

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**JOÃO LINDOLFO MEIRA**

**DINÂMICA DE ALTERAÇÕES NA PAISAGEM À LUZ DO NOVO CÓDIGO  
FLORESTAL: ESTUDO DE CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTA  
MARIA - RS**

**São Gabriel**

**2020**

**JOÃO LINDOLFO MEIRA**

**DINÂMICA DE ALTERAÇÕES NA PAISAGEM À LUZ DO NOVO CÓDIGO  
FLORESTAL: ESTUDO DE CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTA  
MARIA - RS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título Mestre em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Adriano Luis  
Schünemann

**São Gabriel**

**2020**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos  
pelo autor através do Módulo de Biblioteca do  
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

M514a Meira, João Lindolfo

Dinâmica de alterações na paisagem à luz do Novo Código Florestal: estudo de caso da bacia hidrográfica do rio Santa Maria - RS / João Lindolfo Meira.  
53 p.

Dissertação(Mestrado)-- Universidade Federal do Pampa, MESTRADO EM  
CIÊNCIAS BIOLÓGICAS, 2020.

"Orientação: Adriano Luis Schünemann".

1. Landsat. 2. Legislação Ambiental. 3. Sensoriamento Remoto. 4. Sistemas de Informações Geográficas. 5. Software Livre . I. Título.

**JOÃO LINDOLFO MEIRA**

**DINÂMICA DE ALTERAÇÕES NA PAISAGEM À LUZ DO NOVO CÓDIGO  
FLORESTAL: ESTUDO DE CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTA  
MARIA - RS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Ciências Biológicas.

Dissertação defendida e aprovada em: 17 de novembro de 2020.

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Adriano Luis Schünemann

Orientador

(UNIPAMPA)

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Cibele Rosa Gracioli

(UNIPAMPA)

---

Prof. Dr. Pedro Roberto de Azambuja Madruga

(UNIPAMPA)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pelo sopro de vida, por conceder saúde e coragem para enfrentar os desafios.

À minha família pelo amor, incentivo, pelas palavras de conforto em momentos difíceis, pela paciência e compreensão, por estarem ao meu lado sempre incentivando a continuação dos estudos.

Ao Prof. Dr. Adriano Luis Schünemann pela orientação e sua colaboração, pela confiança, atenção e oportunidade de realizar essa pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES – no gerenciamento do funcionamento dos Programas de Pós-Graduação nas Instituições de Ensino do País.

À Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA - e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, a todos que colaboram para o funcionamento destas Instituições.

## RESUMO

Os últimos 50 anos foram marcados por alterações dos ecossistemas pelo homem, de uma forma muito rápida e extensiva quando comparado a qualquer intervalo de tempo equivalente na história humana. Estas ações acarretaram diversas mudanças nos sistemas biológicos. Como instrumento legal de proteção e de recuperação da flora e fauna nativas, em nosso País temos o Código Florestal. Com a atualização desta legislação, no ano 2012, foi aprovado o Novo Código Florestal (Lei Nº 12.651/12), substituindo o de 1965 (Lei Nº 4.771/65). O bioma Pampa no Brasil está presente somente no Estado do Rio Grande do Sul, onde ocupa cerca de 63% de seu território e possui continuidade em território dos países vizinhos Uruguai e Argentina. Sendo o geoprocessamento uma importante ferramenta de análise do uso e ocupação do espaço geográfico, esta permite fazer verificações destes usos com menor custo e período de tempo para uma área de interesse. Sensores orbitais largamente utilizados no estudo dos recursos naturais são o *Thematic Mapper* (TM), a bordo do satélite *Landsat 5*, e o *Operational Land Imager* (OLI), a bordo do satélite *Landsat 8*, que representam aproximadamente 30 anos de dados da superfície terrestre. Para tentar entender o impacto das mudanças causadas na paisagem pelo Novo Código Florestal e se realmente ocorreram mudanças significativas na paisagem efetuou-se este estudo. A presente pesquisa foi desenvolvida na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria, situada a sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul, com o uso de imagens do satélite *Landsat 5*, referentes aos anos de 1984, 1996, 2008 e 2011, e do *Landsat 8* referentes aos anos de 2015 e 2019. Por meio do *software* QGIS e do complemento *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP) foi realizada a classificação supervisionada da cobertura e uso da terra, com a distinção das classes de uso floresta/vegetação arbórea, agricultura, solo exposto, água e campo. Com os relatórios de áreas das classificações realizadas foram elaboradas tabelas comparativas e avaliadas mudanças na paisagem, contextualizando o impacto da implementação da nova legislação ambiental, vigorando a partir do ano de 2012. Entende-se que a área estudada está em conformidade no quesito “atendimento limite de 20 % de RL” conforme o Novo Código Florestal, uma vez que as classes de uso do solo representativas das vegetações naturais do bioma Pampa constituem percentual acima deste necessário para o enquadramento. No entanto, não quer dizer que todas as propriedades rurais detêm o percentual mínimo de RL exigido por Lei. As alterações de uso do solo mostraram-se variáveis conforme as oportunidades econômicas, mostrando que os diferentes cultivos variam conforme seu favorecimento econômico.

Palavras-Chave: Landsat, Legislação Ambiental, Sensoriamento Remoto, Sistemas de Informações Geográficas, Software Livre.

## ABSTRACT

The past 50 years have been marked by changes in ecosystems caused by man, in a fast and extensive way when compared to any equivalent time interval in History. These actions led to several changes in biological systems. As a legal instrument for the protection and recovery of native flora and fauna, in our country we have the Forest Code Legislation. With the revising of this legislation, in 2012, the New Forest Code was approved (Law No. 12,651 / 12), replacing the former one of 1965 (Law No. 4,771 / 65). The occurrence of Pampa as a biome in Brazil is restricted to the state of Rio Grande do Sul, where it occupies about 63% of its territory and has continuity in the neighboring countries of Uruguay and Argentina. As geoprocessing is an important tool for the analysis of the use and occupation in geographic spaces, it allows the verification of these uses with less cost and time for an area of concern. Orbital sensors widely used in the study of natural resources are Thematic Mapper (TM), on board the Landsat 5 satellite, and Operational Land Imager (OLI), on board the Landsat 8 satellite, which appear for nearly 30 years of terrestrial surface data. In order to try to understand the consequences of the changes caused in the landscape by the New Forest Code Legislation and if there were really notable changes in the landscape, the present research was developed in the hydrographic basin of Rio Santa Maria, located southwest of the State of Rio Grande do Sul. The research was conducted by using Landsat 5 satellite images, referring to the years 1984, 1996, 2008 and 2011, and from Landsat 8, referring to the years 2015 and 2019. Using the QGIS software and the Semi-Automatic Classification Plugin (SCP), supervised classification of land cover and use was carried out, with the differentiation among classes of forest / tree vegetation, agriculture, exposed soil, water and fields. With the reports of the areas of the classifications carried out, comparative tables were elaborated and changes in the landscape were evaluated, contextualizing the impact of the implementation of the new environmental law, validated from the year 2012. It is understood that the studied area shows conformity concerning to the item "attendance limit of 20% of RL" according to the New Forest Code Legislation, as the classes of land use representative of the natural vegetation of the Pampa biome compose a percentage above from that one required for the classification. However, this does not mean that all rural properties have the minimum percentage of RL required by law. Changes in land use have been shown to vary according to economic opportunities, showing that different crops vary according to their economic favoring.

Keywords: Landsat, Environmental Legislation, Remote Sensing, Geographic Information Systems, Free Software.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Abrangência dos Biomas no Estado do Rio Grande do Sul. ....	18
Figura 2 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria.....	28
Figura 3 - Uso do solo - ano 1984. ....	32
Figura 4 - Uso do solo - ano 1996. ....	34
Figura 5 - Uso do solo - ano 2008. ....	35
Figura 6 - Uso do solo - ano 2011. ....	37
Figura 7 - Uso do solo - ano 2015. ....	38
Figura 8 - Uso do solo - ano 2019. ....	40
Figura 9 - Uso do solo nos anos 1984 a 2019.....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Datas das missões Landsat. ....	20
Tabela 2 - Data da aquisição das imagens utilizadas no estudo, das respectivas órbitas-ponto. .....	29
Tabela 3 - Quantificação das classes do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria, RS - 1984. ....	33
Tabela 4 - Quantificação das classes do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria, RS - 1996. ....	34
Tabela 5 - Quantificação das classes do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria, RS – 2008.....	36
Tabela 6 - Quantificação das classes do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria, RS - 2011. ....	37
Tabela 7 - Quantificação das classes do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria, RS - 2015. ....	39
Tabela 8 - Quantificação das classes do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria, RS - 2019. ....	40
Tabela 9 - Quantificação das classes do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria, RS - 1984 a 2019.....	41
Tabela 10 - Alterações de classes de uso do solo nos diferentes períodos.....	43

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ANA – Agência Nacional de Águas

APP – Área de Preservação Permanente

CFB – Código Florestal Brasileiro

FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental

NASA – National Aeronautics and Space Administration

RL – Reserva Legal

SCP – Semi-Automatic Classification Plugin

SEMA/RS – Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do Estado do Rio Grande do Sul

SIG – Sistema de Informações Geográficas

USGS – United States Geological Survey

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 CARACTERÍSTICAS DO BIOMA PAMPA .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2 BACIAS HIDROGRÁFICAS.....</b>	<b>19</b>
<b>2.3 PROGRAMA LANDSAT .....</b>	<b>20</b>
<b>2.4 SENSORES ORBITAIS E USO DO SOLO.....</b>	<b>22</b>
<b>2.5 O CÓDIGO FLORESTAL .....</b>	<b>23</b>
<b>2.6 QGIS .....</b>	<b>26</b>
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>28</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>32</b>
<b>4.1 Uso do solo.....</b>	<b>32</b>
4.1.1 Uso do solo no ano de 1984.....	32
4.1.2 Uso do solo no ano de 1996.....	33
4.1.3 Uso do solo no ano de 2008.....	35
4.1.4 Uso do solo no ano de 2011.....	36
4.1.5 Uso do solo no ano de 2015.....	38
4.1.6 Uso do solo no ano de 2019.....	39
<b>4.2 Alterações do uso do solo na bacia hidrográfica do rio Santa Maria, RS, após vigência da Lei Nº 12.651/2012 (BRASIL, 2012) .....</b>	<b>41</b>
<b>4.3 Dinâmica de alterações no uso do solo.....</b>	<b>43</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>46</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>47</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os últimos 50 anos foram marcados por alterações dos ecossistemas pelo homem, de uma forma muito rápida e extensiva, quando comparado a qualquer intervalo de tempo equivalente na história humana. Estas ações acarretaram diversas mudanças nos sistemas biológicos (REID *et al.*, 2005). Como instrumento legal de proteção e de recuperação da flora e fauna nativas, em nosso País temos o Código Florestal, que age regulando e protegendo a vegetação nativa (VN) em propriedades públicas e privadas, desta forma, buscando o equilíbrio dos interesses de produção bem como os de preservação do ambiente (SPAROVEK *et al.*, 2011). Com a atualização desta legislação, no ano 2012, foi aprovado o Novo Código Florestal (Lei Nº 12.651/12) (BRASIL, 2012), substituindo o de 1965 (Lei Nº 4.771/65) (BRASIL, 1965), que já havia sofrido diversas alterações por medidas provisórias, como a ocorrida no ano 1989, onde foram definidas as regras de preservação das matas ripárias de acordo com a largura dos rios.

Este conjunto de leis ambientais define as Áreas de Preservação Permanente (APP) e as Reservas Legais (RL), criadas para a preservação dos recursos hídricos e de suas áreas de recarga pelas matas ciliares, assim como áreas prioritárias para conservação e preservação da diversidade ecológica. Ainda com a finalidade de fiscalização foi criado o Cadastro Ambiental Rural (CAR), obrigatório para todos os imóveis rurais, visando integrar os conjuntos de dados ambientais das propriedades para controle, monitoramento, planejamento ambiental e econômico e combate ao desmatamento (BRASIL, 2012). Se observado com uma abordagem prática, é possível que uma grande quantidade de vegetação natural fique sem proteção até que o órgão fiscalizador as identifique e tome providências previstas em Lei (SPAROVEK *et al.*, 2011).

A preservação dos ecossistemas é de grande relevância, uma vez que afeta os serviços ecossistêmicos ou ambientais. Tais serviços são os benefícios que a humanidade obtém dos mesmos, que podem ser de provisão de alimentos, água, manutenção da qualidade do ar, controle de erosão, purificação da água, dentre vários outros (BRANCALION *et al.*, 2016; SOARES-FILHO *et al.*, 2014; SPAROVEK *et al.*, 2011). Este tema promove uma mudança no paradigma sobre para onde deve caminhar o manejo dos recursos naturais, assim como auxilia na tomada de decisões a respeito da gestão dos recursos naturais e da formulação de políticas para o bem-estar da sociedade (PARRON *et al.*, 2015).

