

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

KARINA FARINA

AVALIAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DE REMANESCENTES DE MATA  
ATLÂNTICA EM GOVERNADOR CELSO RAMOS – SC COMO SUBSÍDIO PARA  
PLANEJAMENTO AMBIENTAL MUNICIPAL

Florianópolis

Outubro, 2021

KARINA FARINA

AVALIAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DE REMANESCENTES DE MATA  
ATLÂNTICA EM GOVERNADOR CELSO RAMOS – SC COMO SUBSÍDIO PARA  
PLANEJAMENTO AMBIENTAL MUNICIPAL

Dissertação apresentada ao  
Mestrado Profissional em  
Clima e Ambiente do  
Campus Florianópolis do  
Instituto Federal de Santa  
Catarina para a obtenção  
do diploma de Mestre em  
Clima e Ambiente.

Orientador: Marcelo Rennó  
Braga

Florianópolis

Outubro, 2021



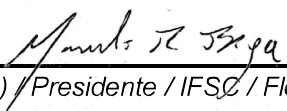
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CLIMA E AMBIENTE**

Aluna: Karina Farina

<b>Título:</b>	<b>AVALIAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DE REMANESCENTES DE MATA ATLÂNTICA EM GOVERNADOR CELSO RAMOS - SC</b>
----------------	--

**Aprovado (a) pela Banca Examinadora em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do Título de Mestre em Clima e Ambiente**

Dr. Marcelo Rennó Braga

  
Orientador(a) / Presidente / IFSC / Florianópolis – SC

Participação: ( ) Presencial ( x ) Videoconferência  
( X ) Aprovado ( ) Reprovado

Dr. Eduardo Augusto Werneck Ribeiro

  
Avaliador(a) Interno / IFSC / Florianópolis - SC

Participação: ( ) Presencial ( x ) Videoconferência  
( X ) Aprovado ( ) Reprovado

Dr. Michel Nobre Muza



Documento assinado digitalmente

MICHEL NOBRE MUZA

Data: 30/11/2021 12:00:11-0300

CPF: 977.090.260-87

Verifique as assinaturas em <https://v.ifsc.edu.br>

Avaliador(a) Interno / IFSC / Florianópolis - SC

Participação: ( ) Presencial ( x ) Videoconferência  
( X ) Aprovado ( ) Reprovado

Dr. Fábio Noel Stanganini

  
Avaliador(a) Externo / UFSCar / Florianópolis - SC

Participação: ( ) Presencial ( x ) Videoconferência  
( X ) Aprovado ( ) Reprovado

Este trabalho foi aprovado por:

( ) maioria simples

( X ) unanimidade

CDD 551.6  
F225a

Farina, Karina

Avaliação temporal e espacial de remanescentes de mata atlântica em Governador Celso Ramos – SC como subsídio para planejamento ambiental municipal [DIS] / Karina Farina; orientação de Marcelo Rennó Braga – Florianópolis, 2021.

1 v.: il.

Dissertação de Mestrado (Clima e Ambiente) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Inclui referências.

1. Índices de vegetação. 2. Sazonalidade. 3. Precipitação. 4. InVEST. I. Braga, Marcelo Rennó. II. Título.

Sistema de Bibliotecas Integradas do IFSC  
Biblioteca Dr. Hercílio Luz – Campus Florianópolis  
Catalogado por: Ana Paula F. Rodrigues - CRB 14/1117

## RESUMO

O município de Governador Celso Ramos está localizado no litoral de Santa Catarina, no sul do Brasil, dentro do bioma Mata Atlântica. A Mata Atlântica, apesar de ser considerada um *hotspot* mundial, continua sofrendo impactos antrópicos, como desmatamento e fragmentação, sendo essencial a criação de políticas públicas para preservação dessas áreas. O sensoriamento remoto é uma ferramenta de baixo custo, que auxilia tanto na análise espacial, como o mapeamento desses remanescentes, quanto na análise temporal, utilizando índices de vegetação para estudar a dinâmica sazonal. Assim, o objetivo desse estudo foi avaliar a situação dos remanescentes de Mata Atlântica no município de Governador Celso Ramos, além da influência climática nos mesmos, a fim de iniciar base teórica para elaboração do Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica. Para avaliar a sazonalidade, foram utilizadas imagens do satélite Sentinel-2 no período de abril de 2016 a março de 2021. Calcularam-se os índices de vegetação NDVI e EVI2 para amostras de restinga e de diferentes tamanhos de remanescentes de Floresta Ombrófila Densa. A partir do teste Kruskal-wallis foi possível identificar a existência de sazonalidade ( $p < 0,05$ ), com os índices mais altos no verão e mais baixos no inverno, sendo que o EVI2 se mostrou superior para a identificação da sazonalidade. Utilizando o teste de correlação de Spearman, constatou-se que há uma correlação dos índices com a temperatura e a precipitação acumulada ( $p < 0,05$ ). Entretanto, os remanescentes pequenos foram os que obtiveram os resultados mais fracos estatisticamente tanto para correlação quanto para sazonalidade, provavelmente devido ao efeito de borda que estão sujeitos, tornando-os menos estáveis. Já a avaliação espacial foi realizada a partir da elaboração de um Mapa de Uso e Ocupação do Solo, utilizando uma imagem de agosto/2020 do Sentinel-2. A classificação foi realizada pelo algoritmo *Random Forest*, utilizando nove classes, e sendo validado por matriz de confusão (Acurácia Geral 93,5%, índice Kappa 0,8997). Também se realizou a modelagem ambiental *Habitat Quality*, pela ferramenta InVEST, a qual identificou níveis de degradação e permitiu mapear áreas prioritárias para restauração e conservação do bioma Mata Atlântica. Esses dados possibilitarão a elaboração e implementação do Plano Municipal de Conservação e Restauração da Mata Atlântica no município de Governador Celso Ramos.

**Palavras-Chave:** Índices de vegetação; InVEST; Sazonalidade; Precipitação; Temperatura.

## ABSTRACT

The city of Governador Celso Ramos is located at Santa Catarina coastline, South Brazil, in Atlantic Forest biome. The Atlantic Forest, despite being considered a worldwide hotspot, continues to suffer anthropic impacts, as deforestation and fragmentation, being essential the creation of public policies for the preservation of these areas. Remote sensing is a low-cost tool, which helps the spatial analysis, such as remnants mapping, and temporal analysis, using vegetation indexes to study seasonal dynamics. This study objective was to analyze the Atlantic Forest remnants status in Governador Celso Ramos, besides the climatic influence on them, in order to initiate theoretical basis to Atlantic Forest Conservation and Restoration Municipal Plan. To evaluate seasonality, Sentinel-2 satellite images were used, between April 2016 and March 2021. Vegetation indexes NDVI and EVI2 were calculated to restinga samples and different remnants sizes of Dense Ombrophilous Forest samples. Through Kruskal-wallis test was possible to identify the occurrence of seasonality ( $p < 0.05$ ), with higher index values at summer and lower at winter, with EVI2 being superior for seasonality identification. By Spearman correlation test, was observed a correlation between the indexes with temperature and accumulated precipitation ( $p < 0.05$ ). However, the small remnants obtained the weakest statistical results for correlation and seasonality, probably due to border effect, what makes them less stable. The spatial analysis was realized through a Land Use and Occupation Map elaboration, using a Sentinel-2 image from august 2020. The classification was realized with Random Forest, using nine classes, being validated by confusion matrix (General Accuracy 93.5%, Kappa index 0.8997). Also was realized Habitat Quality environmental model, through InVEST, which identify degradation levels and allowed to map priority areas to conservation and restoration of Atlantic Forest biome. This data will provide information for the Atlantic Forest Conservation and Restoration Municipal Plan elaboration and implementation at Governador Celso Ramos city.

Keywords: Vegetation Indexes, InVEST, Seasonality, Precipitation; Temperature

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização do município de Governador Celso Ramos, no estado de Santa Catarina, Brasil.....	31
Figura 2. Localização das áreas amostrais de Mata Atlântica, em Governador Celso Ramos, SC .....	33
Figura 3. Valores de NDVI entre abr/2016 e mar/2021 em amostras de Governador Celso Ramos/ SC.....	34
Figura 4. Valores de EVI2 entre abril/2016 e mar/2021 em amostras de Governador Celso Ramos, SC.....	34
Figura 5. Médias mensais de temperatura e precipitação mensal acumulada no período de estudo (jan/2016 à mar/2021) .....	39
Figura 6. Imagens de satélite Google Earth de cada classe de Uso e Ocupação do solo: A - Água; B - Área Urbana; C - Solo exposto; D - Pastagem/vegetação herbácea; E - Floresta Exótica; F - Mata Atlântica - Estágio Médio à Avançado; G - Praia; H - Mata Atlântica - Estágio Inicial; I - Área Úmida.....	51
Figura 7. Mapa de uso e ocupação do solo de Governador Celso Ramos em 2020	52
Figura 8. Mapa dos remanescentes de Mata Atlântica em Governador Celso Ramos em 2020 .....	54
Figura 9. Mapa de áreas protegidas em Governador Celso Ramos utilizado no modelo Habitat Quality (InVEST) .....	58
Figura 10. Mapa de degradação no município de Governador Celso Ramos, a partir do modelo Habitat quality (InVEST) .....	60
Figura 11. Locais com áreas prioritárias para ações de conservação - nível baixo de degradação .....	61
Figura 12. Locais com áreas prioritárias para ações de restauração - nível médio de degradação .....	62
Figura 13. Locais com áreas prioritárias para ações de restauração - nível alto de degradação .....	63

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Informações obtidas pelo MultiSpectral Instrument - Adaptado de ESA, 2021b .....	23
Tabela 2. Resultados do teste Kruskal-wallis para cada classe de Mata Atlântica e estações do ano, em Governador Celso Ramos, SC .....	37
Tabela 3. Resultados do pós-teste de Dunn, com ajuste pelo método Bonferroni, comparando índices de vegetação nas estações do ano, na classe Remanescentes Grandes .....	37
Tabela 4. Resultados do pós-teste de Dunn, com ajuste pelo método Bonferroni, comparando índices de vegetação nas estações do ano, na classe Remanescentes Médios.....	37
Tabela 5. Resultados do pós-teste de Dunn, com ajuste pelo método Bonferroni, comparando índices de vegetação nas estações do ano, na classe Remanescentes Pequenos .....	37
Tabela 6. Resultados do pós-teste de Dunn, com ajuste pelo método Bonferroni, comparando índices de vegetação nas estações do ano, na classe Restinga.....	38
Tabela 7. Valores do coeficiente $\rho$ de Spearman, entre NDVI e variáveis climáticas, com significância $<0,05$ , com destaque para maiores valores de cada classe.....	40
Tabela 8. Valores do coeficiente $\rho$ de Spearman, entre EVI2 e variáveis climáticas, com significância $<0,05$ , com destaque para maiores valores de cada classe.....	40
Tabela 9. Classes de uso e ocupação do solo de Governador Celso Ramos em 2020 e sua área relativa.....	53
Tabela 10. Acurácia do produtor e usuário para cada classe .....	53
Tabela 11. Distribuição das áreas de remanescentes de Mata Atlântica em Governador Celso Ramos em 2020 .....	55
Tabela 12. Ameaças identificadas para a Mata Atlântica em Governador Celso Ramos.....	57
Tabela 13. Tabela de sensibilidade para modelo Habitat Quality (InVEST).....	59
Tabela 14. Tabela de ameaças para modelo Habitat Quality (InVEST).....	59
Tabela 15. Percentuais de cada nível de degradação em Governador Celso Ramos	61
Tabela 16. Sumarização da legislação ambiental utilizada nesta dissertação.....	78
Tabela 17. Identificação das cenas do satélite Sentinel-2 utilizadas para cálculos de índices de vegetação .....	79



## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

APA – Área de Proteção Ambiental

APP – Área de Preservação Permanente

CONDEMA – Conselho Municipal de Meio Ambiente

InVEST - Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs

ESA – Agência Espacial Europeia

EVI – Índice de Vegetação Realçado

MSI - MultiSpectral Instrument

NDVI – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

PMMA - Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica

RF - Random Forest

SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação

SVM - Support Vector Machines

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	15
1.1 Objetivos .....	17
1.1.1 Objetivo geral .....	17
1.1.2 Objetivos específicos.....	17
1.2 Revisão de literatura .....	17
1.2.1 Mata Atlântica e proteções legais.....	17
1.2.2 Sensoriamento remoto e suas aplicações ambientais.....	21
1.2.3 Vegetação e elementos climáticos .....	24
2 ARTIGO(S) SUBMETIDO(S) .....	27
2.1 Dinâmica sazonal da vegetação da Mata Atlântica em diferentes tamanhos de fragmentos de Governador Celso Ramos - SC e sua relação com os elementos climáticos.....	27
2.1.1 Introdução .....	28
2.1.2 Metodologia.....	30
2.1.3 Resultados e Discussão .....	34
2.1.4 Referências .....	42
3 PRODUTO(S) DESENVOLVIDO(S) .....	49
3.1 Introdução .....	49
3.2. Mapa de Uso e Ocupação do Solo.....	50
3.2.1 Metodologia.....	50
3.2.2 Resultados .....	51
3.2.3 Discussão.....	55
3.3. Mapa de degradação e áreas prioritárias para conservação e recuperação .....	56
3.3.1 Metodologia.....	57
3.3.2 Resultados .....	59
3.3.3 Discussão.....	63
3.4 Conclusão .....	64
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	69
5 REFERÊNCIAS.....	71
ANEXO 1.....	78
ANEXO 2.....	79

## 1 INTRODUÇÃO

Governador Celso Ramos é um pequeno município localizado no litoral de Santa Catarina, com 117.182 km<sup>2</sup> de área e menos de 15mil habitantes (IBGE, 2021). O local possui como principais atividades econômicas a atividade pesqueira e o turismo. Ainda, a economia da região conta com serviços de comércios locais e agricultura. Em relação ao turismo, o município tem se dedicado à melhoria de infraestruturas para atração de mais visitantes, focados no turismo de sol e mar. Além das praias, o município possui como diferencial áreas com pouca ocupação humana e abundante vegetação nativa, possibilitando belos cenários distintos das grandes cidades. Pode-se destacar também que praias da região já receberam, desde 2015, a certificação internacional de qualidade ambiental “Bandeira azul”, tal como Praia Grande e Praia de Palmas.

Outro local de interesse histórico e cultural é a Ilha de Anhatomirim, localizada dentro da Área de Proteção Ambiental de Anhatomirim. A mesma recebeu mais atenção a partir de 1989, a partir do projeto “Projeto Fortalezas da Ilha de Santa Catarina - 250 anos da história brasileira”, o qual possibilitou a reforma da Fortaleza de Santa Cruz do Anhatomirim e de estruturas de apoio náutico para recepção de visitantes (FABRIS, 1997).

Estes fatores vêm trazendo mais destaque para o município, o que impulsiona a especulação imobiliária na região e aumento de novas residências e parcelamentos de solo. Conseqüentemente, ocorre um aumento da pressão antrópica na vegetação nativa – os remanescentes de Mata Atlântica.

A Mata Atlântica é um bioma que se estende pelo litoral brasileiro, do Piauí ao Rio Grande do Sul, totalizando 17 estados (MMA, 2017). Em 2018, estima-se que restavam somente 13% da vegetação original, sendo que em Santa Catarina esse número era de 28,8% (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2019). Mesmo com pouca área remanescente, suas vegetações abrigam uma altíssima biodiversidade de fauna e flora, além de espécies endêmicas, classificando o bioma como um *hotspot*, sendo considerado uma área prioritária para a conservação (MYERS et al., 2000). Estes remanescentes são responsáveis por diversos serviços ecossistêmicos, que beneficiam 72% da população brasileira (MMA, 2017), como a preservação de

mananciais para abastecimento de água, qualidade do ar, estabilização do solo e manutenção do microclima da região.

Diante do exposto, torna-se essencial a criação de políticas públicas que auxiliem no objetivo de conservação do bioma. Assim, cria-se a Lei Federal nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006, conhecida como “Lei da Mata Atlântica”, e seu decreto regulamentador Decreto nº 6.660, de 21 de novembro de 2008, os quais definem estratégias para a utilização de áreas com vegetação nativa de Mata Atlântica. Dentre essas estratégias, está a elaboração e implantação do Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica – PMMA, o qual tem como objetivo mapear os remanescentes nativos e propor ações para a conservação do bioma.

Para realização de um mapeamento da vegetação, vêm se utilizando amplamente o sensoriamento remoto, visto ser uma alternativa de baixo custo. O sensoriamento remoto consiste da utilização de dados da superfície terrestre, produzidos por sensores a bordo de equipamentos, como satélites. O mesmo é utilizado para identificar os fragmentos de vegetação por exemplo, sendo possível quantificar e avaliar o grau de isolamento dos mesmos (NETO et al., 2015; FARIA et al., 2017; JUNIOR et al., 2017).

Também é possível utilizar imagens de satélite e transformá-las em novos dados, como “índices de vegetação”, os quais se destacam nos estudos de vegetação para observações da dinâmica sazonal e fenológica (FERREIRA et al., 2008). Os cálculos dos índices de vegetação consideram uma diminuição de ruídos espectrais (como efeitos atmosféricos), e baseiam-se no fato de que a energia refletida nas faixas do vermelho e infravermelho próximo é diretamente relacionada à atividade fotossintética da vegetação, sendo possível associar esses índices com a quantidade de biomassa e vistosidade da vegetação (FERREIRA et al., 2008).

Os índices de vegetação também podem ser correlacionados com elementos climáticos, principalmente precipitação e temperatura do ar (BARBOSA; KUMAR, 2016; COSTA; GUASSELLI, 2017; KÄFER; REX, 2020; SILVA et al., 2021). Portanto, os índices de vegetação permitem observar a existência de padrões sazonais em séries temporais, o que é essencial para identificar e monitorar efeitos de mudanças climáticas ou anomalias. Conseqüentemente, essas informações contribuem para a elaboração de estratégias de conservação do bioma Mata Atlântica.

Este estudo buscou utilizar as técnicas de sensoriamento remoto, como

índices de vegetação e classificações supervisionada, como alternativa para elaborar dados que serão subsídios para o planejamento e gestão ambiental municipal. Assim, esta dissertação está dividida em duas partes, uma relacionada à avaliação temporal de remanescentes de Mata Atlântica, e uma avaliação espacial dessa vegetação, ambas no município de Governador Celso Ramos, localizado no litoral de Santa Catarina. A primeira parte da dissertação refere-se a um artigo científico, na qual busca-se compreender a variação dos fragmentos de vegetação ao longo tempo, e qual a sua relação com os elementos climáticos. Já a segunda parte, mais voltada a avaliação espacial, é dedicada a um produto, que teve como objetivo iniciar a base teórica para a elaboração do Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Avaliar a situação dos remanescentes de Mata Atlântica no município de Governador Celso Ramos e a influência climática nos mesmos, a fim de iniciar uma base teórica para elaboração do Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- a) Delimitar remanescentes da Mata Atlântica a partir de imagens de satélite;
- b) Verificar relação temporal dos índices NDVI e EVI2 com precipitação e temperatura em diferentes remanescentes;
- c) Mapear áreas degradadas e áreas prioritárias para conservação a partir de modelagem ambiental.

## **1.2 Revisão de literatura**

### **1.2.1 Mata Atlântica e proteções legais**

O bioma Mata Atlântica é composto por diferentes ecossistemas, dentre eles a Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Estacional Decidual, além dos manguezais, restingas, campos de altitude, brejos interioranos e encraves florestais do Nordeste (BRASIL, 2006). Esses ambientes são responsáveis por diversos serviços ecossistêmicos importantes não só para a população, como para as atividades econômicas. A restinga, por exemplo, é uma fitofisionomia litorânea da

Mata Atlântica que pode ser utilizada para fins alimentares, medicinais e manufatureiros (MIRANDA; HANAZAKI, 2008). Ainda, esses ecossistemas são essenciais para a regulação do fluxo dos mananciais hídricos, a regulação da qualidade e a fertilidade do solo, a regulação do clima regional e local, a proteção da erosão de encostas, a preservação de patrimônio histórico e cultural, a beleza cênica das paisagens, o controle de enchentes e a provisão de polinizadores para as culturas agrícolas (MMA, 2017).

Todavia, esse bioma está sob intensa pressão antrópica, a qual causa perda de habitat, restando atualmente menos de 13% da área original (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2019). Esse cenário evidencia a necessidade de intervenção dos órgãos públicos e sociedade para aplicação das estratégias de conservação e preservação dessa vegetação.

Inicialmente, a preservação da Mata Atlântica ocorreu por legislações nacionais, as quais englobavam todos os biomas brasileiros. O início da legislação ambiental brasileira pode ser considerado a partir de 1934, com a criação do Código Florestal, Código das Águas, Código da Mineração e em 1938 o Código da Pesca, os quais tinham como objetivo a administração de recursos naturais (PECCATIELLO, 2011). Todavia, o desenvolvimento da política ambiental no Brasil ocorreu a partir de 1960, como consequência de exigências do movimento internacional ambientalista, com a criação de legislações e instituições voltadas ao ambiente (PECCATIELLO, 2011). Dentre essas novas legislações, está um Novo Código Florestal, Lei nº 4771 de 15 de setembro de 1965, considerado um marco para a preservação de florestas brasileiras, visto que instituiu as Áreas de Preservação Permanente – APPs (RIBEIRO, 2011). As APPs têm como objetivo preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações.

Ainda, o Novo Código Florestal instituiu mais tipologias de áreas protegidas: o Parque Nacional, Estadual ou Municipal, a Floresta Nacional, Estadual ou Municipal e a Reserva Legal (PECCATIELLO, 2011). As reservas legais são uma porção do imóvel rural, a qual é necessária para o uso sustentável dos recursos naturais, à conservação e reabilitação dos processos ecológicos, à conservação da biodiversidade e ao abrigo e proteção de fauna e flora nativas (BRASIL, 1965). Já os

parques e florestas se assemelham às Unidades de Conservação atuais, tendo os parques o objetivo de proteger fauna e flora, além de belezas cênicas, enquanto que as florestas possuíam fins econômicos, técnicos ou sociais (BRASIL, 1965).

