 2002. 221 p. **Análise de susceptibilidade a riscos naturais relacionados à enchentes e deslizamentos do setor leste da Bacia Hidrográfica do Rio Itacorubi, Florianópolis, Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2002.

DIAS, J. E.; GOES, M. H. B.; SILVA, J. X.; GOMES, O. V. O. Geoprocessamento aplicado à análise ambiental: o caso do município de Volta Redonda/RJ. In: SILVA, J. X. da, ZAIDAN, R. T. **Geoprocessamento e análise ambiental: aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 143-177.

ELLIS, E. PONTIUS, R. Uso da terra e mudanças na cobertura da terra. In: **Enciclopédia da Terra**. Eds. Cutler Cleveland J. 2007. Disponível em: [http://www.eoearth.org/article/Land-use\\_and\\_landcover\\_change](http://www.eoearth.org/article/Land-use_and_landcover_change). Acesso em: 03 de nov. de 2017.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 1999. 412 p.

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. 2017. Disponível em: <<https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr/download/rs/rs.htm>>. Acesso em: 27 de nov. 2017.

\_\_\_\_\_. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Disponível em: <<http://sosgisbr.com/2012/06/04/mapa-de-solos-do-brasil-2011-embrapa/>>. Acesso em: 27 de nov. 2017.

ESPÍRITO-SANTO, M. M.; FAGUNDES, M.; NUNES, Y. R. F.; FERNANDES, G. W.; AZOFEIFA, G. A. S. QUESADA, M. Bases para a conservação e uso sustentável das florestas estacionais decíduas brasileiras: a necessidade de estudos multidisciplinares. **Revista Unimontes Científica**, v. 8, n. 1, p. 13-18, 2006.

- FAVERA, A. D. 2006. 127 p. **O cenário produtivo e a representatividade dos rios Jacuí e Soturno para o município de Dona Francisca – RS**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2006.
- FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- FLORENZANO, T. G. **Introdução à geomorfologia. Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de textos, 320 p. 2008.
- FUJIMOTO, N. S. V. M. Alterações ambientais urbanas na área da bacia hidrográfica da barragem Mãe D'água: evolução da ocupação e uso da terra. Porto Alegre: AGB, **Boletim Gaúcho de Geografia**, v. 28, n. 1, p. 67-83, 2002.
- GARCIA, R, A, C; ZÉZERE, J, L. Avaliação de riscos geomorfológicos: conceitos, terminologia e métodos de análise. In: Seminário Recursos Geológicos, III, Vila Real, 2013. Ambiente e Ordenamento do Território. Vila Real: **Livro de Actas**, 2013. p. 299-308.
- GOERL, R. F.; KOBAYAMA, M. Considerações sobre as inundações no Brasil. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa. **Anais...**Porto Alegre, ABRH, 2005.
- GUERRA, A. J. T.; GUERRA, A. T. **Novo dicionário Geológico-Geomorfológico**. 3ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 652 p.
- GUERRA, A. J. T. Encostas urbanas. In: GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. Cap. 1. p. 13-42.
- HINERASKI, L. 2015. **Arquivo Pessoal de Fotografias**.
- IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2010. Disponível em: <[www.cidades.ibge.gov.br](http://www.cidades.ibge.gov.br)>. Acesso em: 27 de nov. 2017.
- \_\_\_\_\_. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/painel/populacao.php?lang=&codmun=430670&search=rio-grande-do-sul|dona-francisca|inogr%E1ficos:-evolu%E7%E3o-populacional-e-pir%E2mide-et%E1ria>>. Acesso em: 27 de nov. 2017.
- IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações 1:25.000 (livro eletrônico)**: nota técnica explicativa/coordenação Omar Yazbek Bitar. -- São Paulo: IPT Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; Brasília, DF. CPRM Serviço Geológico do Brasil, 2014.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução: EPIPHANIO, J. C. N (coordenador)...[et al.]. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 598 p.
- JULIÃO, R. P.; NERY, F.; RIBEIRO, J. L.; BRANCO, M. C.; ZÉZERE, J. L. 2009. **Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para**

**criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de base municipal.** 93 p. 2009.

JUSTUS, J. de. O. ; MACHADO, M. L. de A.; FRANCO, M. DO S. M. Geomorfologia. In: **Levantamento de Recursos Naturais**, v. 33 - Folha SH.22 Porto Alegre e303 parte das folhas SH. 21. Uruguaiana e Sl.22 Lagoa Mirim. Rio de Janeiro, 1986, 791p. p. 313-404.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V. O; MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLERI, G. S. F.; RUDORFF, F. M. **Prevenção de Desastres Naturais: Conceitos Básicos.** Curitiba: Ed. Organic Trading. 2006. 109 p.

LAGO, R. B.; FARENZENA, D. Contrastes socioeconômicos do conjunto habitacional Gentil Tessele e área central da cidade de Dona Francisca, RS. **Disciplinarum Scientia.** Série: Ciências Humanas, S. Maria, v. 9, n. 1, p. 17-34, 2008.

LAZAROTTO, D. R. "**O que são geotecnologias**". 2002. Disponível em: <<http://www.fatorgis.com.br>>. Acesso em: 05 dez. 2017.

LE MOS, A. C. C. 2014. 102 p. **Análise geológico-geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana/RS para o reconhecimento de ambientes vulneráveis.** Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul. 2014.

LI, Z., YU, G., XIAO, X., LI, Y., ZHAO, X., REN, C., ZHANG, L., FU, Y. Modeling gross primary production of alpine ecosystems in the Tibetan Plateau using MODIS images and climate data. **Remote Sensing of Environment**, v. 107, p. 510-519, 2007.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote Sensing and Image Interpretation.** 2ª Edition. New York. John Wiley & Sons. 2000. 721 p.

LIMA, L. M. M. 2010. 174 p. **Mapeamento da Suscetibilidade à inundação na Bacia Hidrográfica do Arroio Salso, Porto Alegre – RS.** Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul. 2010.

LISBÔA, T. F. P. 2013. 111 p. **Vulnerabilidade e capacidade de resposta à ameaça de inundação na bacia hidrográfica do rio Paracuri, Belém-PA.** Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

LOCH, C. **A interpretação de imagens aéreas: noções básicas e algumas aplicações nos campos profissionais.** Florianópolis: Ed. UFSC, 1993.

LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. **Sistemas e ciência da informação geográfica.** 3ª Ed. Bookman Editora. Porto Alegre. 2013. 540 p.

- MACIEL, C. L. F.; SARTORI, P. L. P.; VEIGA, P.; GASPARETTO, N. V. L. **Mapa Geológico da Folha de Camobi**. Santa Maria-RS: Imprensa Universitária, FINEP-UFSM, 1990.
- MAGALHÃES, I. A. L.; AGRIZZI, D. V.; THIAGO, C. R. L.; SANTOS, A. R. Metodologias distintas para mapeamento das áreas de risco de inundação em Guaçuí, ES, utilizando sistemas de informações geográficas. In: SANTOS, A. R.; PELUZIO, J. B. E.; PELUZIO, T. M. O.; SANTOS, G. M. A. D. A. (org.) **Geotecnologias aplicadas aos recursos florestais**. Alegre – ES, 2012. p. 114 – 125.
- MARCELINO, E. V. Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos. **Cadernos Didáticos**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais–INPE, Santa Maria, n. 1, p. 38, 2008.
- MARINO, T. B. 2008. 151 p. **Metodologia para tomadas de decisões no âmbito de riscos socioambientais de áreas urbanas: desmoronamento e enchentes em assentamentos precários na bacia do Córrego Cabuçu de Baixo – SP**. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- MARINO, T. B.; SILVA, J. X.; QUINTANILHA, A. Metodologia para tomada de decisão no âmbito de riscos socioambientais em áreas urbanas: desmoronamentos e enchentes em assentamentos precários na bacia do córrego Cabuçu de Baixo – SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 64, ed. 1, p. 83-101, 2012.
- MAKRAKIS, M. 2017. 106 p. **Mapeamento e análise das áreas suscetíveis a inundações no município de Lages-SC**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2017.
- MAZIERO, L. 2005. 115 p. **Levantamento da vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos no município de Dona Francisca-RS**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2005.
- MEDEIROS, J; CÂMARA, G. **Geoprocessamento para estudos Ambientais**. In: CÂMARA, G; DAVIS, C; MONTEIRO, A. M. V. (org (s), ed (s)) **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos, SP - INPE, 2001.
- MEIRELLES, M. S. P.; CAMARA, G.; DE ALEIDA, C. M. (Ed.). **Geomática: modelos e aplicações ambientais**. Embrapa Informação Tecnológica, 2007. 593 p.
- MIOLA, A. C. **Planejamento para comunidades rurais em situações de enchentes**. 2013. 216 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2013.
- MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005, 425 p.
- MIRANDA, N. M. G. 2016. 56 p. **Análise espacial da suscetibilidade à inundação da bacia hidrográfica do Ribeirão do Lipa, Cuiabá – MT**. Monografia (Trabalho de