Tambosi *et al.* (2015) destacam as funções eco-hidrológicas das florestas nativas. De acordo com os autores, as vegetações nativas situadas em diferentes posições do relevo possuem

distintas funções eco-hidrológicas. Em topos de morros, por exemplo, a vegetação contribui para com a recarga de aquíferos; em encostas, para redução do escoamento superficial e contenção dos processos erosivos; em áreas ripárias, para proteção de corpos d'água; e em intervalos, como elementos auxiliares em todas essas funções. Estudos que apresentem diagnósticos sobre as intervenções antrópicas em desacordo com a legislação ambiental, isto é, que quantifiquem e avaliem o conflito de uso do solo, tornam-se de suma importância para o desenvolvimento de ações preventivas e corretivas (GONTIJO *et al.*, 2019).

Ainda comentado por Gontijo *et al.* (2019), para a realização desses estudos, a tendência tem sido o uso de bacias hidrográficas como unidade de planejamento ambiental. Segundo Costa *et al.* (2016), a amostragem por meio da seleção de bacias tem sido contemplada por várias ciências que enfocam não somente as questões relacionadas aos recursos hídricos, mas também, todos elementos físicos e antrópicos que as caracterizam. Por sua vez, Piroli *et al.* (2002), salientam que a seleção de bacias hidrográficas para realização de estudos relativos ao ordenamento do solo, remetem-se à sua caracterização físico-espacial, sobretudo, topográficas com regiões altas, onde, geralmente, localizam-se as nascentes dos seus tributários (riachos e córregos), áreas de encostas e, por último, áreas de baixadas, em que normalmente observam-se as consequências de manejos inadequados aplicados nas áreas de maiores altitudes.

Devido aos fatores ambientais similares dentro de cada região, a utilização de Bacias Hidrográficas como unidades de gestão ambiental, é amplamente utilizada, como observado por Rodriguez, Silva e Leal (2011), Rodriguez (2008) e Botelho e Silva (2007).

O bioma Pampa no Brasil, localizado entre as latitudes 28°00 'S e 34°00' S e as longitudes 49°30 'W e 58°00 'W (ROESCH *et al.*, 2009), dentro do país, está presente somente no Estado do Rio Grande do Sul, onde ocupa cerca de 63% do seu território e possui continuidade no território dos países vizinhos Uruguai e Argentina. Este bioma apresenta como vegetação predominante os campos dominados por gramíneas. Nesta vegetação existe a ocorrência de campos de grande extensão com relevo suave (região central do Estado), forte-ondulado (serra do sudeste) e planos (litoral e divisa com a Argentina) (BOLDRINI *et al.*, 2010). O Pampa possui clima subtropical ao longo do ano (em média 18° C ao longo do ano) e no verão existe tendência a secas, em especial na fronteira oeste. Apesar de sua riqueza, o bioma tem apenas 0,3% de sua área protegida por Unidades de Conservação e estima-se que 49% do bioma já perdeu sua vegetação nativa (MMA-PROBIO, 2007).

Frente às dificuldades estruturais dos órgãos de fiscalização, Nicolau (2018), cita que as geotecnologias surgem como instrumentos essenciais de amparo à análise e apoio às decisões políticas das ações. A utilização de imagens de satélite, fotografias aéreas, radar, entre outras,

é uma alternativa que permite mapear o uso e ocupação do solo de maneira rápida, simples e eficaz, devido à variação de escalas e de diferentes formas de analisar os alvos, além do baixo custo relativo das análises (LEITE *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2010).

Através da disponibilização de imagens de diferentes resoluções espaciais, pode-se utilizar aquelas de melhor configuração para a análise objetivada (nível de detalhamento, regionalização), sendo possível a elaboração de mapeamentos temáticos de uso e cobertura da terra com alto nível de acurácia e relativa redução de trabalhos de campo (AYACH *et al.*, 2012). De acordo com Rosa (1990), é fundamental a constante atualização das informações de uso e ocupação do solo para que suas tendências possam ser analisadas, objetivando fornecer subsídios às ações do planejamento regional, gerando assim uma continuidade nas análises ambientais e adequação das decisões a cada situação.

Fitz (2008) indica que a aplicação prática dos Sistemas de Informações Geográficas é a realização de análises de cunho espacial por meio de mapas temáticos diversos. Uma das técnicas trabalha a sobreposição, cada mapa contendo um tema específico, o qual constitui um Plano de Informação (PI). Cada PI é uma camada sobreposta a outra de temática diferente para a obtenção de um produto deles derivado. Como resultado o mapa temático é analisado com base nos anteriores e os pressupostos metodológicos da ciência geográfica.

Um dos precursores de análise integrada de atributos ambientais foi McHarg (2000). O autor descreve como a identificação do meio físico pode determinar o uso de solo com menor impacto de adaptação, um planejamento ecológico, apresentando a metodologia de sobreposição de mapas temáticos para identificar os processos naturais e sociais de maior concentração e sua escala de importância.

Dentre as formas de identificar e classificar os pixels de uma imagem de satélite, uma é através da classificação supervisionada, em que o usuário identifica alguns dos pixels pertencentes às classes desejadas (áreas de treino) e o software localiza todos os demais pixels pertencentes àquelas classes (GANAN *et al.*, 2005). Uma das ferramentas disponíveis para este tipo de classificação é o *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP) (CONGEDO, 2019), um complemento para o software de uso livre QGIS (QGIS *Development Team*, 2019).

O SCP tem sido utilizado em diversos campos de estudo, como na análise de catástrofes ambientais (VIEIRA *et al.*, 2016) e impactos ecológicos (POTIĆ *et al.*, 2017), efeitos da urbanização (DARMANTO *et al.*, 2017) e análise de áreas agrícolas (ESCOLÀ *et al.*, 2017). Sendo assim, apresenta-se como ferramenta de grande utilidade para o presente estudo, integrando ao software QGIS um sistema computacional capaz do manuseio das informações e obtenção de resultados sobre o ambiente.

O objetivo deste trabalho é a verificação do impacto da alteração da legislação ambiental nas características de uso do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria. Para tanto lançou-se mão do uso de geotecnologias livres (software QGIS e complemento SCP) para essa caracterização e comparação.

Dentre os objetivos específicos estão:

- Mapear a cobertura do solo para as diferentes classes detectáveis, utilizando para tanto imagens orbitais e softwares livres;
- Compreender as mudanças de uso do solo no período das imagens obtidas;
- Identificar e avaliar o uso do solo e a extensão de vegetação arbórea presente na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria, antes e depois da alteração do Código Florestal, tomando-se como referência imagens dos anos de 1984, 1996, 2008, 2011, 2015 e 2019.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 CARACTERÍSTICAS DO BIOMA PAMPA

A região do presente estudo está inserida dentro do Bioma Pampa Brasileiro, tendo este uma área de aproximadamente 176.496 km<sup>2</sup>, ocupando 2,07% do território brasileiro (IBGE, 2012) e 63% do Estado do Rio Grande do Sul (OVERBECK *et al.*, 2007) conforme mostra a Figura 1. Também apresenta continuidade nos países vizinhos Uruguai e parte da Argentina (BOLDRINI, 2009), sendo esse bioma dominado por vegetação campestre, além da vegetação arbustiva e áreas florestais encontradas (OVERBECK *et al.*, 2007).

Figura 1 - Abrangência dos Biomas no Estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul (2012)

Em termos de características naturais, predomina no bioma Pampa o clima subtropical, com quatro estações definidas. Os solos na maior parte do Pampa são considerados frágeis, sendo altamente sensíveis à erosão pela água e vento. Os campos podem ser considerados pastagens naturais, favorecendo a produção pecuária extensiva (ROESH *et al.*, 2009).

## 2.2 BACIAS HIDROGRÁFICAS

Bacia Hidrográfica é uma área que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para um ponto comum, ao longo de um corpo d'água ou rio (LIMA, 1986; RODRIGUES, 2000). De acordo com Chistofolletti (1974), esta é uma unidade natural de planejamento de recursos naturais e o elemento água é o agente unificador de integração no seu manejo. O uso desta área para estudo e gerenciamento da conservação dos recursos naturais deve ser associada ao conceito de desenvolvimento sustentável, visando atingir três metas: desenvolvimento econômico, equidade social, econômica e ambiental e sustentabilidade ambiental. Estas metas reproduzem a estreita correlação entre o desenvolvimento social e econômico com a preservação ambiental, mostrando-se capazes de manter as funções ambientais e sociais de uma Bacia Hidrográfica, além do gerenciamento destes processos de desenvolvimento e proteção ambiental, sendo o desenvolvimento sustentável um objetivo de longo prazo (SCHIAVETTI; CAMARGO, 2002).

O desenvolvimento sustentável de uma Bacia Hidrográfica pode ser ameaçado devido ao uso indevido da bacia, sendo consequências ambientais negativas a perda da sua biodiversidade, perda de seus recursos alimentares, poluição das águas, sedimentação precoce e assoreamento dos rios. Na prática, quando se deseja um desenvolvimento ambientalmente sustentável, o uso do conceito de Bacia Hidrográfica é visto como um espaço físico funcional, onde através do qual deverão ser trabalhados os procedimentos para o gerenciamento ambiental (SCHIAVETTI; CAMARGO, 2002).

Segundo Felipe (2015) a Bacia Hidrográfica deve ser considerada como a unidade básica para caracterização, quantificação, a análise e gerenciamento dos recursos e processos naturais, visto que há uma intensa relação da mata ciliar com os recursos hídricos, auxiliando na restauração e proteção destas.

De acordo com a ANA, Ottobacias são áreas de contribuição dos trechos da rede hidrográfica codificadas segundo o método de Otto Pfafstetter para classificação de bacias. No fim da década de 1980, o referido autor, engenheiro brasileiro funcionário do extinto Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS) desenvolveu um método de codificação numérica de bacias hidrográficas, considerando como insumo principal as áreas de contribuição direta de cada trecho da rede hidrográfica. As bacias hidrográficas correspondem à agregação das áreas de contribuição hidrográfica (ANA, 2016). Este sistema de codificação e classificação de bacias desenvolvido por Otto Pfafstetter (1989) foi adotado oficialmente no Brasil pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH, a partir da resolução nº 30, de

11 de dezembro de 2002. Além de ser uma divisão natural, a ottocodificação ainda é utilizada em razão da melhor interpretação da nomenclatura das regiões utilizadas, através da codificação de dígitos ao invés de nomes.

### 2.3 PROGRAMA LANDSAT

O Programa *Landsat* é uma união do Serviço Geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey* - USGS) e da *National Aeronautics and Space Agency* (NASA), criada com o objetivo de coletar imagens terrestres a partir do espaço, de maneira constante (USGS, 2013). Os satélites *Landsat*, desde então, oferecem dados da superfície terrestre, sendo um recurso valioso para pesquisadores e profissionais que atuam nas mais variadas áreas, tais como: agricultura, geologia, floresta, educação, ordenamento do território, mapeamento e pesquisa em mudanças globais (ROY *et al.*, 2014). Além disso, permite comparações do estado da superfície terrestre ao longo do tempo (NOVO, 2010). Sendo, portanto, para o presente estudo, importante ferramenta para detecção de alterações em função da implantação do novo código florestal.

Segundo Novo (2010), no século XX este programa representou um modelo de missão de sensoriamento remoto de recursos naturais, principalmente porque permitiu incorporar, em seus sucessivos satélites, características requeridas pelos usuários dos dados. Para o Brasil, esse programa foi de fundamental importância porque possibilitou consolidar e capacitar uma ampla comunidade de usuários.

A Tabela 1 apresenta as características dos satélites do programa e a cronologia de operação.

Tabela 1 - Datas das missões Landsat.

Satélite	Lançamento	Descomissionado	Sensores
<i>Landsat 1</i>	23/07/1972	06/01/1978	MSS/RBV
<i>Landsat 2</i>	22/01/1975	27/07/1983	MSS/RBV
<i>Landsat 3</i>	05/03/1978	07/09/1983	MSS/RBV
<i>Landsat 4</i>	16/07/1982	15/06/2001	MSS/TM

<i>Landsat 5</i>	01/03/1984	2013	MSS/TM
<i>Landsat 6</i>	05/10/1993	Órbita não alcançada	ETM
<i>Landsat 7</i>	15/04/1999	Em operação*	ETM+
<i>Landsat 8</i>	11/02/2013	Em operação	OLI/TIRS

Fonte: USGS (2013, adaptado).

\* Desde 2003, oferece imagens falhas.

De acordo com USGS (2013), os satélites 5, 7 e 8 do Programa *Landsat* possuem o mesmo período de revisita (16 dias), a mesma grade de referência (WRS-2) e a mesma área imageada (185 km x 185 km). A permanência dessas características técnicas entre os equipamentos facilitou o processo de pesquisa das imagens, que pode ser feito a partir da mesma grade de referência, permitindo uma integração no processamento das imagens do *Landsat 8* com dados históricos do *Landsat 5*, existentes desde 1984, para uso concomitante de dados em um estudo multitemporal de determinada área.