Ao longo do tempo, outras áreas protegidas foram criadas, como as Reservas Ecológicas e Áreas de Relevante Interesse Ecológico, em 1984, mas somente em 2000 foi instituído o Sistema Nacional de Unidades de Conservação - SNUC, pela Lei nº 9.985/2000 (PECCATIELLO, 2011). O SNUC foi a primeira lei que contempla e conceitua “conservação”, propondo tipologias de conservação que compatibilizam a conservação com o uso sustentável de recursos naturais, além de permitir as atividades de educação e recreação com o turismo sustentável (PEIXE; MELLO, 2020).

Com a criação do SNUC, as unidades de conservação foram divididas em dois grandes de grupos: as de Proteção Integral e as de Uso Sustentável. As unidades de Proteção Integral são aquelas que objetivam preservar a natureza, sendo permitido somente o uso indireto dos recursos naturais, englobando as categorias de Estação Ecológica, Reserva Biológica, Parque Nacional, Monumento Natural e Refúgio de Vida Silvestre (BRASIL, 2000). Já as unidades de Uso Sustentável serviram para compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável dos recursos naturais, incluindo sete categorias: Área de Proteção Ambiental, Área de Relevante Interesse Ecológico, Floresta Nacional, Reserva Extrativista, Reserva de Fauna, Reserva de Desenvolvimento Sustentável e Reserva Particular do Patrimônio Natural (BRASIL, 2000).

Entretanto, essa revisão ainda não atingia uma atualização das APPs e Reserva Legal, as quais só foram atualizadas em 2012, com a Lei de Proteção da Vegetação Nativa, Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012, conhecida por Novo Código Florestal. Dentre as novidades dessa legislação, está a fomentação da recuperação florestal, além da exigência de uma inscrição dos imóveis rurais, pelo Cadastro Ambiental Rural (CAR) (BRASIL, 2012), a qual impulsiona a demarcação da Reserva Legal e a restauração de APPs nesses imóveis.

Durante o desenvolvimento da proteção da vegetação nativa nacional, surge a necessidade de regimentos que contemplem a especificidade de cada bioma, como a Mata Atlântica, a qual o histórico de anos de degradação causou uma fragilidade ambiental (PEIXE; MELLO, 2020). Assim, cria-se a Lei Federal nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006, conhecida por “Lei da Mata Atlântica”, sendo o

primeiro, e até o momento único bioma brasileiro com legislação própria (PEIXE; MELLO, 2020). Dentre as inovações, essa lei regulamentou a autorização de supressões de vegetação considerando o desenvolvimento da mesma. Desta forma, as vegetações primárias só podem ser suprimidas em casos de utilidade pública, pesquisas científicas e práticas preservacionistas, enquanto que as vegetações secundárias em estágio médio e avançado de regeneração podem ser suprimidas também para fins de loteamento ou edificações em áreas urbanas (BRASIL, 2006). Porém, nesses últimos casos, é necessário respeitar áreas mínimas de manutenção, dependendo do ano em que a área foi incluída no perímetro urbano, devendo permanecer no mínimo 50% de área preservada em estágios avançado e 30% para os estágios médios, além de serem realizadas as devidas compensações de dimensões igual à área suprimida (BRASIL, 2006). Contudo, para os municípios costeiros essa compensação já ocorria, em qualquer estágio de vegetação, devido ao Decreto nº 5.300 de 7 de dezembro de 2004, tendo relevância atualmente para as supressões em estágio inicial de regeneração, a qual não teve restrições na Lei da Mata Atlântica.

Outro ponto de destaque da Lei da Mata Atlântica é que a classificação dos estágios sucessionais não é alterado por atividades sem autorização, como corte ilegal, ou incêndios – acidentais ou não (BRASIL, 2006), dificultando a regularização de supressões ilegais e fortalecendo as atividades de fiscalização.

Ainda, reforça-se que essa legislação trouxe a obrigatoriedade de implantação de um Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica – PMMA. O PMMA é um plano que deve ser elaborado em todos os municípios abrangidos pelo bioma Mata Atlântica, no qual se deve identificar a situação atual do bioma e prever ações para a conservação e restauração do mesmo (BRASIL, 2006). A fim de regulamentar a Lei da Mata Atlântica, publicou-se o Decreto nº 6.660, de 21 de novembro de 2008, o qual também descreveu o conteúdo mínimo do PMMA, sendo eles o diagnóstico da vegetação nativa contendo mapeamento dos remanescentes em escala de 1:50.000 ou maior, a indicação dos principais vetores de desmatamento ou destruição da vegetação nativa, a indicação de áreas prioritárias para conservação e recuperação da vegetação nativa, indicações de ações preventivas aos desmatamentos ou destruição da vegetação nativa e de conservação e utilização sustentável da Mata Atlântica no Município (BRASIL, 2008).

Por fim, a elaboração do PMMA pode possibilitar diversos benefícios aos



municípios, como a estruturação do planejamento integrado, o mapeamento de áreas possíveis de regularização fundiária, conservação de mananciais, fortalecimento do CONDEMA e o planejamento para efeitos adversos de mudanças climáticas (CARVALHO; AGUIAR, 2016).

### 1.2.2 Sensoriamento remoto e suas aplicações ambientais

Os sensores remotos são sistemas ópticos-eletrônicos que são capazes de gerar imagens ou demais informações sobre um objeto distante, a partir da captação da energia refletida pelo objeto num determinado comprimento de onda (STEFFEN, 2016). Esses sensores inicialmente, na década de 70, eram colocados em aeronaves, as quais produziam fotografias aéreas, o que é utilizado até hoje (RUDORFF, 2016). Entretanto, com o avanço da tecnologia, intensificou-se o uso de sensores em satélites artificiais, os quais geram imagens de grandes dimensões, repetidas vezes, por um custo relativo baixo (RUDORFF, 2016).

Os dados obtidos pelos sensores em satélites impulsionaram os estudos ambientais, trazendo agilidades, além de aumentar a qualidade e o número de informações (SAUSEN, 2016). Esses dados auxiliaram, por exemplo, a atualizar a cartografia já existente, e continua possibilitando o desenvolvimento de novos mapeamentos, com informações sobre as bacias de drenagem, agriculturas e florestas, por exemplo (SAUSEN, 2016).

Dentre os estudos com vegetação, o sensoriamento remoto é utilizado para verificar o estado de conservação das áreas de preservação permanente (APP), colaborando com as ações de gestão territorial ambiental e de fiscalização. Em um município do Rio de Janeiro, observou-se que 32% das APPs não estavam conservadas, sendo as margens de curso d'água as mais afetadas, com 36,6% de área degradada, na qual metade era devido à ocupação urbana (BITTENCOURT, et al., 2018). Ao mesmo tempo, as APPs de topos de morros em encostas eram as áreas mais preservadas, com somente 1,1% de área degradada, possivelmente devido à dificuldade de acesso pela altitude, declividade e ocorrência de afloramentos rochosos (BITTENCOURT, et al., 2018).

Ainda, o uso das imagens de satélite permite a análise de áreas de risco, como identificação de locais com susceptibilidade a movimentos de massa a partir de informações físicas como declividade, orientação, uso e cobertura do solo, geomorfologia e proximidades a cursos d'água ou estradas (MEIRELLES et al.,

2018), sendo essencial para a gestão territorial. Outra avaliação possível é a identificação de áreas com susceptibilidade à incêndios florestais, auxiliando na prevenção desses eventos que causam grandes degradações em florestas (ANDRADE; FERREIRA, 2019). O sensoriamento remoto também possibilita uma compreensão ampla dos aspectos ambientais da região, sendo utilizado inclusive para mapeamento territorial com fins turísticos, tal como o ecoturismo (FARIA; TEIXEIRA, 2017).

Ao aliar a técnica de sensoriamento remoto com modelagem, é possível realizar simulações de como a vegetação estará distribuída espacialmente no futuro, tal como realizado em um município do Rio Grande do Sul, onde se identificou uma tendência de aumento da cobertura vegetal, sendo associada possivelmente pelo abandono de áreas devido ao êxodo rural e maior fiscalização ambiental (CEMIN; DUCATI, 2015). Já em demais regiões, como no entorno do Parque Estadual do Rio Doce, em Minas Gerais, uma metodologia similar previu uma tendência para uma diminuição da vegetação, devido a uma intensificação do processo de fragmentação, com expansão urbana e agrícola (OLIVEIRA et al., 2019).

Também é possível utilizar os dados obtidos no sensoriamento e transformá-los em novos dados a partir de transformações algébricas. A vegetação possui um comportamento espectral relevante com duas bandas principais: a faixa do vermelho e a faixa do infravermelho. A faixa do vermelho, que está entre 630 a 699nm, é intensamente absorvida pelas folhas, pois é utilizada na fotossíntese, enquanto que a faixa do infravermelho, entre 770 a 890 nm, é amplamente refletida devido à estrutura da folha (RUDORFF, 2016).

Desta forma, essas bandas são as bases principais para cálculos de índices de vegetação. O NDVI – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index*) se destaca entre os índices de vegetação, o qual utiliza somente a radiação as bandas da faixa do vermelho e do infravermelho. Todavia, para áreas com vegetação densas, o mais indicado é a utilização do EVI – Índice de Vegetação Realçado (*Enhanced Vegetation Index*), que acrescenta a radiação da faixa azul e torna-o menos sensível à contaminação do solo e mais sensível a estrutura do dossel, em relação ao NDVI (GAO et al., 2000). Equivalente ao EVI, está o EVI2, o qual possui a vantagem de necessitar somente das bandas vermelha e infravermelha (JIANG et al., 2008).

Os índices de vegetação permitem realizar o mapeamento das vegetações e

suas fitofisionomias, além de ser possível avaliar a vegetação e seu grau de regeneração, por exemplo (NORA; MARTINI, 2010; SOTHE et al. 2017; TEIXEIRA et al., 2019). Ainda, são muito utilizados para análises da dinâmica sazonal e fenológica da vegetação (FERREIRA et al., 2008).

Atualmente, há diversos dados de sensoriamento obtidos por satélites disponibilizados gratuitamente. Dentre eles, estão os dados disponibilizados pela Agência Espacial Europeia (European Space Agency - ESA) oriundos do Programa Copernicus Sentinel 2, lançado em 2015 (ESA, 2021a). Esse programa consiste de um par de satélites - Sentinel-2A e Sentinel-2B - em órbita polar, com alta taxa de revisita (5 dias) e boa resolução espacial (mínimo 10m), objetivando o monitoramento das condições terrestres (ESA, 2021a). O MultiSpectral Instrument (MSI) é o sensor remoto a bordo desses satélites, o qual captura a radiância refletida de 13 bandas espectrais, conforme Tabela 1 (ESA, 2021b).