Conclusão de Curso), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2016.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologias de aplicação**. 2. ed. Viçosa: UFV. Viçosa, MG. 2003.

\_\_\_\_\_, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologias de aplicação**. 3 ed. atual. ampl. Ed. UFV. Viçosa, MG. 2005. 320 p.

MULLER, C. R. 2012. 117 p. **Avaliação de suscetibilidade a inundações utilizando geotecnologias para a bacia hidrográfica do rio Cachoeira-Joinville/SC**. Dissertação (Mestrado em Planejamento Territorial e Desenvolvimento Socioambiental), Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis, SC. 2012.

NOVARES, C. P.; PERUSI, M. C. Determinação do grau de risco a enchentes na bacia do Córrego Morumbi, município de Piracicaba-SP. **Formação Oline**, v. 3; n°. 23. p. 143-162. 2016.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 4ª ed. São Paulo: Blucher, 2010. 387 p.

OLIVEIRA, G. G. de.; PENTEADO, F. A. DE, SALDANHA, D. L.; ROSS, J. L. S. Mapeamento e análise da distribuição das áreas inundáveis na bacia do rio dos Sinos/RS. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, 2009. **Anais...** Natal: INPE, 2009. p. 4173-4180.

PADILHA, R. de. C B. L. A.; KURDJIAN, M. de. L. N. de O. Aplicação da técnica de segmentação em imagens HRV/SPOT para a discriminação dos vazios urbanos. **Investigaciones Geográficas**, n.5, p. 93-102, 1996.

PAZ, V. P. D. S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 4 n. 3 p. 465-473. 2000.

PINTO, L. F. S.; LAUS NETO, J. A.; PAULETTO, A. E. Solos de várzea do Sul do Brasil cultivados com arroz irrigado. In: GOMES, A. S., MAGALHÃES JUNIOR, A. M. de. (Org.). **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas, 2004. 899 p.

PINTO, D. B. F.; SILVA, A. M.; MELLO, C. R.; COELHO, G. Qualidade da água do Ribeirão Lavrinha na região do alto rio Grande, Minas Gerais, Brasil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 4, p. 1145-1152, 2009.

PIROLI, E. L. **Introdução ao geoprocessamento**. Ourinhos: Unesp/Campus Experimental de Ourinhos, 2010. 46 p.

POMPÊO, C. A. Drenagem Urbana Sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 1, p. 15-23, 2000.

PMSBDF. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Dona Francisca**. 2011. 133 p. Disponível em: <

[http://www.donafrancisca.rs.gov.br/\\_arquivos/27a90292653be0ab00fdb43962f2bd22.pdf](http://www.donafrancisca.rs.gov.br/_arquivos/27a90292653be0ab00fdb43962f2bd22.pdf)>. Acesso em: 27 de nov. 2017.