Em 2010, Novo *et al.* relataram as principais aplicações das bandas do sensor *Thematic Mapper* (TM) presente no satélite *Landsat 5*, as quais são:

- Melhor discriminação das classes solo-vegetação devido à absorção de pigmentos das plantas nas regiões do espectro detectáveis e a diferenciação entre espécies decíduas e coníferas;
- Identificação do vigor da vegetação pela maior sensibilidade à reflectância no verde;
- Distinção de espécies de plantas em função da presença de pigmentos de clorofila, discriminando também solo exposto e vegetação;
- Possibilidade de análise da biomassa da cobertura vegetal, da mesma forma o mapeamento dos corpos d'água devido ao contraste entre a alta reflectância da vegetação no infravermelho e a alta absorção dessa faixa pelas superfícies líquidas;
- Detecção da umidade da cobertura vegetal devido à sensibilidade do espectro à presença de água no tecido foliar;
- Avaliação das diferenças de temperatura entre alvos da superfície;
- Possibilidade de reconhecimento de áreas sujeitas a alterações hidrotermais.

Em 2013, com o lançamento do satélite *Landsat 8*, começou o funcionamento do sensor *Operational Land Imager* (OLI). Embora semelhantes ao sensor *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) do *Landsat 7*, as bandas espectrais deste sensor possuem equipamentos aperfeiçoados em relação aos anteriores, além de apresentar duas novas bandas espectrais (uma

banda na região do azul e uma banda infravermelha). Ademais, foi adicionada uma banda de qualidade em cada produto gerado, assim concedendo informações mais detalhadas sobre a presença de nuvens, chuva e neve (ARIZA, 2013).

O sensor OLI coleta dados em nove bandas espectrais, oito delas com resolução espacial de 30 metros e uma banda pancromática com resolução espacial de 15 metros (USGS, 2013). A qualidade dos dados e a resolução radiométrica são superiores às dos satélites anteriores, deste modo proporciona uma melhora considerável na capacidade de detecção de mudanças na superfície terrestre. As cenas coletadas diariamente são gravadas nos servidores da USGS, de modo que elas ficam disponíveis para acesso 24 horas após sua aquisição. Os dados produzidos pelo sensor OLI são integralmente compatíveis com todos os dados coletados pelas missões anteriores (ARIZA, 2013).

## 2.4 SENSORES ORBITAIS E USO DO SOLO

Os sensores orbitais apresentam características fundamentais para a aplicação nos estudos sobre detecção de mudanças do uso do solo e cobertura vegetal, como a capacidade de observação e monitoramento de forma sinóptica, dinâmica e em diferentes escalas espaço-temporais que possibilita quantificar as taxas de conversão e modificação do uso do solo e cobertura vegetal, avaliar as atividades antrópicas e caracterizar os diferentes sistemas de uso da terra (TURNER II *et al.*, 2007). Desse modo, as imagens dos sensores orbitais são adequadas para a quantificação das mudanças, uma vez que fornecem medidas consistentes e repetíveis em diferentes escalas (KENNEDY *et al.*, 2007; QIN *et al.*, 2006). Assim sendo, demonstram possibilidade de aplicação objetivada para análise temporal e detecção de alterações na paisagem.

As imagens *Landsat* representam registros valiosos e contínuos da superfície terrestre nas últimas décadas, o que representa uma riqueza de informações para identificar e monitorar mudanças no uso do solo e cobertura vegetal em escala global (CHANDER *et al.*, 2009; EL BASTAWESY *et al.*, 2013). Deve-se dar ênfase para alguns trabalhos que utilizaram dados *Landsat* para realização de análises precisas e confiáveis de detecção de mudanças do uso do solo e cobertura vegetal (MAS, 1999; LU *et al.*, 2004; JENSEN, 2005; SCHEIDT *et al.*, 2008; EL BASTAWESY *et al.*, 2013; WHITE *et al.*, 2014; HERMOSILLA *et al.*, 2015).

É importante evidenciar que o uso de dados orbitais do *Landsat* (a cada 16 dias) apresenta algumas limitações devido à dificuldade de aquisição de imagens livres da cobertura de nuvens, dificultando a aquisição de várias imagens ao longo do ano e a interpretação e

mapeamento de algumas classes de uso do solo e cobertura vegetal, principalmente as classes vegetais que apresentam padrões espectrais distintos devido a sazonalidade climática (PARUELO, 2001; ROSEMBACK *et al.*, 2010; KUPLICH *et al.*, 2013).

Alvarenga e Moraes (2014) comentam que na faixa espectral do vermelho há alta absorção de energia solar devido à presença de clorofila e isso ocasiona baixa reflectância. Por sua vez, na faixa do infravermelho próximo, essa absorção é baixa e resulta em alta reflectância. Conforme relatado pelos autores, as combinações dessas duas faixas espectrais realçam as áreas de vegetação nas imagens e, quanto maior o contraste, maior é o vigor da vegetação na área imageada. De acordo com Rosa (2009) as faixas para detecção de mudança na vegetação mais utilizadas são as do vermelho e do infravermelho próximo, pois estas contêm mais de 90 % da variação da resposta espectral da vegetação e mostram-se correlacionadas com os parâmetros biofísicos da mesma.

## 2.5 O CÓDIGO FLORESTAL

O Código Florestal Brasileiro institui as regras gerais sobre onde e de que forma o território brasileiro pode ser explorado, ao determinar as áreas de vegetação nativa que devem ser preservadas e quais regiões são legalmente autorizadas a receber os diferentes tipos de produção rural (PORTAL BRASIL, 2012).

O primeiro Código Florestal Brasileiro foi instituído no ano de 1934 (BRASIL, 1934), tendo sido revogado pela Lei Nº4.771, de 15 de setembro de 1965 (BRASIL, 1965). Já no ano de 2012 entrou em vigor a última revisão dessa legislação, a Lei Nº 12.651 e dispositivos normativos correlatos (BRASIL, 2012), sendo que em seu texto original, esta última legislação teve 12 artigos vetados e alterações em outros 32 (BRASIL, 2012).

As principais mudanças do atual Código Florestal Brasileiro em relação ao anterior foram as Reservas Legais (RL) na Amazônia em áreas de florestas 80%, áreas de cerrado 35%, nas demais regiões e biomas do país as RL são de 20%. No código de 1965 as áreas eram de 50% para a região Norte e Norte da região Centro-Oeste, e 20% para as demais. Alterou-se inclusive o cálculo de RL, que passou a incluir as Áreas de Preservação Permanente (APP), desde que esteja preservada ou em recomposição e não implique mais em desmatamento. Entretanto, Silva *et al.* (2012) acreditaram que essa soma pode ser ruim em termos biológicos, pois estas áreas possuem funções ambientais e características biológicas distintas, ou seja, elas desempenham papéis complementares de conservação e biodiversidade.

Nas APPs o parâmetro para vegetação nativa em margens de rios, lagos e nascentes é o nível regular da água, a partir da borda. Já no código anterior o parâmetro era o nível mais alto em faixa marginal, isso permite ainda que várzeas, mangues e matas de encostas, topos de morro e áreas com altitude superior a 1.800 metros possam ser utilizadas para determinadas atividades econômicas agrossilvipastoris, e as áreas de planície pantaneiras passam a ser área de “uso restrito”, aberta somente a atividades econômicas específicas. Outro ponto é a permissibilidade da supressão de vegetação em APP em atividades consolidadas até julho de 2008, contanto que por utilidade pública, interesse social ou de baixo impacto ambiental, incluindo atividades agrossilvipastoris. Demais atividades em APP poderão ser permitidas pelos Estados, por meio de Programas de Regularização Ambiental (PRA), se não estiverem em áreas de risco. Assim como é igualmente permitida a supressão da vegetação nativa em nascentes, dunas e restingas em casos de utilidade pública.

O código atual estabelece o conceito de áreas consolidadas, que seria uma área de proteção com ocupação preexistente até 22 de julho de 2008, todavia de até 4 módulos fiscais - unidade expressa em hectares, variável conforme o município (EMBRAPA, 2012) - não precisam obrigatoriamente recompor a vegetação nativa. Se ocorreu desmatamento antes da RL ter o percentual aumentado, ou seja, a partir de 2000, esta propriedade rural fica isenta de recompor além do exigido na época. No que diz respeito às punições, o novo código isenta os proprietários das multas e demais sanções previstas na lei em vigor por utilização irregular de áreas protegidas, até 22 de julho de 2008. Bem como, o produtor que se inscrever no cadastro ambiental rural (CAR) e aderir ao programa de regularização fundiária terá suspensas sanções administrativas (ALTAFIN, 2011).

Em estudo relatado por Sparovek *et al.* (2010), os autores afirmam que a legislação ambiental carecia de uma revisão ou complementação com novos mecanismos, não com finalidade de restringir o desenvolvimento do país, mas sim que esse avanço pudesse estar em sincronia com a preservação dos recursos naturais que ainda existem no Brasil. Após 3 anos, Ellovitch e Valera (2013) afirmaram que o Código Florestal vai além de regular o regime jurídico das florestas, pois ele contribui, indiretamente, mas de forma decisiva, em uma série de fatores intrínsecos à preservação da vegetação: como a preservação da fauna, a biodiversidade, a regulação hídrica, a qualidade do solo e do ar. À vista disso, é uma ferramenta essencial e de garantia jurídica para a preservação e recuperação de ecossistemas. Sparovek *et al.* (2010) ainda afirmam que a preservação da vegetação natural tem grande importância pois contribui para a conservação da biodiversidade e minimiza os efeitos nocivos antrópicos, como por exemplo, as emissões de gases de efeito estufa. Assim, é necessário dar ênfase que a

vegetação natural não deve ser utilizada sem uma real necessidade e estudo pois, além do processo de regeneração da área ser uma operação cara e complexa, o processo é sempre apenas parcial em termos de valor ecológico.

Segundo Fonseca (2012), para tentar conciliar o conflito de interesses entre preservação do ambiente e uso para produção, a preservação ambiental e o respeito às normas jurídicas, o novo Código Florestal trouxe princípios que merecem atenção, como o reconhecimento das vegetações como bens de interesse comum a todos; o compromisso com a preservação da vegetação, biodiversidade e recursos hídricos; o reconhecimento de uma produção rural baseada na manutenção, recuperação das florestas e utilização de um modo sustentável de produção agropecuária; a responsabilidade da federação e sociedade civil na criação de políticas públicas para a preservação e restauração da vegetação nativa; fomento à inovação ambiental e à promoção do desenvolvimento de atividades sustentáveis. Desta maneira, Garcia (2012), apresentou alguns dos principais pontos de alterações na legislação e passíveis de conflitos de interesses entre o setor rural e o ambiental, sendo eles:

- Deixam de existir como APP: topos de morro, montanhas e serras; áreas com altitude acima de 1800 metros; linhas de cumeada; escarpas; locais de refúgio ou reprodução de aves migratórias; locais de refúgio ou reprodução de exemplares da fauna ameaçadas de extinção; praias, em locais de nidificação e reprodução da fauna silvestre;
- Não mais se consideram APPs os manguezais e veredas;
- Redução da APP ripária para os rios de menos de 5 metros de largura, para uma faixa de 15 metros;
- Adota-se o leito menor como referencial para fins de delimitação das APP de cursos d'água ao invés do leito maior como no código antigo;
- Incorpora a dispensa da Reserva Legal para as “pequenas propriedades ou posses rurais” (até 04 módulos fiscais);
- Possibilita a redução da Reserva Legal para fins de regularização ambiental; e
- Cômputo das Áreas de Preservação Permanente no cálculo do percentual da Reserva Legal do imóvel;

Existem discrepâncias na legislação florestal que evidenciam a dificuldade de sua aplicação e também de seu cumprimento, principalmente quando se leva em consideração a ocupação de áreas ribeirinhas, permitindo uma prática histórica na sociedade humana que se estabeleceu desde os primórdios em regiões próximas aos cursos d'água, o que justifica o panorama atual de ocupação das margens pela sociedade contemporânea (NEIVA, 2009).

Lanuci e Borges (2014) relatam que houve uma alteração no novo Código Florestal, na forma da medição da área que deve ser preservada na margem dos rios. Ao invés de ser realizada a partir da cheia dos rios (Lei Nº 4.771/1965) passou a ser feita a partir do nível regular de água dos rios. Como aspecto positivo, esta mudança facilitou o acesso aos locais para a medição, mas por outro lado, a alteração diminuiu a área passível de preservação. Neste sentido, especificamente, podem ser utilizados produtos de sensoriamento remoto, observando sua qualidade e/ou resolução e devida aplicação.

Os impactos negativos causados pelo meio urbano aos recursos naturais são mais acentuados do que em relação ao meio rural, principalmente quando os cursos d'água estão inseridos no contexto da cidade. Assim, mesmo que o Código Florestal Brasileiro estabeleça limites fixos de faixas de vegetação a serem preservadas com base na largura do corpo d'água, ele não leva em consideração critérios científicos que poderiam ser utilizados na determinação da largura dessas faixas de áreas ciliares (CECONI, 2010).