Tabela 1. Informações obtidas pelo MultiSpectral Instrument - Adaptado de ESA, 2021b

Banda	Sentinel-2 <sup>a</sup>		Sentinel-2B		Resolução espacial (m)
	Comprimento de onda central (nm)	Largura da banda (nm)	Comprimento de onda central (nm)	Largura da banda (nm)	
1	442,7	21	442,3	21	60
2	492,4	66	492,1	66	10
3	559,8	36	559,0	36	10
4	664,6	31	665,0	31	10
5	704,1	15	703,8	16	20
6	740,5	15	739,1	15	20
7	782,8	20	779,7	20	20
8	832,8	106	833,0	106	10
8A	864,7	21	864,0	22	20
9	945,1	20	943,2	21	60
10	1373,5	31	1376,9	30	60
11	1613,7	91	1610,4	94	20
12	2202,4	175	2185,7	185	20

Para o NDVI, os resultados atingidos em análises utilizando os dados obtidos pelo Sentinel-2 foram similares aos resultados utilizando o LANDSAT 8, o qual é um satélite clássico para utilização no sensoriamento remoto, atestando a eficiência do Sentinel-2 para esse índice de vegetação (BEZERRA et al., 2018). Ainda, o

Sentinel-2 possui a vantagem de ter uma melhor resolução espacial, permitindo um melhor delineamento dos alvos (BEZERRA et al., 2018), sendo um grande potencial para estudos em regiões menores, como em municípios.

### 1.2.3 Vegetação e elementos climáticos

O clima e a vegetação estão intimamente relacionados, sendo que a variação do clima ocorre principalmente pela variação da intensidade solar, enquanto que esta influencia as condições de temperatura, movimentação do ar e disponibilidade hídrica para as plantas (PILLAR, 1995). Além disso, a radiação solar é a energia absorvida pelas plantas, através do processo de fotossíntese, o que possibilita não só o crescimento e sobrevivência das mesmas, como também a disponibilização de energia para todos os organismos do ecossistema (PILLAR, 1995).

A fotossíntese ocorre através da captação, pelos pigmentos fotossintéticos, da radiação eletromagnética gerada pelo sol, transformando-a e armazenando-a em compostos orgânicos com ligações químicas ricas em energia (VIEIRA et al., 2010). Os pigmentos fotossintéticos são compostos orgânicos, como as clorofilas, carotenoides e ficobilinas, capazes de absorver a radiação fotossinteticamente ativa, que está na faixa de comprimento de onda entre 400 à 700nm (VIEIRA et al., 2010).

Diversos fatores afetam a atividade fotossintética, como a concentração de gás carbônico (CO<sub>2</sub>), os nutrientes presentes no solo, qualidade, intensidade e duração da luz, temperatura e quantidade de água (VIEIRA et al., 2010). A temperatura é um dos fatores mais importantes, já que influencia as reações bioquímicas e processos fisiológicos, sendo que a temperatura ótima está, em média, entre 30 à 40°C (VIEIRA et al., 2010). Já a falta de água causa uma queda na taxa fotossintética, pois diminui a atividade enzimática nos cloroplastos, além de causar o fechamento dos estômatos (responsáveis pela captação de CO<sub>2</sub>) (VIEIRA et al., 2010). Como o processo fotossintético está diretamente relacionado com a manutenção e crescimento da planta, ele também reflete na quantidade de biomassa de uma vegetação.

Todavia, esses fatores, principalmente temperatura e disponibilidade hídrica, vêm se alterando nas regiões geográficas devido às mudanças climáticas. A temperatura global está aumentando, sendo potencializada por ações humanas desde 1979, principalmente pela emissão dos gases de efeito estufa (IPCC, 2021). Além disso, já se observa um aumento na ocorrência e intensidade dos eventos

extremos, como ondas de calor, precipitação excessiva, secas e ciclones tropicais (IPCC, 2021).

Desta forma, compreender o comportamento das vegetações com elementos climáticos é essencial para o monitoramento dos ecossistemas, permitindo também a análise e elaboração de gestão territorial para minimizar ou enfrentar as mudanças climáticas. O sensoriamento remoto vem auxiliando a realizar essa análise temporalmente, devido ao armazenamento de informações da superfície terrestre ao longo dos anos.

Os índices de vegetação, que utilizam principalmente a faixa absorvida pela fotossíntese (luz vermelha) e a faixa amplamente refletida pela vegetação (luz infravermelha), tem relação direta com a visibilidade e quantidade de biomassa da vegetação (WEIER; HERRING, 2000). Assim, considerando que a atividade fotossintética e biomassa da vegetação tem relação direta com fatores abióticos, como temperatura e disponibilidade hídrica, é possível utilizar os índices de vegetação para avaliar a influência desses fatores abióticos, como elementos climáticos, na vegetação.

Dentre os elementos climáticos, a maioria das pesquisas estuda a relação da temperatura ou precipitação com os índices de vegetação. Os índices mais altos costumam ser observados em períodos mais chuvosos (BARBOSA; KUMAR, 2016; SILVA et al., 2021), afinal a ausência ou baixa disponibilidade hídrica afeta negativamente a atividade fotossintética. Já em outras regiões, não se observa a relação com a precipitação, mas há índices mais altos nas temperaturas mais quentes (KÄFER; REX, 2020), já que ela otimiza as reações bioquímicas e processos fisiológicos vegetais (VIEIRA et al., 2010). Na Mata Atlântica, foi observada também uma influência do El-Niño Oscilação Sul – ENOS nos índices de vegetação, afinal, o mesmo está relacionado tanto com aumento de precipitação, quanto com eventos de estiagem (SOUZA et al., 2018).



## **2 ARTIGO(S) SUBMETIDO(S)**

### **2.1 Dinâmica sazonal da vegetação da Mata Atlântica em diferentes tamanhos de fragmentos de Governador Celso Ramos - SC e sua relação com os elementos climáticos**

#### **Resumo**

Esse estudo objetivou a caracterização sazonal de remanescentes de Mata Atlântica em um município costeiro de Santa Catarina, além da relação dos mesmos com temperatura e precipitação. Utilizaram-se imagens do satélite Sentinel-2 entre 2016 a 2021, calculando-se os índices NDVI e EVI2 para amostras de restinga e Floresta Ombrófila Densa. Identificou-se a existência de sazonalidade, com os índices mais altos no verão e mais baixos no inverno, sendo que o EVI2 se mostrou superior para a identificação da mesma. Também se constatou que há uma correlação positiva dos índices com a temperatura e a precipitação acumulada, sendo mais forte para a temperatura. Entretanto, os remanescentes pequenos obtiveram os resultados mais fracos estatisticamente, provavelmente devido ao efeito de borda que estão sujeitos.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto; Índice de vegetação; Fragmentação; Temperatura

#### **Abstract**

This study aimed the seasonal characterization of Atlantic Forest remnants in a coastal municipality of Santa Catarina, in addition to their correlation with temperature and precipitation. Sentinel-2 satellite images, between 2016 and 2021, were used, calculating the NDVI and EVI2 indices for restinga and Dense Ombrophilous Forest samples. The existence of seasonality was identified, with the highest indices in summer and lowest in winter, and EVI2 was shown to be superior for its identification. It was also found that there is a positive correlation of the indices with temperature and accumulated precipitation, being stronger for temperature. However, the small remnants had, statistically, the weakest results, probably due to the edge effect they are subject to.

Keywords: Remote sensing; Vegetation Index; Fragmentation; Temperature.

### 2.1.1 Introdução

As florestas são ambientes com grande importância ecológica, social e econômica, já que proveem diversos serviços ecossistêmicos (BROCKERHOFF et al., 2017). Entretanto, também é um dos ambientes que continuam sob alta pressão antrópica negativa (VENTER et al., 2016). Dentre os ambientes florestais mais degradados, pode-se citar as florestas do bioma Mata Atlântica, no Brasil. Visto que a Mata Atlântica se estende pelo litoral brasileiro, e considerando que a costa é a região com maior ocupação populacional, esse bioma sofreu grandes desmatamentos, estando hoje com somente 13% da vegetação original (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2019).

Além da perda de habitat, é preocupante o processo de fragmentação que está ocorrendo. A criação de pequenas áreas vegetadas, com limites artificiais, aumenta o efeito de borda, o qual traz modificações na umidade, temperatura, incidência solar e poluição, impactando diretamente na comunidade biótica e podendo gerar áreas ecologicamente instáveis (LAURANCE, 2002). Ainda, no contexto atual de mudanças climáticas, estima-se que haja alterações nas áreas climáticas que esses ecossistemas estão inseridos, alterando a distribuição de espécies, além de facilitar o acesso de espécies exóticas invasoras (BELLARD et al., 2014). Silva et al., (2021) por exemplo, já identificaram que houveram alterações no ciclo sazonal de uma vegetação de Mata Atlântica no estado do Espírito Santo, com indicações de atrasos no ciclo sazonal da mesma.

Diante disto, é de extrema importância realizar monitoramentos frequentes da vegetação para compreender suas dinâmicas e alterações. Como alternativa simples e de baixo custo para realizar esse monitoramento, está o sensoriamento remoto. Na Mata Atlântica do sudeste brasileiro, o sensoriamento remoto já foi utilizado para localizar fragmentos de vegetação dentro de unidades de conservação, o que possibilitou avaliar a quantidade, tamanho e isolamento destes fragmentos, verificando a efetividade da conservação e as ações necessárias para melhorias (NETO et al., 2015). Na maioria das regiões, observa-se que a vegetação de Mata Atlântica está distribuída em fragmentos menores que 10ha (NETO et al., 2015; FARIA et al., 2017; JUNIOR et al., 2017), o que compromete a conservação do bioma.



Outros estudos utilizam análises das imagens de satélite ao longo dos anos para realizar simulações da distribuição da vegetação no futuro. No Brasil, já foram identificadas tanto municípios com tendências ao aumento de cobertura vegetal da Mata Atlântica, como no Rio Grande do Sul, quanto regiões com tendências à diminuição da cobertura vegetal desse bioma, como em Minas Gerais (CEMIN; DUCATI, 2015; OLIVEIRA et al., 2019).

Ainda, a partir das imagens de satélite, é possível a realização de transformações algébricas para obtenção de novos dados. Para estudos com vegetação, os “índices de vegetação” se destacam como metodologia para obtenção de parâmetros biofísicos e observação da dinâmica sazonal e fenológica (FERREIRA et al., 2008).

Um dos índices mais utilizados para avaliar a vegetação é o NDVI – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index*), o qual utiliza as bandas da faixa do vermelho e do infravermelho. A radiação solar na faixa do vermelho é amplamente absorvida pelas plantas, sendo a principal faixa utilizada para a fotossíntese; já a faixa do infravermelho próximo não é utilizada na fotossíntese, sendo amplamente refletida (WEIER; HERRING, 2000; RUDORFF, 2016). O NDVI calcula a diferença entre o absorvido e o refletido, sendo que quanto maior essa diferença, mais verde, vistosa e com mais biomassa está a vegetação.

Entretanto, o NDVI não é indicado para áreas com vegetação densa, pois apresenta saturação (FERREIRA et al., 2008). Diante disto, propôs-se o EVI – Índice de Vegetação Realçado (*Enhanced Vegetation Index*), o qual acrescenta a utilização da faixa de luz azul, sendo menos sensível à contaminação do solo e mais sensível a estrutura do dossel, em relação ao NDVI (GAO et al., 2000). Ainda, em imagens de boa qualidade e sem nuvens, é possível a utilização do índice EVI2, o qual necessita somente de duas bandas (vermelho e infravermelho), tendo resultados equivalentes ao EVI (JIANG et al., 2008).