PRINA, B. Z. 2015. 128 p. **Geotecnologias aplicadas no mapeamento das áreas de inundação do perímetro urbano de Jaguari/RS**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2015.

PROJETO RADAM BRASIL. **Folha SH. 22 Porto Alegre e parte das folhas SH. 21 Uruguaiana e SI. 22 Lagoa Mirim**. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 796 p. 1986.

PROJETO RS BIODIVERSIDADE. **Avaliação Ecológica Rápida Várzea do Ibicuí**. 2014. Disponível em: < <http://www.biodiversidade.rs.gov.br/arquivos> >. Acesso em: 05 de dez. 2017.

RAMALHO, M. F. J. L. A aplicação do Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento na análise Ambiental-Vale Do Pitimbu/RN. **Anais...** I Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto Aracaju-SE, v. 17, 2002.

REZENDE, P. S.; MARQUES, D. V.; OLIVEIRA, L. A. de. Construção de modelo e utilização do Método de processo Analítico Hierárquico – AHP para mapeamento de risco á inundação em área urbana. **Caminhos de Geografia**, v. 18, n. 61, 2017 p. 01–18.

ROBAINA, L. E. S.; FIGUERÓ, A.; CRISTO, S. S. V. Uso do solo e dinâmica dos conflitos na bacia do rio dos sinos - município de Campo Bom, Novo Hamburgo e São Leopoldo, RS. **Revista Ciência e Natura**, v. 21, 1999, p.119 – 137.

ROCHA, C. H. **Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar**. Juiz de Fora - MG. Ed. do Autor, 2000. 220 p.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 8, p. 63-74, 2011.

ROSA, R.; BRITO, J. L. S. **Introdução ao Geoprocessamento: Sistema de Informações Geográficas**. Uberlândia, Ed. Universidade Federal de Uberlândia. 104 p. 1996.

ROSA, R. Análise espacial em Geografia. **Revista da ANPEGE**, v. 7, n. 1, número especial, p. 275-289, 2011.

ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 16, p. 81-90, 2011.

ROSA, R. **Introdução ao Geoprocessamento**. 2013. Disponível em: < [http://professor.ufabc.edu.br/~flavia.feitosa/cursos/geo2016/AULA5-ELEMENTOSMAPA/Apostila\\_Geop\\_rrosa.pdf](http://professor.ufabc.edu.br/~flavia.feitosa/cursos/geo2016/AULA5-ELEMENTOSMAPA/Apostila_Geop_rrosa.pdf) >. Acesso em: 27 de nov. 2017.

RODRIGUES, B. T.; CALHEIROS, S. Q. C.; MELO, N. A. de. Potencial de movimento de massa no município de Maceió-Alagoas. **Geo UERJ**, n. 24, v. 1, p. 207-227, 2013.

SAAB, R. R. R.; RODRIGUES, M. G.; LINS, G. A. **Métodos para perícia ambiental forense/R.R.** Rio de Janeiro: SIRIUS, 2013. 242 p.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Org.) **Erosão e conservação dos solos: conceitos temas e aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

SANTOS, A. A.; BERNARDINO, J. M. M. **Geoprocessamento aplicado à identificação de áreas de fragilidade ambiental no parque estadual da serra do rola moça.** In: XXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 2014, GRAMADO. CT06 – Sistemas de Informações Geográficas, 2014.

SILVA, E. M.; SILVA, E. D.; GONÇALVES, V.; MUROLO, A. C. **A Pesquisa Operacional: programação linear, simulação.** 3. ed. São Paulo: Atlas, 1998. p. 184.

SILVA, J. X. da. **Geoprocessamento para análise ambiental.** Rio de Janeiro: J. Xavier da Silva. 228 p. 2001.