## 2.6 QGIS

Com o objetivo de criar um visualizador gratuito para a base de dados geográfica PostGIS que funcionasse em sistemas operacionais livres (GNU/Linux), o projeto QGIS teve origem em fevereiro de 2002, em que o primeiro lançamento do programa ocorreu em junho do mesmo ano (QGIS *Development Team*, 2019). Decorrendo os anos, o QGIS tornou-se numa aplicação multiplataforma que funciona em todas as principais versões do Unix, GNU/Linux, bem como Mac OS X e MS Windows, suportando numerosos formatos vetoriais, raster, e bases de dados, e fornecendo uma ampla gama de funções de geoprocessamento para raster e vetor (CENSIPAM, s/d, p. 5). Esse SIG está em constante atualização, durante o desenvolvimento deste trabalho o mesmo encontrava-se na versão 3.10.0 *A Coruña*.

Este software é o resultado do trabalho de um grupo de desenvolvedores, tradutores, autores de documentação e pessoas que ajudam no processo de lançamento de novas versões, identificando e divulgando as falhas do programa, a sua contribuição é largamente voluntária, mas em alguns casos é suportado diretamente por empresas, instituições e administrações públicas (ALMEIDA, 2011). O QGIS recebe constantes contribuições de voluntários e de profissionais da área de geoprocessamento que buscam aprimorá-lo identificando e divulgando suas falhas, produzindo tutoriais, traduzindo manuais, gerando novas ferramentas e melhorando as já existentes. (MANGHI *et al.* 2011)

Almeida (2011) destaca que o uso do QGIS é claro e compreensível, em razão da moderna interface gráfica, que é baseada nas bibliotecas gráficas Qt4. Todas as funções são notoriamente separadas. Uma barra de menu permite o acesso às funções do software usando um menu hierárquico padrão, com ícones presentes na barra de ferramentas, e com os atalhos de teclado correspondentes. Deste jeito trabalham-se consultas espaciais, identificação e seleção de geometrias, exploração interativa de dados, pesquisa, visualização e seleção de atributos e criação de simbologia vetorial e raster. Inclusive permite o geoprocessamento de camadas raster e vetor, manipulação de camadas raster, entre outros (ALMEIDA, 2011). As funcionalidades do software são ampliadas através de plug-ins, além daqueles instalados automaticamente com o programa, o usuário pode buscar e instalar outros plug-ins utilizando o menu próprio (ALMEIDA, 2011). Outra vantagem, segundo Neto (2010), é a possibilidade de o QGIS importar pontos de GPS por meio de plug-in específico.

### 3 METODOLOGIA

A presente pesquisa foi desenvolvida na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria (BHRSM) (Figura 3), situada a sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas 29°47' a 31°36' de latitude Sul e 54°00' a 55°32' de longitude Oeste. Abrange as províncias geomorfológicas Planalto Meridional e Depressão Central, possuindo área de 15.609,11 km<sup>2</sup>, compreendendo municípios como Bagé, Dom Pedrito, Rosário do Sul, Santana do Livramento e São Gabriel. A população total da BHRSM é estimada em 220.296 habitantes. Os principais cursos de água são os arroios Três Divisas, da Divisa, da Cruz e os rios Santa Maria, Cacequi e Upamaroti. O Rio Santa Maria nasce a nordeste do município de Dom Pedrito e desemboca no Rio Ibicuí, sendo a irrigação o principal uso de água. Déficit hídricos são verificados na Bacia, principalmente nos meses de verão, quando ocorrem as demandas para orizicultura (SEMA RS, 2019).

Figura 2 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria.



Fonte: SEMA/RS, 2019

O arquivo *shapefile*<sup>1</sup> do limite da área de interesse foi obtido através da base de metadados digitais da Agência Nacional de Águas (ANA, 2016), na Base Hidrográfica

---

<sup>1</sup> *Shapefile* é um formato de armazenamento de dados de vetor, desenvolvido e regulado pela empresa Esri, para armazenar a posição, forma e atributos de feições geográficas. Apesar de ser um termo singular, o formato *shapefile* consiste numa coleção de arquivos de mesmo nome e terminações diferentes, armazenados no mesmo diretório (Esri, 2020).

Ottocodificada do Rio Uruguai. Neste *shapefile* foi selecionada e recortada a bacia hidrográfica de interesse.

Inicialmente, foram adquiridas imagens do satélite *Landsat 5* (sensor TM), referente aos anos de 1984, 1996 e 2008 e 2011, e do *Landsat 8* (sensor OLI) referente aos anos de 2015 e 2019. As imagens foram adquiridas na plataforma online *Earth Explorer* (USGS, 2018), das órbitas-ponto 223-81 e 223-82. O ambiente SIG e arquivos utilizados foram padronizados no sistema de referência de coordenadas SIRGAS 2000 / UTM Zona 21 S (Sistema de Referência Geocêntrico para América do Sul / Universal Transversa de Mercator, Fuso 21 Sul).

Na escolha das imagens levou-se em consideração a menor cobertura de nuvens (critério de cobertura de nuvens menor que 10% da superfície da imagem, conforme disponibilizado na plataforma de pesquisa do navegador *Earth Explorer*) e o menor tempo entre as datas de passagem do satélite, devido à coleta de imagens de órbitas-pontos diferentes. A Tabela 2 apresenta a descrição detalhada das imagens coletadas.

Tabela 2 - Data da aquisição das imagens utilizadas no estudo, das respectivas órbitas-ponto.

SATÉLITE/SENSOR	ÓRBITA-PONTO	
	223-81	223-82
LANDSAT 5/TM	02/12/1984	02/12/1984
LANDSAT 5/TM	04/01/1997	04/01/1997
LANDSAT 5/TM	18/11/2008	18/11/2008
LANDSAT 5/TM	11/11/2011	11/11/2011
LANDSAT 8/OLI	08/12/2015	08/12/2015
LANDSAT 8/OLI	06/03/2019	06/03/2019

Fonte: elaborado pelo autor.

As imagens utilizadas foram obtidas no repositório da USGS (USGS, 2018), *Collection 1 – Level 2 (Surface Reflectance)* – produtos disponibilizados com correções atmosféricas. A resolução espacial das imagens é de 30 metros.

Para as imagens *Landsat 5*, a composição colorida RGB (*Red, Green, Blue*) foi realizada utilizando-se as bandas 5, 4 e 3. Já para as imagens *Landsat 8*, a composição colorida RGB foi realizada utilizando-se as bandas 6, 5 e 4. Em seguida à composição, as imagens órbita-ponto 223-81 e 223-82 foram reunidas em mosaico para o recobrimento da área da bacia hidrográfica. Sendo então cada imagem recortada conforme a área limite de interesse.

Através do complemento SCP (CONGEDO, 2019) do programa computacional QGIS, foi realizada a classificação supervisionada da cobertura e uso da terra, sendo escolhidas previamente áreas de treinamento compreendendo as classes de uso floresta/vegetação arbórea, agricultura, solo exposto, água e campo. Visto que pela análise visual dos elementos presentes na imagem (tonalidade, cor, textura, forma, tamanho, padrão), foram determinadas as categorias temáticas de interesse no presente trabalho, como mencionado anteriormente, e conforme os seguintes elementos sugeridos, cultivo agrícola, pastagem, solo descoberto e água (ROSA, 2009), levando em conta a capacidade das imagens orbitais utilizadas neste estudo em separar feições.

O classificador utilizado para o trabalho foi o de Máxima Verossimilhança (MaxVer), um algoritmo estatístico, que consiste em classificar pixel a pixel, a partir das classes fornecidas. De acordo com Reis *et al.* (2011), o método MaxVer, utilizando parâmetros estatísticos, implica ponderar as distâncias médias dos níveis digitais das classes e, segundo Liu (2006), é considerado o método mais utilizado nos processos de identificar e delinear classes.

Na classe Floresta estão inseridas as formações vegetais nativas em estágio inicial, médio e/ou avançado de regeneração, encontradas sob a forma de mata ciliar ao longo da rede hidrográfica e dispersas na forma de fragmentos. Foram consideradas ainda, as florestas plantadas, representadas principalmente por plantios florestais de *Pinus spp.* e *Eucalyptus spp.* A classe Água compreende os rios, reservatórios naturais e/ou artificiais. Na classe Agricultura incluem-se áreas destinadas ao cultivo de culturas agrícolas anuais. A classe Campo compreende o cultivo perene de pastagens ou áreas com presença de gramíneas naturais, onde também pode ser desenvolvida a atividade pecuária. Por fim, a classe Solo Exposto constitui áreas sem vegetação, representadas por áreas de solo desnudo sem uso, áreas de agricultura em pousio e/ou em fase de preparação do solo.

Em síntese, executou-se um relatório geral dos dados através do SCP, o qual obteve-se os cálculos de área (em km<sup>2</sup>) e de porcentagem (%) de cada classe. Por sua vez, as imagens classificadas foram utilizadas para a confecção de mapas com a classificação de uso do solo, originando as figuras utilizadas nos resultados do trabalho.

De posse das classificações para cada ano, dentro do SCP foi realizada a comparação de mudança do uso do solo com a ferramenta “*Prostprocessing>Land cover change*”, onde se obteve um relatório quantificando e indicando quais classes mudaram de uso em um ano e outro.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A apresentação dos resultados está organizada em duas partes. Inicialmente realizou-se a análise do uso do solo da bacia hidrográfica do Rio Santa Maria, RS para os períodos de 02/12/1984, 04/01/1997, 18/11/2008, 11/11/2011, 08/12/2015 e 06/03/2019 (Item 4.1); seguida da relação das mudanças do uso e cobertura do solo com a alteração da legislação ambiental dada pela Lei N° 12.651/12 (Item 4.2).

### 4.1 Uso do solo

#### 4.1.1 Uso do solo no ano de 1984

O resultado do mapeamento do uso do solo na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria, RS, a partir da imagem de satélite *Landsat 5*, sensor TM, órbita e ponto 223/81 e 223/82, tomados em 02/12/1984, corresponde a Figura 3. A Tabela 3 apresenta as áreas em km<sup>2</sup> e os percentuais das cinco classes do mapeamento.

Figura 3 - Uso do solo - ano 1984.

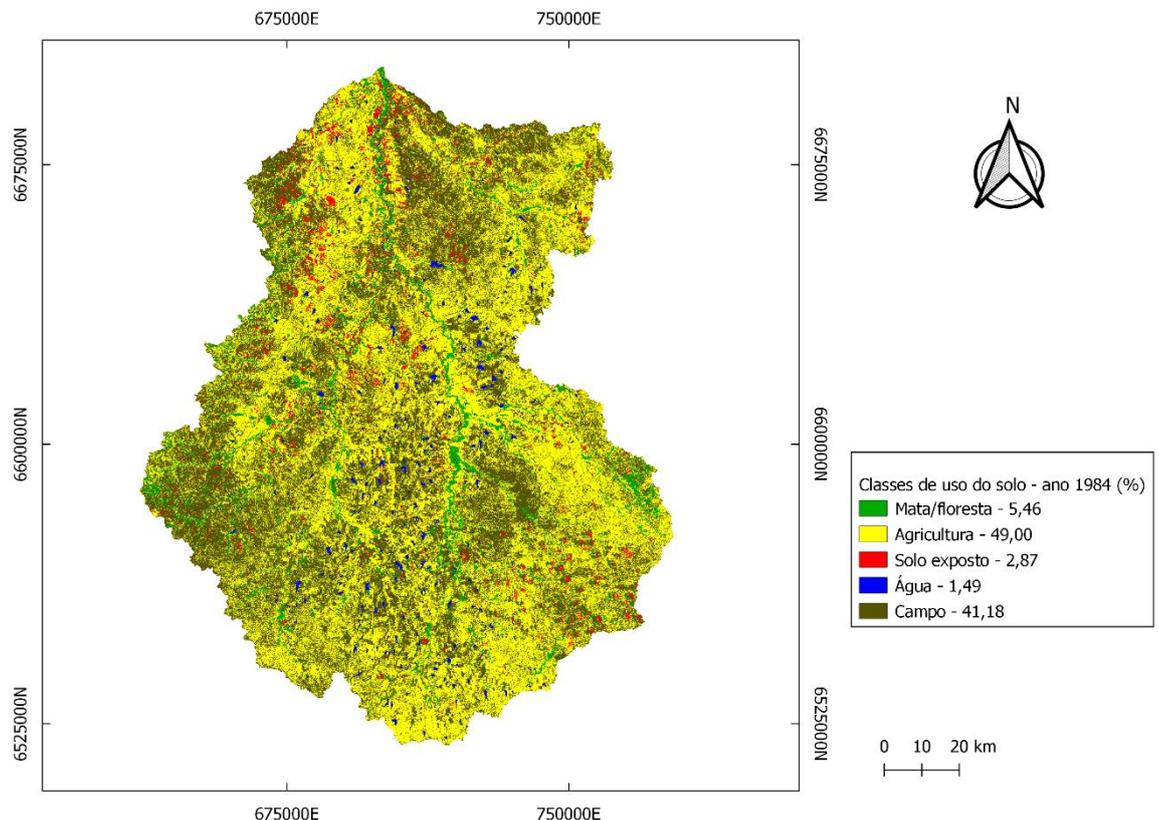


Tabela 3 - Quantificação das classes do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria, RS - 1984.