A partir dos índices de vegetação é possível realizar o mapeamento de regiões homogêneas de vegetação, tal como realizado utilizando o NDVI no estado do Rio Grande do Sul, no qual as florestas apresentam os valores mais elevados (CORDEIRO et al., 2017). Ainda, ao observar a variação sazonal, também é possível diferenciar fitofisionomias da Mata Atlântica, como por exemplo a Floresta Estacional Decídua, que possui amplitude sazonal de NDVI maior que a Floresta Ombrófila Mista, visto ser uma vegetação que possui como característica a perda de folhas no

inverno, diminuindo a biomassa da floresta, o que diminui os valores do índice analisado (NORA; MARTINI, 2010).

Todavia, as imagens de satélite e índices de vegetação não permitem somente identificar as áreas com cobertura vegetal e suas fitofisionomias. Elas também podem ser utilizadas para verificar o grau de degradação do ambiente, sendo possível classificar a vegetação em estágios de regeneração (SOTHE et al., 2017; TEIXEIRA et al., 2019).

Por fim, destaca-se os estudos fenológicos, nos quais os índices de vegetação permitem relacionar a dinâmica e variações sazonais com os elementos climáticos. Para o bioma Mata Atlântica, foram observadas respostas diferentes em regiões diferentes do Brasil. Silva et al. (2021) observaram que a precipitação acumulada nos últimos dois meses tinha correlação positiva com a variação do NDVI e EVI em uma vegetação de Mata Atlântica no sudeste brasileiro.

Já em uma área no Rio Grande do Sul, a correlação do NDVI com a precipitação é baixa e negativa, entretanto há uma correlação positiva forte com a temperatura, com defasagem de dois meses (KÄFER; REX, 2020). Em Santa Catarina, a temperatura também foi apontada como o principal fator para a variação dos índices de vegetação observados, não tendo sido observada influência dos períodos de estiagem na Mata Atlântica da bacia do Rio Itajaí (VIBRANS et al., 2011).

Assim, este estudo buscou a caracterização sazonal de remanescentes de Mata Atlântica em um município costeiro do sul do Brasil a partir de índices de vegetação, e analisou a relação dos mesmos com elementos climáticos e sua fragmentação.

### 2.1.2 Metodologia

#### a) Área de Estudo

O estudo foi desenvolvido no município de Governador Celso Ramos, do litoral de Santa Catarina (Figura 1). O município possui 127,556 km<sup>2</sup>, sendo destes aproximadamente 50% remanescentes de Mata Atlântica. Esta vegetação está localizada principalmente em áreas de difícil acesso, com declividade acentuada devido à topografia acidentada da região. A região é caracterizada por vegetação de Floresta Ombrófila Densa, bem como formações pioneiras de restingas e

manguezais. Conforme classificação de Köppen, a área de estudo apresenta clima do tipo Cfa (subtropical úmido de verão quente, sem estação seca), com temperatura média mais fria inferior à 18°C e verões quentes com média acima de 22°C (PANDOLFO et al., 2002).

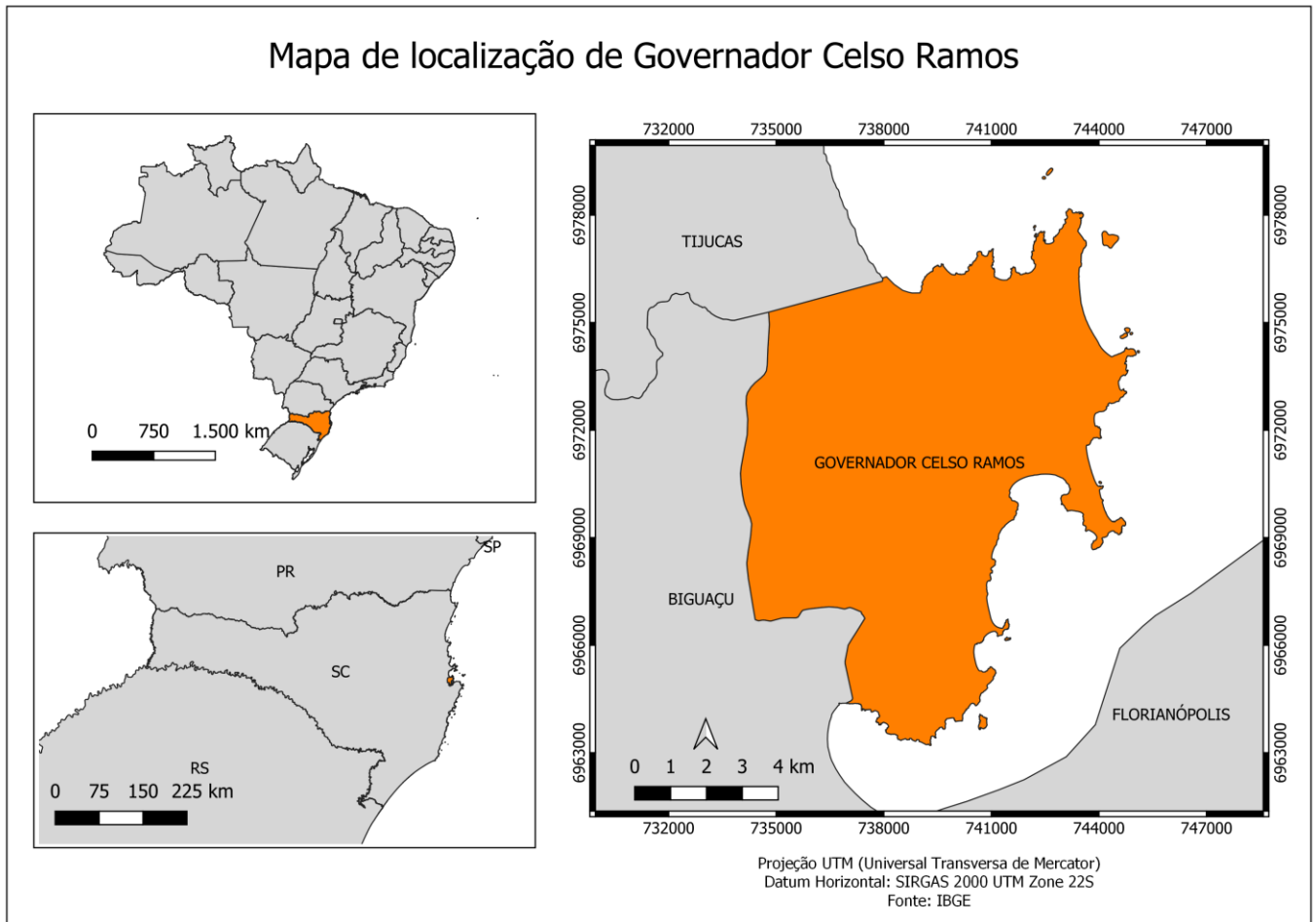


Figura 1. Localização do município de Governador Celso Ramos, no estado de Santa Catarina, Brasil.

#### b) Dados de satélite

Foram obtidas cenas do satélite MSI - Sentinel 2A e 2B, disponibilizadas pela *European Space Agency* (ESA), no período de abril de 2016 à março 2021, totalizando 63 cenas (Anexo 2). As imagens foram pré-processadas no software QGIS versão 3.16.5 *Hannover*, com GRASS versão 7.8.5, a partir do plugin SCP - *Semi Automatic Classification*, realizando a conversão dos dados de radiância para reflectância e a correção atmosférica pelo método DOS (*Dark Object Subtraction*). Por fim, realizou-se o recorte da área de interesse.

Considerando as pequenas dimensões de alguns fragmentos, optou-se pela utilização das bandas com maior resolução, as bandas do vermelho e infravermelho,

ambas com resolução de 10m. Calculou-se os índices de vegetação NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e EVI2 (*Enhanced Vegetation Index*) a partir das fórmulas descritas na equação 1 e 2, onde “nir” refere a luz infravermelha e “red” a luz vermelha.

Equação 1. Fórmula de NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*

$$\text{NDVI} = \frac{\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{red}}}{\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{red}}}$$

Equação 2. Fórmula de EVI2 - *Enhanced Vegetation Index*

$$\text{EVI2} = 2.5 \frac{\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{red}}}{\rho_{\text{NIR}} + 2.4\rho_{\text{red}} + 1}$$

Visto que o objetivo do estudo é verificar a dinâmica da vegetação, foram selecionadas amostras de locais que não sofreram intervenções antrópicas nesse período (como áreas verdes, áreas de preservação permanente e áreas de difícil acesso). Para análise da influência climática nos remanescentes de Mata Atlântica, foram definidas quatro classes - “Remanescente Pequeno”, “Remanescente Médio”, “Remanescente Grande” e “Restinga” -, com a seleção de cinco amostras para cada (Figura 2), nas quais foi extraída a média dos valores de NDVI e EVI2. Foram considerados remanescentes pequenos as áreas com menos de 1,5ha, enquanto que os médios possuem até 40ha, e os superiores foram denominados remanescentes grandes. Na classe restinga, foram amostradas áreas de restinga arbustiva próximas a praia. Não foram incluídas amostragens de restingas herbáceas visto que o município não possui áreas de tamanho significativo dessa fitofisionomia, e de restinga arbórea, visto não existir um mapeamento diferenciando essa fitofisionomia com locais de Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas, que são similares entre si.

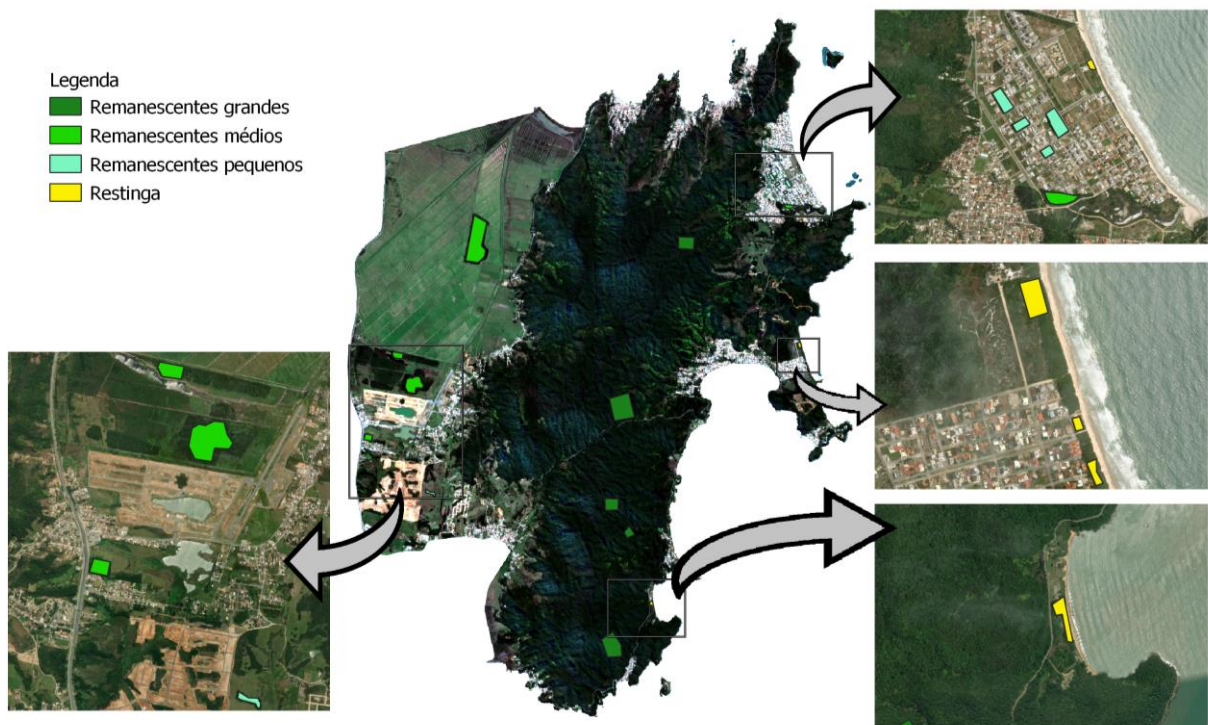


Figura 2. Localização das áreas amostrais de Mata Atlântica, em Governador Celso Ramos, SC

#### c) Dados climáticos

Os dados climáticos foram obtidos a partir da estação meteorológica automática mais próxima da área de estudo, “Florianópolis-São José-A806”, disponibilizado pelo INMET. Foram selecionados os dados diários de temperatura do ar e precipitação. Ainda, foi calculada a temperatura média em 15 dias, um, dois e três meses antes da cena de satélite, e a precipitação acumulada em um, dois, três e quatro meses.