SILVA, L. P. 2007. 114 p. **Modelagem e Geoprocessamento na identificação de áreas com risco de inundação e erosão na bacia do Rio Cuiá.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, PB, 2007.

SIQUEIRA, M. R. DE A.; BATISTA, M. R.; TARGA, M.; CATELANI, C. Mapeamento das áreas de inundações das planícies aluviais de Guaratinguetá através de técnicas de Geoprocessamento. **Anais... GEOVAP 2006: Primeiro Seminário de Geoprocessamento do Vale do Paraíba, Taubaté, Brasil, 7 de dezembro de 2006, UNITAU, p. 54-64.**

SCHIRMER, G. J. 2012. 155p. **Mapeamento geoambiental dos municípios de Agudo, Dona Francisca, Faxinal do Soturno, Nova Palma e Pinhal Grande – RS.** Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2012.

SCHIRMER, J. S.; ROBAINA, L. E. DE S.; TRENTIN, R. Unidades geomorfológicas em municípios da Quarta Colônia do Rio Grande do Sul. **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 17, n. 2. P. 199-212, 2013.

SCHUCH, F. S.; AVERLAN, M. S.; ROSA, R. de S. Método para determinação de áreas suscetíveis a inundação na Ilha de Santa Catarina/SC/Brasil. **Anais... COBRAC 2016 - Florianópolis –SC, Brasil, 16 à 20 de outubro 2016, p. 1-16.**

STIPP, N. A. F.; STIPP, M. E. F. Análise ambiental em cidades de pequeno e médio porte. **Revista Geografia**, v. 13, n. 2, p. 23-36, 2004.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul.** 2 ed. ver. e ampl. Porto Alegre: Emater/RS, 2008, p. 222.



TEMPORIN, A. F.; ALVARENGA, T. A. P.; FORTES, O. F. T. P. Estudo de manchas de inundação utilizando imagem SRTM nas proximidades da área urbanizada da sede do município de Alegre – ES. **Anais... XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBRS**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE, p. 3603-3610.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. do. **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 196 p.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH: EDUSP, 1993. 943 p.

TUCCI, C. E. M., PORTO, R., BARROS, M. T. **Drenagem Urbana**. Editora da Universidade/UFRGS-ABRH, Porto Alegre, 1995, 428 p.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações Urbanas na América do Sul**. Ed. Brasileira de Recursos Hídricos, 2003, 471 p.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Editora da UFRGS/ABRH: Porto Alegre/RS, 2009. 943 p.

TURNER, I. B. L. MEYER, B. L. Global Land Use and Land Cover Change: Na Overview. IN: **Changes on Land Use and Land Cover: A Global Perspective**, eds. MEYER, W. B.; TURNER II, B. L. 3-10. Cambridge: Cambridge University Press. 7p. 1994.

TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. S.; SILVEIRA, V. S. Zoneamento do Risco de Inundação do rio Vacacaí no Município de São Gabriel, RS. **Revista Geo UERJ**. n. 24, v. 1. p. 161-180, 2013.

USGS. **United States Geological Survey**. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 27 de nov. 2017.

VEIGA, T. C.; SILVA, J. A. X. da. Geoprocessamento aplicado à identificação de áreas potenciais para atividades turísticas: o caso do município de Macaé-RJ. **Geoprocessamento e análise ambiental: aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

VENDRUSCOLO, C. E. 2010. 166 p. **As relações do espaço urbano do município de Dona Francisca, RS com a região da Quarta Colônia**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2010.

VIERO, A. C.; SILVA, D. R. A. D. **Geodiversidade do estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CPRM, 2010. 250 p.

WILVERT, S. R. 2010. 143 p. **Análise das áreas de risco relacionadas à dinâmica do meio físico na cidade de Antônio Carlos – SC**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2010.

ZHAO, M.; HEINSCH, F. A.; NEMANI, R. R.; RUNNING, S. W. Improvements of the MODIS terrestrial gross and net primary production global data set. **Remote Sensing of Environment**, v. 95, p. 164–176, 2005.