<b>Classes</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
<b>Floresta</b>	877,57	5,46
<b>Agricultura</b>	7.715,24	49,00
<b>Solo Exposto</b>	451,57	2,87
<b>Água</b>	212,35	1,49
<b>Campo</b>	6.481,40	41,18
<b>Totais</b>	15.738,13	100

A análise dos números apresentados na Tabela 3 e no mapa do uso do solo em 1984 (Figura 3) demonstraram que as áreas agrícolas ocupavam uma área de 7.715,24 km<sup>2</sup> (49%) da bacia hidrográfica, as áreas de florestas uma área de 877,57 km<sup>2</sup> (5,46%), as áreas de solo exposto uma área de 451,57 km<sup>2</sup> (2,87%), as áreas de água uma área de 212,35 km<sup>2</sup> (1,49%) e as áreas de campos uma área de 6.481,40 km<sup>2</sup> (41,18%), totalizando os 100% da área da bacia hidrográfica.

#### **4.1.2 Uso do solo no ano de 1996**

O resultado do mapeamento do uso do solo na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria, a partir da imagem de satélite *Landsat 5*, sensor TM, órbita e ponto 223/81 e 223/82, tomados em 04/01/1997, correspondente à Figura 4 e na Tabela 4 foram apresentadas as áreas em km<sup>2</sup> e os percentuais das cinco classes do mapeamento.

Figura 4 - Uso do solo - ano 1996.

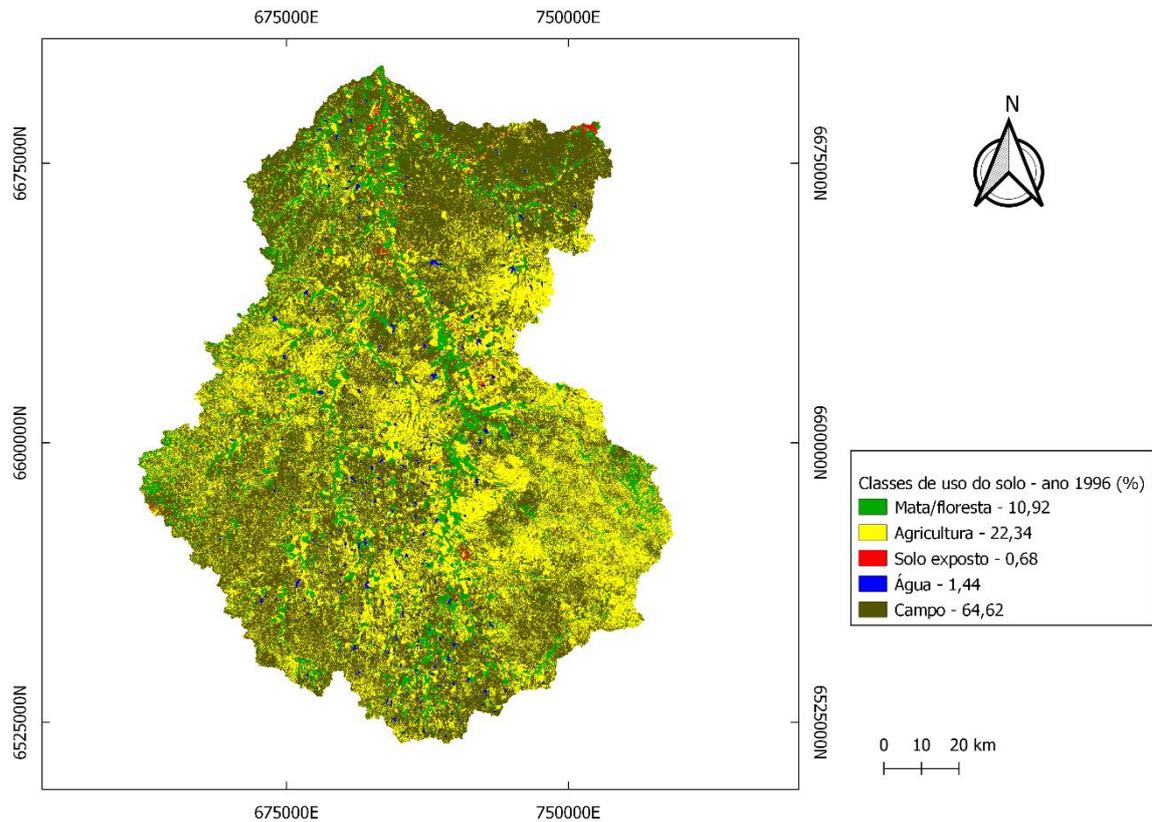


Tabela 4 - Quantificação das classes do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria, RS - 1996.

Classes	Área (km <sup>2</sup> )	%
<b>Floresta</b>	1.718,96	10,92
<b>Agricultura</b>	3.517,99	22,34
<b>Solo Exposto</b>	107,28	0,68
<b>Água</b>	226,62	1,44
<b>Campo</b>	10.175,89	64,62
<b>Totais</b>	15.746,75	100

A análise dos resultados apresentados na Tabela 4 e no mapa do uso do solo (Figura 4) demonstram que as áreas agrícolas em 1996, ocupavam uma área de 3.517,99 km<sup>2</sup> (22,34%) da

área da bacia hidrográfica, as áreas de florestas uma área de 1.718,96 km<sup>2</sup> (10,92%), as áreas de solo exposto uma área de 107,28 km<sup>2</sup> (0,68%), as áreas de água uma área de 226,62 km<sup>2</sup> (1,44%) e as áreas de campos abrangiam uma área de 10.175,89 km<sup>2</sup> (64,62%), totalizando os 100% da área da bacia hidrográfica analisada.

#### 4.1.3 Uso do solo no ano de 2008

O parecer do mapeamento do uso do solo na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria, a partir da imagem de satélite *Landsat 5*, sensor TM, órbita e ponto 223/81 e 223/82, tomados em 18/11/2008, corresponde a Figura 5. A Tabela 5 apresenta as áreas em km<sup>2</sup> e os percentuais das cinco classes do mapeamento.

Figura 5 - Uso do solo - ano 2008.

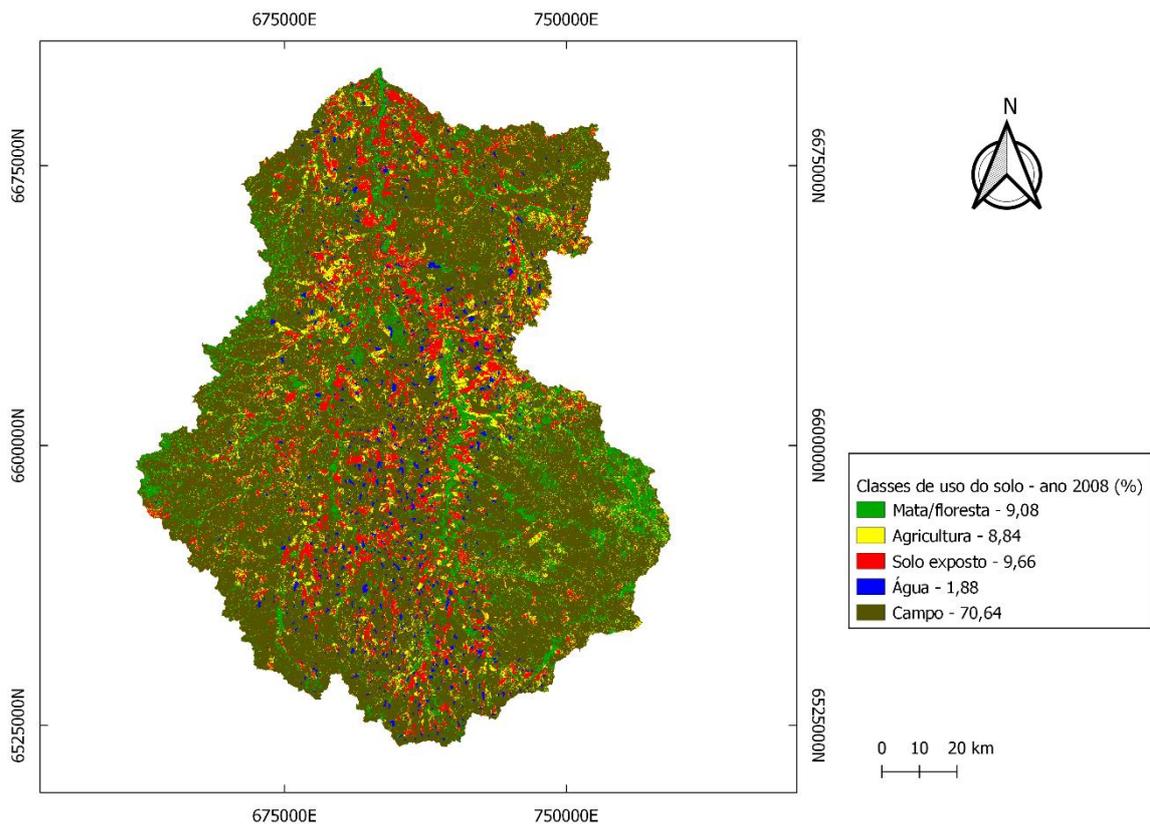


Tabela 5 - Quantificação das classes do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria, RS – 2008.

<b>Classes</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
<b>Floresta</b>	1.429,56	9,08
<b>Agricultura</b>	1.392,23	8,84
<b>Solo Exposto</b>	1.521,00	9,66
<b>Água</b>	296,81	1,88
<b>Campo</b>	11.107,15	70,54
<b>Totais</b>	15.746,75	100

Observando os resultados apresentados na Tabela 5 e no mapa do uso do solo (Figura 5) certificam que em 2008 as áreas agrícolas ocupavam uma área de 1.392,23 km<sup>2</sup> (8,84 %) da área da bacia hidrográfica, as áreas de florestas uma área de 1.429,56 km<sup>2</sup> (9,08 %), as áreas de solo exposto uma área de 1.521 km<sup>2</sup> (9,66 %), as áreas de água uma área de 296,81 km<sup>2</sup> (1,88 %) e as áreas de campos uma área de 11.107,15 km<sup>2</sup> (70,54 %), totalizando os 100% da área da bacia.

#### **4.1.4 Uso do solo no ano de 2011**

O resultado do mapeamento do uso do solo na bacia hidrográfica estudada, a partir da imagem de satélite *Landsat 5*, sensor TM, órbita e ponto 223/81 e 223/82, tomados em 11/11/2011, equivale à Figura 6. A Tabela 6 apresenta as áreas em km<sup>2</sup> e os percentuais das cinco classes do mapeamento.

Figura 6 - Uso do solo - ano 2011.

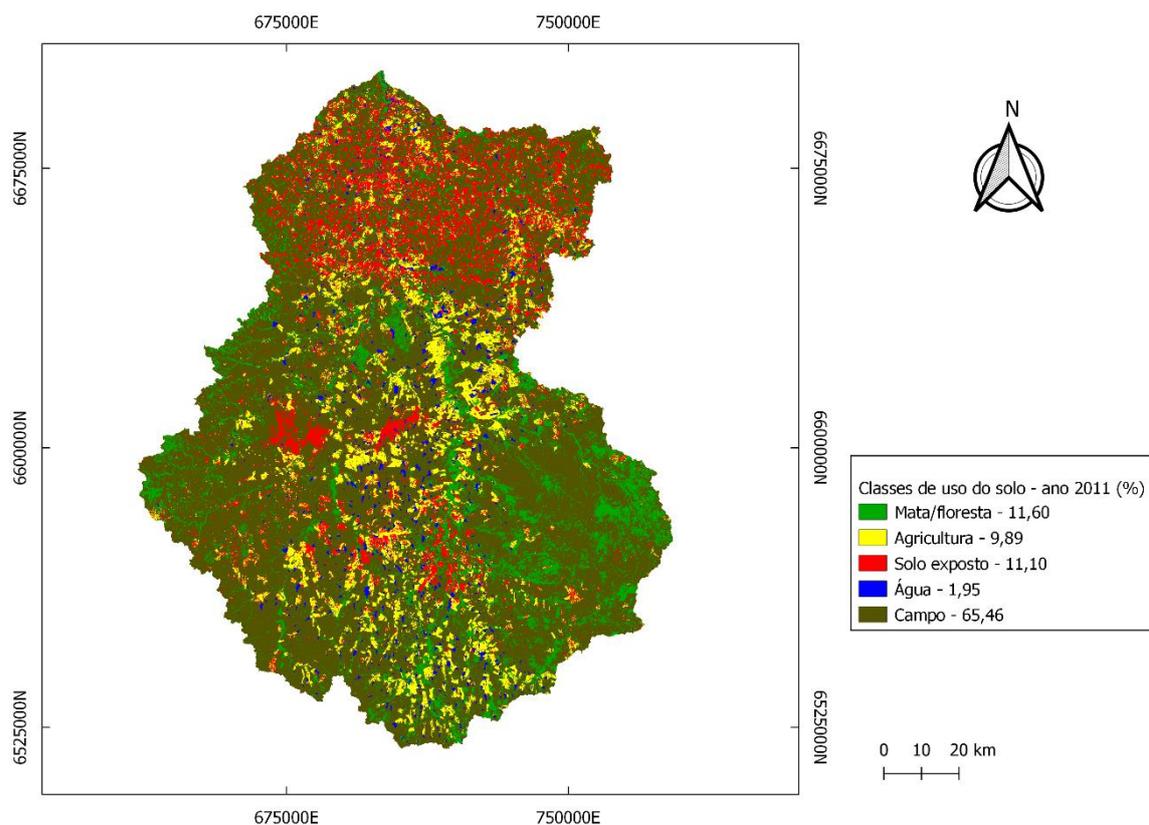


Tabela 6 - Quantificação das classes do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria, RS - 2011.