#### d) Análise estatística

Inicialmente, foi observado se as amostras de cada classe eram similares entre si, a partir da variância e desvio-padrão dos índices de vegetação. Considerando que as amostras possuíam mais que 30 dados, verificou-se a sua normalidade a partir do teste de Kolmogorov-Smirnov. Visto que os mesmos não apresentaram distribuição normal, foram escolhidos testes não paramétricos para as próximas etapas.

Para verificar a ocorrência de sazonalidade nos índices de vegetação, realizou-se o teste de Kruskal-wallis e pós-teste de Dunn entre estações do ano. Por fim, para verificar a correlação dos índices de vegetação entre as variáveis climáticas, utilizou-se um teste de Correlação de Spearman.

### 2.1.3 Resultados e Discussão

#### a) Índices de Vegetação

O NDVI nas amostras selecionadas de Floresta Ombrófila Densa variou entre 0,889 e 0,370, enquanto que o EVI2 apresentou resultados entre 0,591 e 0,204 (Figuras 3 e 4). Já a vegetação de Restinga obteve resultados menores, conforme esperado, visto ser uma vegetação mais arbustiva, estando o NDVI em um intervalo de 0,245 até 0,820 e o EVI2 entre 0,155 e 0,580. A partir das Figuras 3 e 4 também é possível perceber que o NDVI teve um desempenho melhor na diferenciação entre as classes, enquanto que o EVI2 distanciou os “Remanescentes Grandes” dos demais.

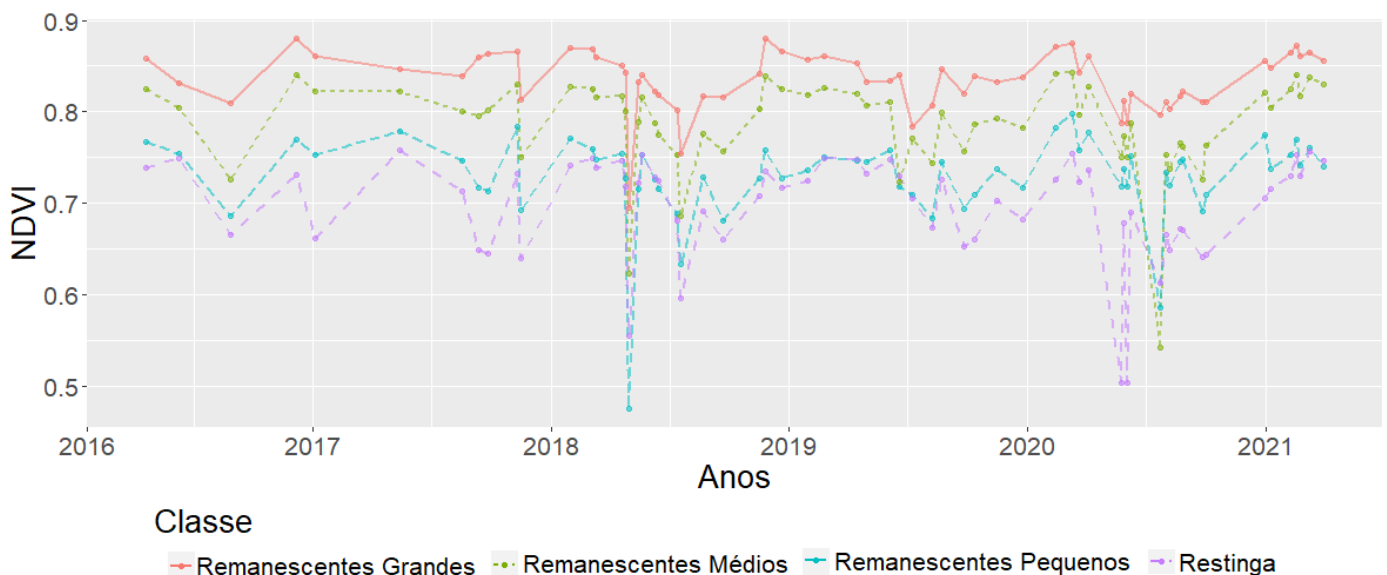


Figura 3. Valores de NDVI entre abr/2016 e mar/2021 em amostras de Governador Celso Ramos/ SC

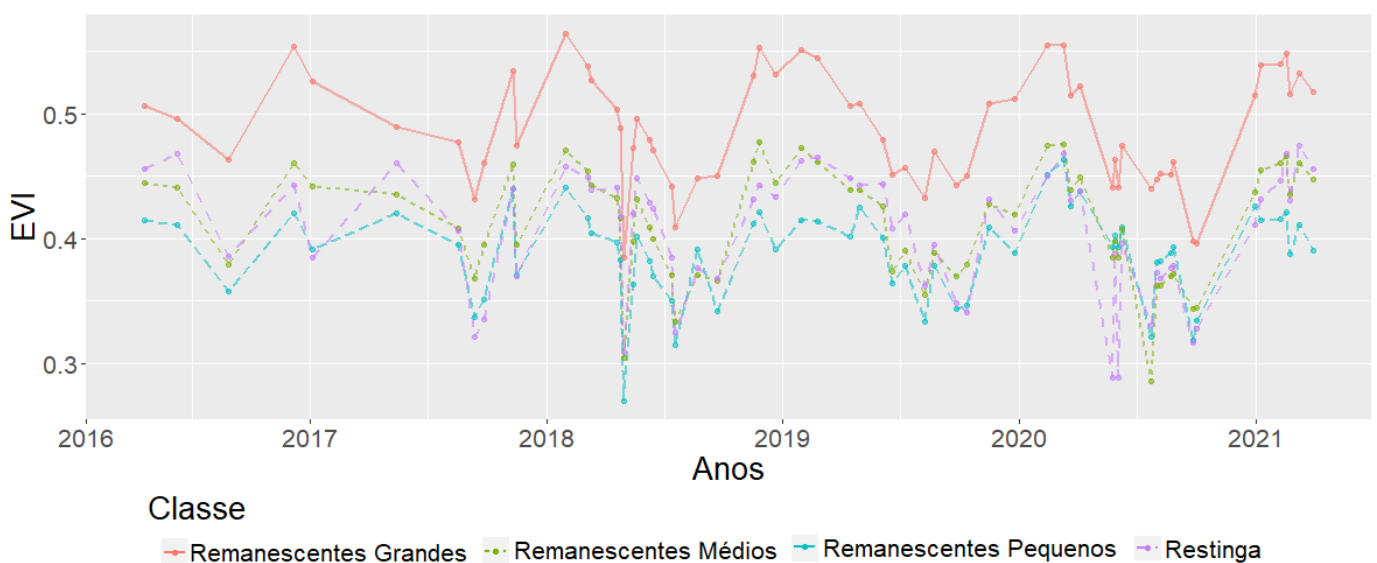


Figura 4. Valores de EVI2 entre abril/2016 e mar/2021 em amostras de Governador Celso Ramos, SC

Conforme observações em fotos aéreas do ano 1978, é possível observar que na localização das classes “Remanescentes Médios” e “Remanescentes Pequenos” já existia vegetação, indicando que as vegetações amostradas possuíam no mínimo 38 anos em 2016. Em Santa Catarina, Siminski et al. (2013), encontraram que as parcelas consideradas em estágio arbóreo avançado possuíam em média 36 anos. Desta forma, esperava-se que todas as classes de Floresta Ombrófila Densa apresentassem índices semelhantes, pois deveriam estar em estágios de regeneração avançado.

Mesmo assim, a classe “Remanescentes Grandes” obteve os índices mais elevados, chegando aos valores mínimos de NDVI com 0,655 e EVI2 sendo 0,321. Isto indica que as amostras dos “Remanescentes Grandes” possuem a vegetação em estágio mais avançado que as demais classes (TEIXEIRA et al., 2019). Em outras áreas de Mata Atlântica por exemplo, já foi observada diferença significativa no NDVI entre remanescentes em estágios avançados (vegetação até 60 anos) e florestas maduras (com mais que 60 anos) (MALLMANN et al., 2015) indicando que as amostras em remanescentes grandes são provavelmente de florestas maduras. Ainda, ao comparar a topografia das amostras escolhidas, todas estão em locais com menos de 5° de declividade, com exceção dos remanescentes grandes que estão em locais com 10 à 50° de declividade. Isto corrobora com a hipótese dessas amostras serem florestas maduras, já que estão localizadas em locais íngremes, de difícil acesso - nos morros – já que foi identificada uma relação com a declividade do terreno e a ocorrência de florestas maduras da Mata Atlântica no sul do Brasil (MALLMANN et al., 2015). No Parque Estadual Quarta Colônia, no Rio Grande do Sul, as áreas com florestas tardias (estágios avançado e maduro), estão em sua maioria (76%) em locais com declividade superior a 30%, visto estas serem áreas de baixa aptidão agrícola, ocorrendo somente supressões de exploração de matéria-prima (MALLMANN et al., 2015).

Além disto, é possível que as classes “Remanescentes Médios” e “Remanescentes Pequenos” não apresentaram um desenvolvimento adequado da vegetação devido ao tamanho dos remanescentes. Fragmentos isolados e menores de vegetação tendem a ter não só menos diversidade de fauna, como também de plantas e menos biomassa (HADDAD et al., 2015). Isso pode ser observado nesse estudo, no qual os índices de vegetação foram maiores, conforme maior o tamanho

do fragmento. Isso ocorre principalmente graças ao efeito de borda, que é causado devido a alterações no microclima. A borda de fragmentos florestais está mais sujeita a ações de ventos, além de possuir maiores temperaturas do ar e menor umidade relativa do ar (MAGNAGO et al., 2015), sendo que este efeito costuma atingir uma faixa de 25 à 50m (LAGOS, 2017). Na Mata Atlântica, identificou-se que este microclima causa alterações na estrutura da vegetação, com uma diminuição da área basal, altura e abundância das árvores na faixa de borda (MAGNAGO et al., 2015), o que reflete em índices de vegetação mais baixos.