Classes	Área (km <sup>2</sup> )	%
<b>Floresta</b>	1.825,14	11,60
<b>Agricultura</b>	1.557,80	9,89
<b>Solo Exposto</b>	1.748,82	11,10
<b>Água</b>	307,06	1,95
<b>Campo</b>	10.307,93	65,46
<b>Totais</b>	15.746,75	100

A análise dos resultados apresentados na Tabela 6 e no mapa do uso do solo (Figura 6) atestam que no ano de 2011 as áreas agrícolas preenchiam uma área de 1.557,80 km<sup>2</sup> (9,89%) da área da bacia, as áreas de florestas uma área de 1.825,14 km<sup>2</sup> (11,60%), as áreas de solo exposto uma área de 1.748,82 km<sup>2</sup> (11,10%), as áreas de água uma área de 307,06 km<sup>2</sup> (1,95%) e as áreas de campos ocupavam uma área de 10.307,93 km<sup>2</sup> (65,46%), totalizando os 100% da área da bacia.

#### 4.1.5 Uso do solo no ano de 2015

O resultado do mapeamento do uso do solo na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria, a partir da imagem de satélite *Landsat 8*, sensor OLI, órbita e ponto 223/81 e 223/82, tomados em 08/12/2015, corresponde à Figura 7. A Tabela 7 apresenta as áreas em km<sup>2</sup> e os percentuais das cinco classes do mapeamento.

Figura 7 - Uso do solo - ano 2015.

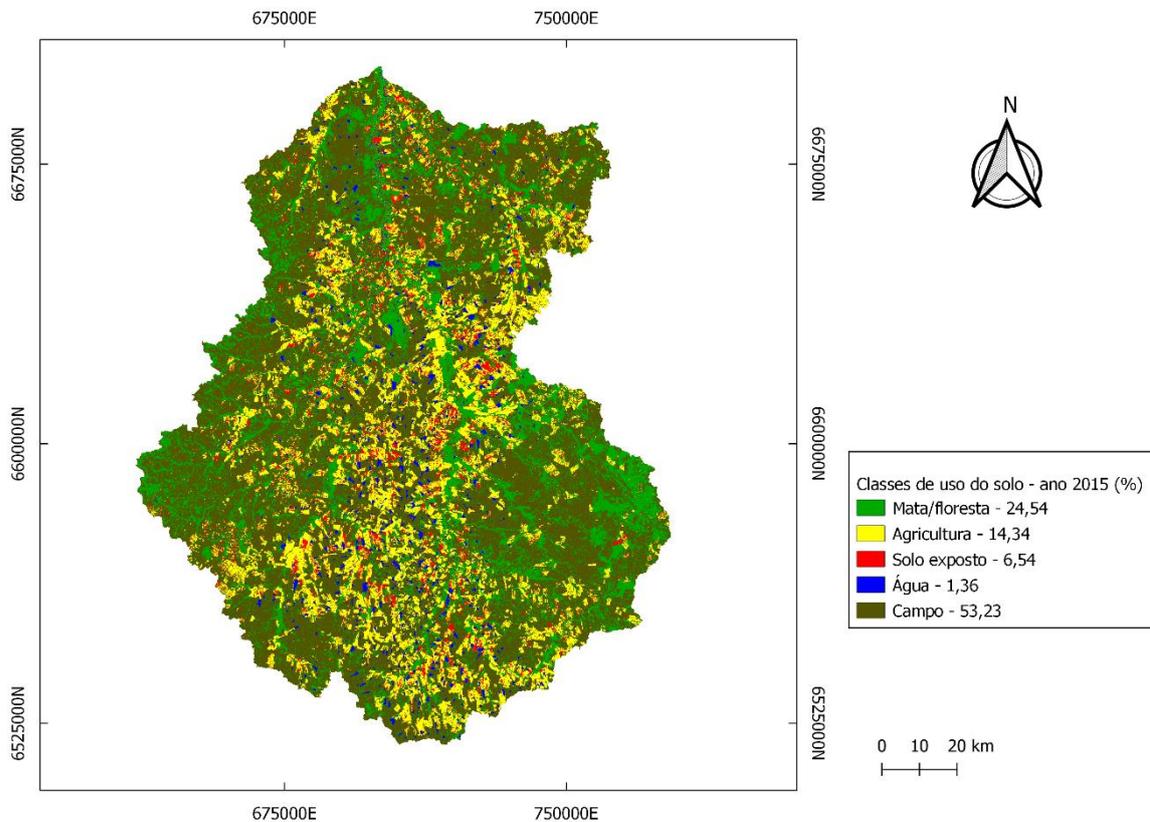


Tabela 7 - Quantificação das classes do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria, RS - 2015.

<b>Classes</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
<b>Floresta</b>	3.863,48	24,54
<b>Agricultura</b>	2.258,11	14,34
<b>Solo Exposto</b>	1.029,77	6,54
<b>Água</b>	213,95	1,36
<b>Campo</b>	8.381,44	53,23
<b>Totais</b>	15.746,74	100

A análise dos resultados apresentados na Tabela 7 e no mapa do uso do solo (Figura 7) provam que em 2015 as áreas agrícolas ocupavam uma área de 2.258,11 km<sup>2</sup> (14,34%) da área da bacia, as áreas de florestas uma área de 3.863,48 km<sup>2</sup> (24,54%), as áreas de solo exposto uma área de 1.029,77 km<sup>2</sup> (6,54%), as áreas de água uma área de 213,95 km<sup>2</sup> (1,36%) e as áreas de campos uma área de 8.381,44 km<sup>2</sup> (53,23%), totalizando os 100% da área da bacia.

#### **4.1.6 Uso do solo no ano de 2019**

O resultado do mapeamento do uso do solo na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria, a partir da imagem de satélite *Landsat 8*, sensor OLI, órbita e ponto 223/81 e 223/82, tomados em 06/03/2019, corresponde à Figura 8. A Tabela 8 mostra as áreas em km<sup>2</sup> e os percentuais das cinco classes do mapeamento.

Figura 8 - Uso do solo - ano 2019.

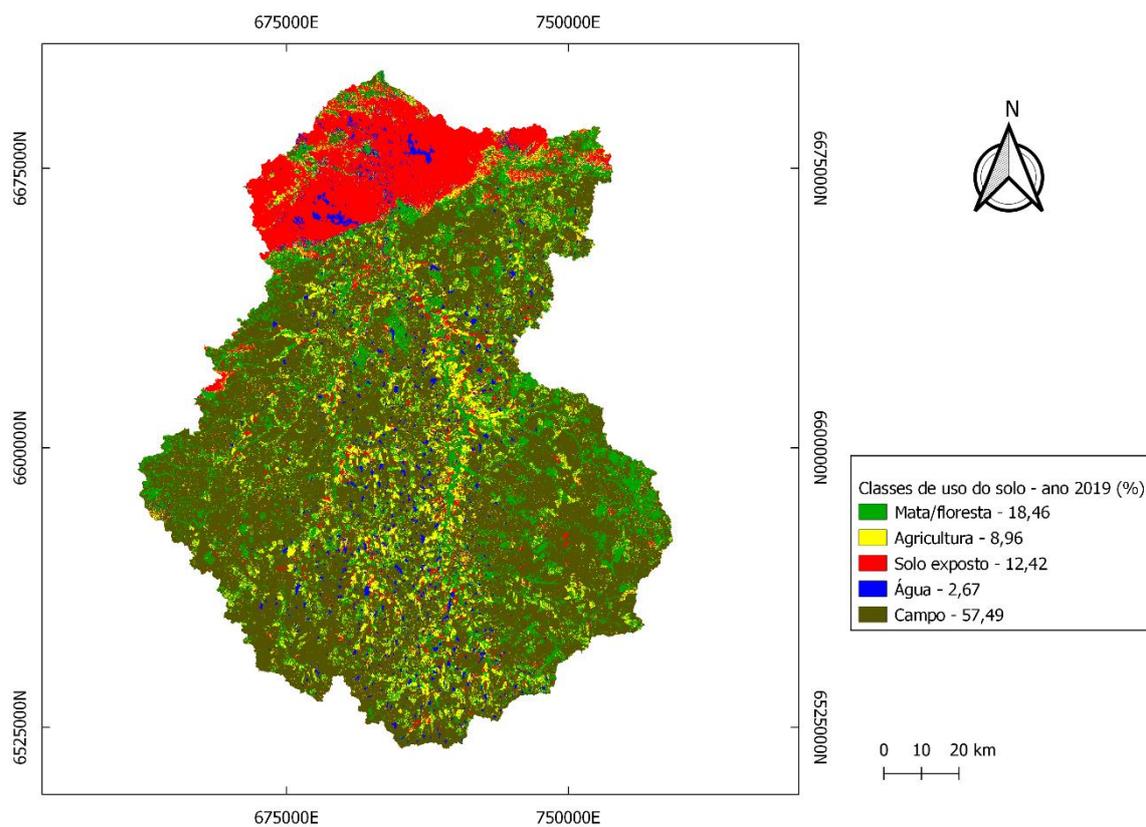


Tabela 8 - Quantificação das classes do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria, RS - 2019.

Classes	Área (km <sup>2</sup> )	%
<b>Floresta</b>	2.906,74	18,46
<b>Agricultura</b>	1.411,45	8,96
<b>Solo Exposto</b>	1.956,00	12,42
<b>Água</b>	419,99	2,67
<b>Campo</b>	9.052,56	57,49
<b>Totais</b>	15.746,74	100

A análise dos resultados apresentados na Tabela 8 e no mapa do uso do solo (Figura 8) demonstram que as áreas agrícolas em 2019, abrangiam uma área de 1.411,45 km<sup>2</sup> (8,96%) da área da bacia hidrográfica, as áreas de florestas ocupavam uma área de 2.906,74 km<sup>2</sup> (18,46%), as áreas de solo exposto uma área de 1.956,00 km<sup>2</sup> (12,42%), as áreas de água uma área de 419,99 km<sup>2</sup> (2,67%) e as áreas de campos uma área de 9.052,56 km<sup>2</sup> (57,49%), totalizando os 100% da área da bacia analisada.

#### 4.2 Alterações do uso do solo na bacia hidrográfica do rio Santa Maria, RS, após vigência da Lei Nº 12.651/2012 (BRASIL, 2012)

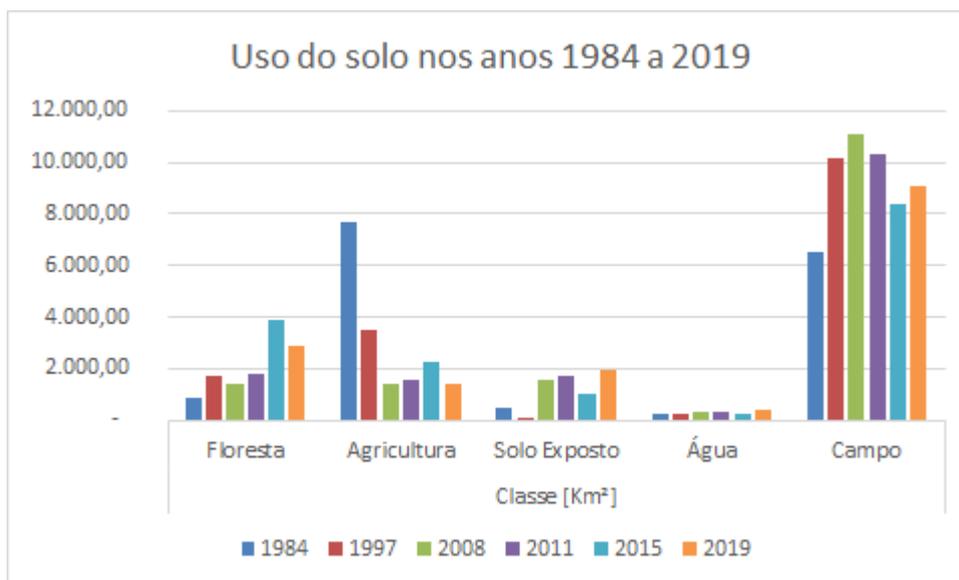
Na Tabela 9 podemos observar de forma resumida a quantificação das áreas nas diferentes classes mapeadas para os anos estudados.

Tabela 9 - Quantificação das classes do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria, RS - 1984 a 2019.

Ano	Classe (km <sup>2</sup> )				
	Floresta	Agricultura	Solo Exposto	Água	Campo
<b>1984</b>	877,57	7.715,24	451,57	212,35	6.481,40
<b>1997</b>	1.718,96	3.517,99	107,28	226,62	10.175,89
<b>2008</b>	1.429,56	1.392,23	1.521,00	296,81	11.107,15
<b>2011</b>	1.825,14	1.557,80	1.748,82	307,06	10.307,93
<b>2015</b>	3.863,48	2.258,11	1.029,77	213,95	8.381,44
<b>2019</b>	2.906,74	1.411,45	1.956,00	419,99	9.052,56

Os dados de resultados oriundos da Tabela 10, podem também ser verificados através de gráfico, observando-se a Figura 9.