Deve-se destacar também que o fragmento de vegetação possuirá efeitos de bordas em intensidade variadas a depender da matriz em que o mesmo está inserido, já que áreas amplamente urbanizadas tem um impacto maior no microclima do que uma área de pastagem por exemplo. Ao observar as matrizes em que os fragmentos estão inseridos, observa-se que os fragmentos grandes estão envoltos por Mata Atlântica ou floresta de *Pinus* sp., enquanto que os médios estão quatro deles em área rural e um em área urbana, e já os fragmentos pequenos estão quatro em área urbana e um em área rural. Todavia, considerando que as amostras foram consideradas similares dentro de cada classe, a partir da observação da variância dos índices de vegetação, acredita-se que nos casos dos fragmentos médios e pequenos, que estão em matrizes rural e urbana, essa variável não interfere significativamente neste estudo.

#### b) Sazonalidade

As análises de Kruskal-wallis (Tabela 2) e pós-teste de Dunn (Tabela 3 a 6) encontraram diferença significativa ( $p < 0,05$ ) para o EVI2 entre as estações, com exceção entre primavera e outono, para todas as classes. Desta forma, conclui-se que na Mata Atlântica de Governador Celso Ramos ocorre sazonalidade, na qual os índices de vegetação são mais elevados no verão e menores no inverno, sendo que as estações primavera e outono possuem valores similares, pois representam os valores intermediários desta sazonalidade. Essa variação sazonal já havia sido observada para Floresta Ombrófila Densa no estado de Santa Catarina, onde o EVI das florestas da Bacia do Rio Itajaí diminuiu no inverno e aumentou no verão, devido a maior atividade fotossintética e aumento de massa foliar (VIBRANS et al., 2011).



Tabela 2. Resultados do teste Kruskal-wallis para cada classe de Mata Atlântica e estações do ano, em Governador Celso Ramos, SC

Classe	NDVI		EVI2	
	Kruskall-wallis qui quadrado	p	Kruskall-wallis qui quadrado	p
R. Grandes	128,11	p < 0,05	128,96	p < 0,05
R. Médios	96,317	p < 0,05	129,14	p < 0,05
R. Pequenos	39,697	p < 0,05	38,295	p < 0,05
Restinga	25,423	p < 0,05	52,989	p < 0,05

Tabela 3. Resultados do pós-teste de Dunn, com ajuste pelo método Bonferroni, comparando índices de vegetação nas estações do ano, na classe Remanescentes Grandes

Remanescentes Grandes				
Classe	NDVI		EVI2	
	Z	p ajustado	Z	p ajustado
Inverno – Outono	-1,821246	p < 0,05	-2,3330394	p < 0,05
Inverno – Primavera	-2,840691	p < 0,05	-2,4908873	p < 0,05
Outono – Primavera	-1,338870	p = 1,000000e+00	-0,4863724	p = 1,000000e+00
Inverno – Verão	-5,059862	p < 0,05	-5,6973247	p < 0,05
Outono – Verão	-3,644029	p < 0,05	-3,8207747	p < 0,05
Primavera – Verão	-1,929792	p < 0,05	-2,8806020	p < 0,05

Tabela 4. Resultados do pós-teste de Dunn, com ajuste pelo método Bonferroni, comparando índices de vegetação nas estações do ano, na classe Remanescentes Médios

Remanescentes Médios				
Classe	NDVI		EVI2	
	Z	p ajustado	Z	p ajustado
Inverno – Outono	-2,5943152	p < 0,05	-3,1752697	p < 0,05
Inverno - Primavera	-2,4321953	p < 0,05	-2,8453868	p < 0,05
Outono - Primavera	-0,1794732	p = 1,000000e+00	-0,0789682	p = 1,000000e+00
Inverno - Verão	-4,9901393	p < 0,05	-5,7272058	p < 0,05
Outono - Verão	-2,7956513	p < 0,05	-3,0108196	p < 0,05
Primavera - Verão	-2,2725532	p < 0,05	-2,5542746	p < 0,05

Tabela 5. Resultados do pós-teste de Dunn, com ajuste pelo método Bonferroni, comparando índices de vegetação nas estações do ano, na classe Remanescentes Pequenos

Remanescentes Pequenos				
Classe	NDVI		EVI2	
	Z	p ajustado	Z	p ajustado
Inverno - Outono	-2,600463	p = 0,0559	-2,9293630	p < 0,05
Inverno - Primavera	-1,018893	p = 1	-1,6598090	p < 0,05
Outono - Primavera	1,338870	p = 1	0,9601816	p = 1,000000e+00
Inverno - Verão	-3,964222	p < 0,05	-4,5419232	p < 0,05
Outono - Verão	-1,681387	p = 0,556	-1,9764747	p < 0,05
Primavera - Verão	-2,718612	p < 0,05	-2,6223573	p < 0,05

Tabela 6. Resultados do pós-teste de Dunn, com ajuste pelo método Bonferroni, comparando índices de vegetação nas estações do ano, na classe Restinga

Restinga				
Classe	NDVI		EVI2	
	Z	p ajustado	Z	p ajustado
Inverno - Outono	-3,2275249	p < 0,05	-3,079981	p < 0,05
Inverno - Primavera	-0,7043037	p = 1	-1,204359	p < 0,05
Outono - Primavera	2,2613622	p = 0,142	1,588338	p = 1,000000e+00
Inverno - Verão	-3,7948964	p < 0,05	-4,482161	p < 0,05
Outono - Verão	-0,8714317	p = 1	-1,761306	p < 0,05
Primavera - Verão	-2,8735590	p < 0,05	-3,021463	p < 0,05

Para o NDVI, encontrou-se o mesmo resultado de sazonalidade nos remanescentes grandes e médios. Porém, nos remanescentes pequenos, só foi observada diferença significativa entre as estações verão - inverno e primavera - verão. Já para a restinga, identificou-se a diferença entre inverno - outono, inverno - verão e primavera - verão.

Silva et al. (2021), identificaram que o EVI mostrou com mais evidencia resultados para a existência de ciclos anuais e semianuais que o NDVI. O mesmo foi identificado neste estudo, no qual é possível observar estatisticamente as variações sazonais em todas as classes no EVI2, além de maior clareza na observação em gráficos (Figura 4), principalmente para as classes “Remanescentes Grandes” e “Remanescentes Médios”.

#### c) Dados climáticos

A Figura 5 apresenta os dados mensais de precipitação acumulada e temperatura média para o período de interesse deste estudo, entre janeiro de 2016 a março de 2021. A partir do mesmo, é possível identificar que neste período, houve maiores precipitações durante as épocas mais quentes do que nas épocas mais frias, característica do clima tipo Cfa, e que também já havia sido identificado em Santa Catarina no período de 1975 à 2014 (GOTARDO et al., 2018).

De maneira geral, o período estudado teve dados de precipitação menores que a média histórica, sendo que a média anual no período de 2016 a 2020 foi de 1603,92mm, enquanto que a média anual na região leste de Santa Catarina do período de 1975 a 2014 havia sido de 1748mm (GOTARDO et al., 2018).

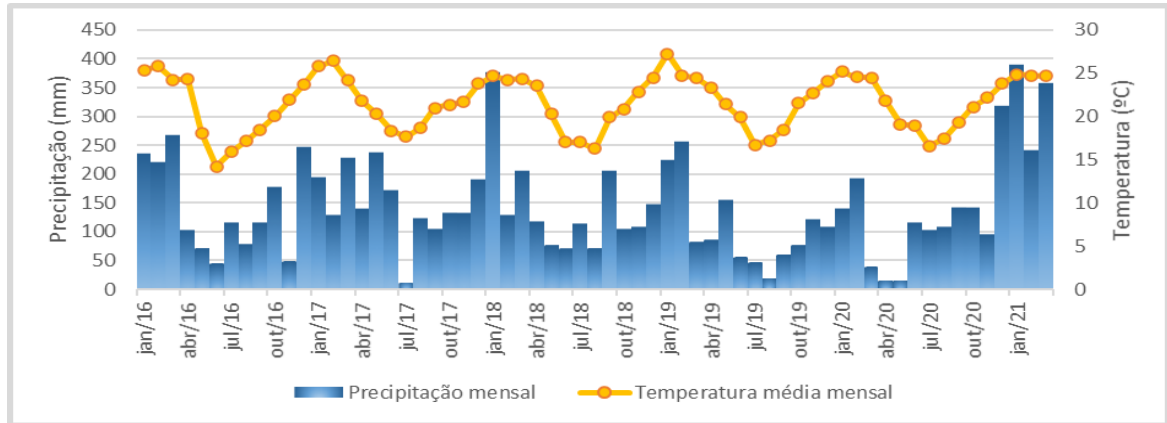


Figura 5. Médias mensais de temperatura e precipitação mensal acumulada no período de estudo (jan/2016 à mar/2021)

#### d) Índices de vegetação e elementos climáticos

Foram encontradas correlações positivas significativas tanto para temperatura quanto para precipitação ( $p < 0,05$ ) (Tabelas 7 e 8). Entretanto, o coeficiente  $\rho$  de Spearman encontrou correlações fortes entre os índices de vegetação e temperatura (entre 0,7 a 0,9), enquanto que com a precipitação esse coeficiente foi moderado (entre 0,5 a 0,7). No ecossistema de Florestas Estacionais Semidecíduais (Mata Atlântica) também foi identificada uma correlação positiva forte com a temperatura, com defasagem de dois meses, enquanto houve correlação negativa baixa com a precipitação (KÄFER; REX, 2020). Tal como identificado neste estudo, diferentes fitofisionomias da Mata Atlântica, como Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila Mista e Floresta Ombrófila Densa, apresentam valores de índices de vegetação menores no inverno (COSTA; GUASSELLI, 2017; KÄFER; REX, 2020; VIBRANS et al., 2011).

Neste estudo, não foi possível identificar qual o período de temperatura que possui influência significativa para a vegetação, visto que cada classe obteve o melhor desempenho em períodos distintos, tanto para o NDVI quanto para o EVI2. Todavia, identificou-se que os remanescentes grandes e médios obtiveram os melhores resultados de correlação para a temperatura com os dois índices de vegetação. Destaca-se que essas mesmas classes possuíram uma observação de sazonalidade mais evidente, o que pode estar relacionado aos melhores resultados na correlação.

Ainda, o EVI2 mostrou-se superior na análise de correlação com a temperatura, obtendo correlações mais fortes, com somente uma correlação moderada para os

remanescentes pequenos ( $\rho = 0,63$ ), evidenciando que este índice possui melhor desempenho para avaliar a sazonalidade, conforme já descrito na Mata Atlântica (NORA; MARTINI, 2010; VIBRANS et al., 2011; SILVA et al., 2021).