Figura 9 - Uso do solo nos anos 1984 a 2019.



Levando-se em conta a vigência da Lei Nº 12.651/12 (BRASIL, 2012), a partir de maio de 2012, verificou-se na classe floresta um aumento de área entre os anos 2011 e 2015 e uma diminuição entre os anos de 2015 e 2019; na classe agricultura também um aumento entre 2011 e 2015 e uma diminuição de área entre os anos de 2015 e 2019; na classe solo exposto houve uma diminuição de área entre os anos 2011 e 2015 e um aumento entre os anos de 2015 e 2019; na classe água uma diminuição de área entre 2011 e 2015 e um aumento entre 2015 e 2019 e na classe campo uma diminuição de área entre os anos 201 e 2015 e um aumento entre os anos 2015 e 2019.

Algumas metodologias científicas analisaram séries temporais com imagens orbitais de alta resolução temporal no bioma Pampa (FABRICANTE *et al.*, 2009; WAGNER *et al.*, 2013; SCOTTÁ e FONSECA, 2015). Estes tiveram como objetivo avaliar a dinâmica agrometeorológica dos campos nativos deste bioma, mas não quantificaram a área convertida entre os usos ao longo dos anos, sendo que existe pouca literatura a respeito desse tema, que utilizem técnicas de modelagem espacial com sensores orbitais para quantificar transformações do uso do solo causados pelo homem no bioma.

Neste meio reduzido de publicações, Capoane e Kuplich (2018), em estudo sobre a expansão da agricultura no bioma Pampa, no período entre os anos 2000 e 2015 houve grande aumento de área cultivada com agricultura na região de abrangência estudada. A substituição dos ambientes naturais tem levado a uma degradação e descaracterização das paisagens, comprometendo o potencial de desenvolvimento sustentável da região, segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2007). No caso do presente estudo, com relação ao cultivo agrícola,

observa-se que no mesmo período de estudo de Capoane e Kuplich (2018) o ocorrido foi mesmo o aumento dessa área, e também a área de campos teve diminuição, mostrando que ocorreu degradação deste devido à substituição do uso desta classe analisada.

Além do mais, a silvicultura teve um aumento expressivo nas áreas de cultivo após o ano de 2004, quando projetos foram anunciados para implantação de fábricas de celulose no RS (FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL - FEPAM, 2013). Sendo que, entre o período analisado estes plantios podem ter influenciado o aumento da área da classe de uso do solo Floresta, e também posteriormente a colheita dessas áreas reflete na diminuição da referida classe no último período analisado.

Apesar da maior presença desta classe na bacia hidrográfica, de acordo com Pillar e Lande (2015) os campos desapareceram em muitas áreas e os remanescentes correm grande risco de serem transformados em novas lavouras, pastagens cultivadas e plantações de árvores. Assim, conforme Lambin *et al.* (2001), mudanças no uso do solo são ocasionadas pela resposta das pessoas a oportunidades econômicas, mediadas por fatores institucionais, sendo as oportunidades e restrições aos novos usos do solo criadas a partir de políticas e mercados locais e nacionais, em que forças globais se tornam as principais determinantes de tais mudanças, uma vez que amplificam ou atenuam fatores locais.

#### 4.3 Dinâmica de alterações no uso do solo

Através do complemento SCP foi possível realizar a detecção de mudanças no uso do solo entre os diferentes pares de imagens classificadas. Nisto, pode-se visualizar na Tabela 10 os valores resultantes dessas comparações.

Tabela 10 - Alterações de classes de uso do solo nos diferentes períodos.

Alteração de classe de uso do solo	Períodos – área (km <sup>2</sup> )				
	1984-1996	1996-2008	2008-2011	2011-2015	2015-2019
<b>Floresta→Agricultura</b>	111,72	131,08	39,32	92,80	210,62
<b>Floresta→Solo Exposto</b>	1,64	209,84	92,11	46,53	458,50
<b>Floresta→Água</b>	3,87	21,53	7,87	3,29	39,13

<b>Floresta→Campo</b>	158,34	512,93	374,04	348,51	1.993,70
<b>Agricultura→Floresta</b>	665,34	276,00	119,30	101,04	441,37
<b>Agricultura→Solo Exposto</b>	32,19	636,73	206,64	284,39	273,78
<b>Agricultura→Água</b>	24,58	63,69	7,20	5,35	105,70
<b>Agricultura→Campo</b>	3.891,31	4.247,63	784,59	465,04	927,65
<b>Solo Exposto→ Floresta</b>	23,24	2,31	57,57	264,29	191,80
<b>Solo Exposto→Agricultura</b>	216,58	10,90	534,84	400,26	237,90
<b>Solo Exposto→Água</b>	1,12	5,94	25,66	11,97	12,48
<b>Solo Exposto→Campo</b>	199,45	37,69	533,89	898,84	461,02
<b>Água→Agricultura</b>	41,14	0,44	15,13	103,92	5,45
<b>Água→Solo Exposto</b>	5,68	2,21	21,81	6,03	17,22
<b>Água→Campo</b>	15,03	7,29	22,98	12,77	11,73
<b>Campo→Floresta</b>	328,98	385,04	729,53	2.154,22	644,68
<b>Campo→Agricultura</b>	2.392,83	617,61	694,01	959,16	700,76
<b>Campo→Solo Exposto</b>	39,22	616,77	1.059,22	519,35	1.079,93

No período compreendido entre 1984 a 1996, a classe de uso do solo que apresentou maior valor de área que teve sua finalidade alterada foi agricultura tornando-se campo, com 3.891,31 km<sup>2</sup>. Na sequência, 2.392,83 km<sup>2</sup> de campo posteriormente foram detectados como agricultura. Ainda 665,34 km<sup>2</sup> primeiramente identificados agricultura tiveram seu uso mudado para floresta.

Entre os anos de 1996 e 2008 as maiores alterações de uso se deram dentre as seguintes classes: agricultura para campo, com 4.247,63 km<sup>2</sup>; em seguida 636,73 km<sup>2</sup> de agricultura tornaram-se solo exposto e também 617,61 km<sup>2</sup> de campo posteriormente foram identificados agricultura.

Comparados os anos de 2008 e 2011, 1.059,22 km<sup>2</sup> de campo tornaram-se solo exposto, 784,59 km<sup>2</sup> de agricultura posteriormente eram usados como campo e 729,53 km<sup>2</sup> de campo foram alterados para o uso floresta.

Na comparação dos anos 2011 e 2015, 2.154,22 km<sup>2</sup> inicialmente detectados campo tiveram seu uso modificado para floresta; 959,16 km<sup>2</sup> de campos tornaram-se agricultura; e 898,84 km<sup>2</sup> de solo exposto foram modificados para campo.

Relacionados os anos 2015 e 2019, 1.993,7 km<sup>2</sup> da classe floresta vieram a ser identificados como campo; 1.079,93 km<sup>2</sup> de campo como solo exposto e 927,65 km<sup>2</sup> de agricultura em campo.

## 5 CONCLUSÃO

A partir da geração dos mapas temáticos do uso do solo, realizados pela elaboração dos produtos cartográficos, sendo as ferramentas de geoprocessamento (software QGIS e complemento SCP) utilizados para essa caracterização, associados à revisão bibliográfica, possibilitaram uma melhor análise da bacia hidrográfica do rio Santa Maria pela integração de bases de dados obtidos.

Ainda, pôde-se compreender as transformações ocorridas no uso do solo estudando a dinâmica das paisagens pela quantificação das diferentes classes referenciadas nos anos avaliados, sendo estas alterações variáveis conforme indicado por Lambin *et al.* (2001), onde essas mudanças são ocasionadas pela resposta das pessoas a oportunidades econômicas, mostrando que os diferentes cultivos variam conforme seu favorecimento econômico.

Ao identificar analisando o uso do solo e a extensão de vegetação arbórea na bacia, entendeu-se que a área estudada está em conformidade no quesito “atendimento limite de 20 % de RL” conforme o Novo Código Florestal, uma vez que as classes de uso do solo Floresta e Campo (que são as vegetações naturais do bioma Pampa) constituem percentual acima deste necessário para o enquadramento. Entretanto, não quer dizer que todas as propriedades rurais detêm o percentual mínimo de RL exigido por Lei.

Sendo assim, de forma geral, a verificação do impacto da alteração da legislação ambiental nas características do uso do solo na bacia analisada através de geotecnologias livres foi pontualmente variável. No quesito de impacto negativo, demonstrou que nos últimos anos analisados o solo exposto aumentou e as florestas diminuíram. No quesito positivo, o ano de 2015 foi marcado por um aumento de área de florestas e diminuição do solo exposto, e o ano de 2019 aumentou a área de campo e água e diminuiu da agricultura.

Além disso, mostra-se relevante a continuidade de estudos sobre alterações no uso do solo em regiões do bioma Pampa e através de SIGs, e mais especificamente o software gratuito QGIS e seus complementos internos, com os quais há a facilitação da integração de dados bem como sua visualização e interpretação, uma vez que este ambiente é frágil ecologicamente e o qual tem pouca representatividade no Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) (MMA, 2007).

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Base Hidrográfica Ottocodificada da Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai**, 2016, Arquivo de Metadados. Disponível em: <https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>. Acesso em: 15 de fev. 2019
- ALMEIDA, L. C. Análise espacial de dados com o quantum GIS: exercícios realizados durante tópico especial ofertado pelo programa de Pós-Graduação em Geografia da UFSC. **OBSERVATORIUM: Revista Eletrônica de Geografia**, v.3, n.8, p.173-194, dez.2011.
- ALTAFIN, I. **O projeto de reforma do Código Florestal em detalhes**, 2011. Disponível em: <http://www12.senado.gov.br/codigoflorestal> Acesso em: 15 dez. 2019.
- ALVARENGA, A. S.; MORAES, M. F. **Utilização de imagens LANDSAT 8 para caracterização da cobertura vegetal**, 2014. Disponível em: <http://mundogeo.com/blog/2014/06/10/processamento-digital-de-imagens-landsat-8-para-obtencao-dos-indices-de-vegetacao-ndvi-e-savi-visando-a-caracterizacao-da-cobertura-vegetal-no-municipio-de-nova-lima-mg/>. Acesso em: 20 de nov. 2019.
- ARIZA, A. **Descripción y corrección de productos Landsat 8**. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2013. 46 p.
- AYACH, L. R.; CUNHA, E. R.; SILVA, L. F. Utilização de imagens Google Earth para mapeamento do uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do córrego Indaiá, MS. **Revista Geonorte**, Manaus-AM. edição especial, v.2, n.4, p.1801–1811, 2012.
- BRANCALION, P. H. S. *et al.* A critical analysis of the Native Vegetation Protection Law of Brazil (2012): updates and ongoing initiatives. **Natureza & Conservação**, Curitiba, PR, v. 14, p.1-15, abr. 2016.
- BOLDRINI, I. I. A flora dos campos do Rio Grande do Sul. *In*: PILLAR, V. P.; MÜLLER, S. C.; CASTILHOS, Z. M. S; JACQUES, A. V. A. (ed.). **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009. 403p.
- BOLDRINI, I. I. *et al.* **Bioma Pampa: diversidade florística e fisionômica**. Porto Alegre: Ed. Palotti, 2010. 64p
- BOTELHO, R. G. M.; DA SILVA, A. S. **Bacia hidrográfica e qualidade ambiental**. *In*: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. Reflexões sobre a geografia física no Brasil. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 153-192, 2007.
- BRASIL. Código Florestal. **Lei Nº 4.471**, de 15 de setembro de 1965. Brasília.
- BRASIL, Código Florestal. **Lei Nº 12.651**, de 25 de maio de 2012. Brasília, Diário Oficial da União, 2012.
- BRASIL, **Decreto Federal Nº 23.793**, de 23 de janeiro de 1934 - Código Florestal de 1934.
- CAPOANE, V.; KUPLICH, T. Expansão da agricultura no bioma Pampa. **8º Reunião de Estudos Ambientais**. 2018

CECONI, D. E. **Diagnóstico e recuperação da mata ciliar da sanga lagoão do ouro na microbacia hidrográfica do Vacacaí Mirim, Santa Maria - RS**. 2010. 132 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2010.

CENSIPAM. **Quantum GIS 1.4.0 - Guia do Usuário**: Versão 1.4.0 “Enceladus”. Tradução do Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia. S/d.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; HELDER, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Rem. Sen. Envi.** 113 (5), 893–903, 2009.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1974.

CONGEDO, L. **Semi-Automatic Classification Plugin Documentation**. Disponível em: <https://fromgistors.blogspot.com/p/user-manual.html?spref=scp>. Acesso em: 10 março de 2019.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS - CNRH. **Resolução Nº 30**, de 11 de dezembro de 2002. Disponível em: <http://www.cnrh.gov.br/divisao-hidrografica-nacional/73-resolucao-n-30-de-11-de-dezembro-de-2002/file>. Acesso em: 07 nov. 2019.

COSTA, F. R.; SOUZA, R. F.; SILVA, S. M. P. Análise comparativa de metodologias aplicadas à delimitação da bacia hidrográfica do Rio Doce–RN. **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia, MG, v. 28, n. 3, p. 429-442, set./dez. 2016.

DARMANTO, N. S.; VARQUEZ, A. C. G.; KANDA, M. Urban roughness parameters estimation from globally available datasets for mesoscale modeling in megacities. **Urban Climate**, v. 21, p. 243–261, set. 2017.

EL BASTAWESY, M. *et al.* Assessment of water logging in agricultural megaprojects in the closed drainage basins of the Western Desert of Egypt. **J. Hydro. Earth Sys. Sci.** 17, 1493–1501. 2013.

ELLOVITCH, M. da F.; VALERA, C. A. **Manual novo Código Florestal**. **Revista Ministério Público do Estado de Minas Gerais**. Edição Manual Novo Código Florestal, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Módulos Fiscais**, 2012. Disponível em: <https://www.embrapa.br/codigo-florestal/area-de-reserva-legal-arl/modulo-fiscal> Acesso em: 18 dez. 2019.

ESCOLÀ, A. *et al.* Using Sentinel-2 images to implement Precision Agriculture techniques in large arable fields: First results of a case study. **Advances in Animal Biosciences**, v. 8, n. 02, p. 377–382, 1 jul. 2017.

ESRI. **Referência – Shapefile**. Disponível em: <https://doc.arcgis.com/pt-br/arcgis-online/reference/shapefiles.htm> Acesso em: 20 de out. 2020.

FABRICANTE, I.; OESTERHELD, M.; PARUELO, J. M. Annual and seasonal variation of NDVI explained by current and previous precipitation across Northern Patagonia. **Journal of Arid Environments**, v. 73, pp. 745–753, 2009.

FELIPE, A. C. **Avaliação das áreas de conflito de uso em APP na Microbacia Ribeirão do Veadão, Piratininga (SP) por meio de geotecnologias**. Dissertação de Mestrado em Agronomia. Faculdade de Ciências Agrônômicas/UNESP.BOTUCATU, 2015.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**, 1ed, São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 160p.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL - FEPAM. **Banco de dados da silvicultura do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre. Base de dados. 2013.

FONSECA, B. da C. R. V. **As Principais Alterações Trazidas Pelo Novo Código Florestal Brasileiro**. Rio de Janeiro - RJ. 2012. 26 f. Artigo Científica (Pós-Graduação Lato Sensu) - Escola de Magistratura do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2012.

GANAN, J. R. *et al.* Mapeamento da cultura da soja com imagens Landsat 5/TM utilizando algoritmos de classificação supervisionada. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2005.

GARCIA, Y. M. **O Código Florestal Brasileiro e Suas Alterações no Congresso Nacional**. Departamento de Geografia da FCT/UNESP, Presidente Prudente, n. 12, v.1, p.54-74, janeiro a junho, 2012.

GONTIJO, G. *et al.* Análise do atendimento ao Código Florestal e a regularização ambiental por unidades de bacias hidrográficas. **Ciência Florestal**, 29(4), 2019, 1538-1550.  
doi:<https://doi.org/10.5902/1980509818102>

HERMOSILLA, T. *et al.* Regional detection, characterization, and attribution of annual forest change from 1984 to 2012 using Landsat-derived time-series metrics. **Remote Sens. Environ.** 170, 121–132. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 271 p.

JENSEN, J. R. Digital change detection. *Introductory Digital Image Processing. A Remote Sensing perspective*. Pearson Prentice Hall, New York, pp. 467–494. 2005.

KENNEDY, R. E.; COHEN, W. B.; SCHROEDER, T. A. Trajectory-based change detection for automated characterization of forest disturbance dynamics. **Remote Sensing of Environment**, v. 110, p. 370-386, 2007.

KUPLICH, T. M.; MOREIRA, A.; FONTANA, D. C. Série temporal de índice de vegetação sobre diferentes tipologias vegetais no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 10 n. 17, p. 11161123, 2013.

LAMBIN, E. F. *et al.* The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. **Global Environmental Change**, 11, 2001. pp. 261–269.

LANUCI, L.; BORGES, T. A aplicabilidade do Código Florestal na preservação da mata ciliar. **Revista Jus Navigandi**, Teresina, ano 19, n. 4175, 6 dez. 2014. Disponível em: <http://jus.com.br/artigos/31044>. Acesso em: 12 ago. 2018.

LEITE, M. E.; LEITE, M. R.; CLEMENTE, C. M. S. O uso do solo e o conflito por água no alto rio Riachão – norte de minas gerais: uma análise Auxiliada pelas geotecnologias. **Revista Geográfica Acadêmica**, 4(1):46 – 55. 2010.

LIMA, W. P. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas**. ESALQ-USP, 1986.

LIU, W. T. **Aplicações em Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: UNIDERP. 2006.

LU, D. *et al.* Change detection techniques. **Inter. J. Rem. Sen.** 25 (12), 2365–2407. 2004.

MANGHI, G.; CAVALLINI, P.; NEVES, V. Quantum GIS: Um desktop potente e amigável. **Revista FOSSGIS Brasil**, Junho 2011.

MAS, J. F. Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. **Inter. J. Rem. Sen.** 20 (1), 139–152. 1999.

MCHARG, I. L. **Proyectar con la naturaleza**, Barcelona: Gustavo Gili, 2000. 197p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **PROBIO – Cobertura vegetal do Bioma Pampa, Relatório Técnico**. 2007. Disponível em: [http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/arquivos/Publicacoes/Relatorios/2007/Relatorio\\_bioma\\_pampa.pdf](http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/arquivos/Publicacoes/Relatorios/2007/Relatorio_bioma_pampa.pdf). Acesso em 5 jul. 2018.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION - NASA. Landsat 5 Sets Guinness World Record For 'Longest Operating Earth Observation Satellite'. Disponível em: [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/landsat/news/landsat5-guinness.html#.VW220s9Vikp](https://www.nasa.gov/mission_pages/landsat/news/landsat5-guinness.html#.VW220s9Vikp). Acesso em: 02 jun. 2018.

NEIVA, S. de A. **As áreas de preservação permanente no Brasil: a percepção de especialistas**. 2009, 137f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

NETO, J. A. B.; CARNEIRO, A. F. T. **Análise e aplicação de softwares livres na estruturação de cadastros territoriais urbanos**. CONIC, CTG – UFPE, 4 pp, 2010.

NICOLAU, R. C. P. **Implicações legais da configuração da Sub-bacia do Rio São Tomé frente ao novo código florestal brasileiro**. 2018, 42f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Universidade Federal de Alfenas, Alfenas-MG, 2018.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2010. 388 p.

OVERBECK, G. E. Brazil's neglected biome: The South Brazilian *Campos*. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v.9, n.1, p. 101-116, 2007.

PARRON, L. M. *et al.* **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Colombo: Embrapa Florestas, 2015.

PARUELO, J. M.; JOBBÁGY, E. G.; SALA, O. E. Current distribution of ecosystem functional types in temperate South América. **Ecosystems**, v. 4, p. 683-698, 2001.

PFAFSTETTER, O. **Classificação de bacias hidrográficas**: metodologia de codificação. Unpublished Technical Report (in Portuguese). Departamento Nacional de Obras de Saneamento. Rio de Janeiro: DNOS, 1989.

PILLAR, V. P.; LANGE, O. **Os campos do sul**. Porto Alegre: Rede Campos Sulinos - UFRGS, 2015. 192 p.

PIROLI, E. L. *et al.* Análise do uso da terra na microbacia do Arroio do Meio, Santa Maria, RS, por sistema de informações geográficas e imagem de satélite. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 32, n. 3, p. 407-413, jun. 2002.

PORTAL BRASIL. **Entenda as principais regras do Código Florestal**. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2012/11/entenda-as-principais-regras-do-codigo-florestal>. Acesso em 20 de ago. 2019.

POTIĆ, I. M. *et al.* Remote sensing role in environmental stress analysis: East Serbia wildfires case study (2007–2017). **Journal of the Geographical Institute "Jovan Cvijic" SASA**, v. 67, n. 3, p. 249–264, 2017.

QGIS Development Team. **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project. 2019. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>

QIN, D.; JIANWEN, M.; YUN, O. Y. Remote sensing data change detection based on the CI test of Bayesian networks. **Computers & Geosciences**, v. 32, p. 195-202, 2006.

REIS, J. T.; FILHO, W. P.; SILVEIRA, A. L. L. Estimativa entre densidade habitacional e áreas impermeáveis na região urbana da sub-bacia hidrográfica do arroio Cadena em Santa Maria, RS. **Ciência e Natura**, UFSM, 33 (1): p. 145 – 160, 2011.

REID, W.V. *et al.* MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and Human Well-being: Synthesis**. Washington, Island Press, 2005.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Planejamento, Orçamento e Gestão. Atlas Socioeconômico Rio Grande do Sul – 4 ed – Porto Alegre: Secretaria de Planejamento, Orçamento e Gestão, 2012. 125p

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura. U070 – Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/u070-bacia-hidrografica-do-rio-santa-maria>. Acesso em 20 de ago. 2019.

RODRIGUES, V. A. **A educação ambiental na trilha**. Botucatu: UNESP-FCA, 2000.

RODRIGUEZ, J. M. M. **Planificación ambiental**. La Habana: Ed. Félix Varela, 2008.

- RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; LEAL, A. C. Planejamento ambiental de bacias hidrográficas desde a visão da geocologia da paisagem. In: FIGUEIRÓ, A. S.; FOLETO, E (org.). **Diálogos em Geografia Física**, Santa Maria, RS, Ed. da UFSM, 2011.
- ROESCH, L. F. W. *et al.* The Brazilian Pampa: A Fragile Biome. **Diversity** 2009, 1, 182-198.
- ROSA, R. A. Utilização de imagens TM/LANDSAT em levantamento de uso do solo. In: VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 6, 1990, Manaus. **Anais...** São José dos Campos-SP, INPE, v.2, 1990. p.419-425.
- ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 7 ed. Uberlândia: Editora Edufu, 2009.
- ROSEMBACK, R. *et al.* Análise da dinâmica da cobertura vegetal na região sul do Brasil a partir de dados MODIS/TERRA. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.2, p.401-4016, 2010.
- ROY, D. P. *et al.* Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research, **Remote Sensing of Environment**, Volume 145, 154-172, 2014.
- SCHEIDT, S.; RAMSEY, M.; LANCASTER, N. Radiometric normalization and image mosaic generation of ASTER thermal infrared data: an application to extensive sand sheets and dune fields. **Rem. Sen. Envi.** 112 (3), 920–933. 2008.
- SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus - BH. Editora da UESC: 2002, 293p.
- SCOTTÁ, F. C.; FONSECA, E. L. Multiscale Trend Analysis for Pampa Grasslands Using Ground Data and Vegetation Sensor Imagery. **Sensors**, 2015, 15(7), 17666-17692.
- SILVA, J. A. A. *et al.* **O código florestal e a ciência: contribuições para o diálogo**. São Paulo: SBPC, 2012. 149 p.
- SILVA, M. A. *et al.* Classificação digital de imagens Modis para mapeamento do uso da terra na bacia do médio e alto Teles Pires-MT. In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 3, 2010, Recife. **Anais...** Recife: UFPE, 2010. p.1-6.
- SOARES-FILHO, B. *et al.* Cracking Brazil's forest code. **Science**, Washington, US, v. 344, n. 6182, p. 363-364, abr. 2014.
- SPAROVEK, G. *et al.* **Considerações sobre o Código Florestal Brasileiro**. Junho, 2010.
- SPAROVEK, G. *et al.* A revisão do Código Florestal brasileiro. **Novos Estudos-CEBRAP**, n. 89, p. 111-135, 2011.
- TAMBOSI, L. R. *et al.* Funções eco-hidrológicas das florestas nativas e o Código Florestal. **Estud. av.**, São Paulo, SP, v. 29, n. 84, p. 151-162, ago. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142015000200010> DOI: 10.1590/S0103-40142015000200010.

TURNER II, B. L.; LAMBIN, E. F.; REENBERG, A. The emergence of land change science for global environment change and sustainability. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 104, n. 52, p. 20666-20671, 2007.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **EarthExplorer**. 2018. Disponível em: <http://earthexplorer.usgs.gov/> Acesso em: set. 2018.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY - USGS. **Landsat a global landimaging mission**. 2013. 4 p.

VIEIRA, D.; TEODORO, A.; GOMES, A. Analyzing land surface temperature variations during Fogo Island (Cape Verde) 2014-2015 eruption with Landsat 8 images. **Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications**, 2016.

WAGNER, A. P. L. *et al.* Tendências temporais de índices de vegetação nos campos do Pampa do Brasil e do Uruguai. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 9, 2013.

WHITE, J. C. *et al.* Pixel-based image compositing for large-area dense time series applications and science. **Can. J. Remote. Sens.** 40, 192–212. 2014.