Tabela 7. Valores do coeficiente  $\rho$  de Spearman, entre NDVI e variáveis climáticas, com significância  $<0,05$ , com destaque para maiores valores de cada classe

NDVI								
Classe	Temperatura média em:				Precipitação acumulada em:			
	15 dias	1 mês	2 meses	3 meses	1 mês	2meses	3 meses	4 meses
R. Grandes	<b>0,74</b>	0,73	0,67	0,55	0,43	0,56	<b>0,57</b>	0,54
R. Médios	0,72	<b>0,73</b>	0,73	0,64	0,41	0,59	<b>0,64</b>	0,62
R. Pequenos	0,49	0,53	<b>0,57</b>	0,54	0,31	0,46	<b>0,50</b>	0,45
Restinga	0,48	0,54	0,65	<b>0,67</b>	0,35	0,56	0,66	<b>0,66</b>

Tabela 8. Valores do coeficiente  $\rho$  de Spearman, entre EVI2 e variáveis climáticas, com significância  $<0,05$ , com destaque para maiores valores de cada classe

EVI2								
Classe	Temperatura média em:				Precipitação acumulada em:			
	15 dias	1 mês	2 meses	3 meses	1 mês	2meses	3 meses	4 meses
R. Grandes	0,75	<b>0,76</b>	0,75	0,65	0,49	0,60	<b>0,64</b>	0,53
R. Médios	0,75	0,77	<b>0,78</b>	0,70	0,42	0,56	<b>0,63</b>	0,56
R. Pequenos	0,60	0,60	0,57	<b>0,63</b>	0,26	0,41	<b>0,46</b>	0,38
Restinga	0,58	<b>0,73</b>	0,63	0,72	0,42	0,61	<b>0,68</b>	0,65

Já para as correlações com a precipitação, apesar de terem valores de coeficientes  $\rho$  menor que com a temperatura, foi possível identificar que o período significativo para a região são os últimos três meses. Esse resultado diferiu de outros estudos, como no sudeste brasileiro, que a precipitação dos últimos dois meses foi a com maior relevância para a variação dos índices de vegetação na Mata Atlântica (SILVA et al., 2021), tal como encontrado na Caatinga, no nordeste do Brasil (BARBOSA et al., 2019).

Ainda no sudeste brasileiro, a vegetação de áreas protegidas mostrou uma menor correlação com a precipitação que as vegetações do entorno, considerada mais fragmentada, possivelmente porque na área protegida há mais água disponível no solo, além de que as áreas fragmentadas estão em um grau menor de regeneração, estando em desenvolvimento e sendo mais dependentes da precipitação para o crescimento (SILVA et al., 2021). Diante disto, esperava-se que quanto menor o fragmento de vegetação, maior seria a correlação do mesmo com a temperatura e precipitação, o que não ocorreu neste estudo: a classe

“Remanescentes Pequenos” obteve a correlação mais baixa tanto para temperatura quanto para precipitação. Isso indica que provavelmente há outras variáveis relevantes para esses fragmentos de vegetação. Destaca-se também que, considerando que o efeito de borda atinge em média uma faixa de 50m (LAGOS, 2017), as amostras selecionadas de remanescentes pequenos não possuem um “núcleo”, estando toda a vegetação sob o efeito de borda, tornando o fragmento menos estável (LAURANCE, 2002), o que pode impactar na variação sazonal do mesmo.

No entanto, o mesmo não foi observado para as amostras da classe “Restinga”, as quais também são fragmentos pequenos, mas que possuíram resultados de correlação similar aos remanescentes grandes e médios. Isto provavelmente se deve pelo fato de que a restinga já é naturalmente uma vegetação de locais de transição, contrastando com o ambiente de praia e estando mais sujeita a ações de ventos e baixa umidade relativa do ar do que o interior de uma Floresta Ombrófila Densa, estando por consequência mais adaptada e estável a esse microclima. Ainda, estudos de modelagem relacionados à variação climática indicam que o estabelecimento da vegetação de restinga possui outros fatores abióticos mais relevantes que os elementos climáticos, visto que essa vegetação não apresentou alterações significativas em sua área climaticamente apta nas previsões (MMA, 2018). No estado de Santa Catarina, a estrutura da restinga foi associada e condicionada com fatores edáficos, como teores de potássio, acidez potencial e capacidade de troca catiônica, além de teores de matéria orgânica e espessura da serapilheira, reforçando que essa vegetação é mais dependente da composição do solo do que do clima (JUNIOR; BOEGER, 2015).

Apesar de nesse estudo ter sido obtida uma correlação com a precipitação, em outras áreas de Floresta Ombrófila Densa em Santa Catarina, Vibrans et al. (2011), verificaram que o principal fator de sazonalidade da vegetação é a temperatura, e que períodos de estiagem não alteraram a resposta da vegetação. Também na Mata Atlântica do sul do Brasil, em Rio Grande do Sul, a variação do índice de vegetação teve uma relação mais forte com a temperatura e pouca com a precipitação (COSTA; GUASSELLI, 2017; KÄFER; REX, 2020). Isto pode significar que a correlação dos índices de vegetação com a precipitação acumulada identificada neste estudo não implique em casualidade, sendo causadas pelo fato de no clima subtropical (Cfa), existir uma tendência de mais precipitações no verão que o inverno (PANDOLFO et

al., 2002; GOTARDO et al., 2018), tal como também ocorreu no período desse estudo.

Assim, a correlação menos significativa dos índices com a precipitação pode ser explicada por dois motivos: a) apesar de haver uma variação, a região de estudo apresenta precipitações em todos os meses, sem ter um período característico de seca (PANDOLFO et al., 2002), b) as plantas da Floresta Ombrófila Densa possuem mais resiliência do que plantas xerófitas, como na Caatinga por exemplo, sendo menos sensíveis as variações de precipitação (BARBOSA et al., 2019).

Apesar disto, é possível que a ocorrência de eventos extremos como uma seca prolongada acabe sim afetando a vegetação da área de estudo, tal como já foi identificado no Rio Grande do Sul (COSTA; GUASSELLI, 2017). Considerando o contexto de mudanças climáticas e que está sendo observada uma tendência para aumento da frequência de eventos extremos, é necessário o monitoramento dessas vegetações, principalmente a nível local, para uma melhor compreensão da sua dinâmica e interação com os elementos climáticos.

Na Mata Atlântica do sudeste brasileiro, por exemplo, já foram identificados atrasos no início de ciclos sazonais entre os anos de 2001 e 2014 (SILVA et al., 2021). Já em modelos de previsão, o futuro da Floresta Ombrófila Densa tem duas possibilidades: a) um aumento da precipitação média de chuvas, o qual beneficiaria a vegetação ou b) um aumento dos períodos de seca e extremos de precipitação, o que faria com que a precipitação não fosse bem distribuída ao longo do ano e impactaria negativamente a vegetação (MMA, 2018). Assim, destaca-se que o acompanhamento e avaliação dos remanescentes de vegetação são essenciais para que sejam tomadas melhores decisões de políticas públicas tanto para manutenção das áreas quanto para a mitigação de impactos.

#### 2.1.4 Referências

BARBOSA, Humberto Alves; KUMARB, T.V.; PAREDESC, Lakshmi Franklin; ELLIOTTD, Simon; AYUGAE, J.G. Assessment of Caatinga response to drought using Meteosat-SEVIRI Normalized Difference Vegetation Index (2008–2016). **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, [S. l.], v.148, p. 235–252, 2019.

BELLARD, Céline; LECLERC, Camille; LEROY, Boris; BAKKENES, Michel; VELOZ,

Samuel; THUILLER, Wilfried; COURCHAMP, Franck. Vulnerability of biodiversity hotspots to global change. **Global Ecology and Biogeography**, [S. l.], v. 23, n. 12, p. 1376-1386, 2014.

BROCKERHOFF, Eckehard G.; BARBARO, Luc; CASTAGNEYROL, Bastien; FORRESTER, David I.; GARDINER, Barry; GONZÁLEZ-OLABARRIA, José Ramón; LYVER, Phil O'B.; MEURISSE, Nicolas; OXBROUGH, Anne; TAKI, Hisatomo; THOMPSON, Ian D.; PLAS, Fons van der; JACTEL, Herve. Forest biodiversity, ecosystem functioning and the provision of ecosystem services. **Biodiversity and Conservation**, [S. l.], v. 26, p.3005-3035, 2017.

CEMIN, Gisele; DUCATI, Jorge Ricardo. Modelos estocásticos aplicados à avaliação dinâmica da paisagem florestal de remanescentes de mata atlântica no Município de Caxias do Sul-RS. **Revista Árvore**, Viçosa, v.39, p.1019-1030, 2015.

CORDEIRO, Ana Paula Assumpção; BERLATO, Moacir Antônio; FONTANA, Denise Cybis; MELO, Ricardo Wanke de; SHIMABUKURO, Yosio Edemir; FIOR, Claudimar Sidnei. Regiões homogêneas de vegetação utilizando a variabilidade do NDVI. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 3, p. 883-896, 2017.

COSTA, Letícia Celise Ballejo; GUASSELLI, Laurindo Antonio Guasselli. Dinâmica sazonal de remanescentes da Mata Atlântica, a partir de séries temporais NDVI/MODIS. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, n. 30, p. 214-239, 2017.

FARIA, Ana Clara de Oliveira; GALVANI, Flaviane; COUTO, Edivando Vitor do. Métricas de ecologia da paisagem aplicadas em fragmentos da mata atlântica: o caso do município de Saudades do Iguaçu. **GEOMAE**, Campo Mourão, v.8, p. 94-102, 2017.

FERREIRA, Laerte Guimarães; FERREIRA, Nilson Clementino; FERREIRA, Manuel Eduardo. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado-da-arte. **Acta Scientiarum Biological sciences**, Maringá, v. 30, n. 4, p. 379-390, 2008.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica, período 2017-

2018. São Paulo, 2019. 65f. Disponível em: <<https://www.sosma.org.br/wp-content/uploads/2019/10/Atlas-mata-atlanticaDIGITAL.pdf>>. Acesso em: 05 mai. 2021.

GAO, Xiang; HUETE, Alfredo R.; NI, Wenge; MIURA, Tomoaki. Optical–Biophysical Relationships of Vegetation Spectra without Background Contamination. **Remote Sensing of Environment**, Nova York, v. 74, p. 609-620, 2000.

GOTARDO, Rafael; PIAZZA, Gustavo Antonio; TORRES, Edson; SEVERO, Dirceu Luis; KAUFMANN, Vander. Distribuição espacial e temporal das chuvas no estado de Santa Catarina. **Geosul**, Florianópolis, v. 33, n. 67, p. 253-276, 2018.

HADDAD, Nick M.; BRUDVIG, Lars A.; CLOBERT, Jean; DAVIES, Kendi F.; GONZALEZ, Andrew; HOLT, Robert D.; LOVEJOY, Thomas E.; SEXTON, Joseph O.; AUSTIN, Mike P.; COLLINS, Cathy D.; COOK, William M.; DAMSCHEN, Ellen I.; EWERS, Robert M.; FOSTER, Bryan L.; JENKINS, Clinton N.; KING, Andrew J.; LAURANCE, William F.; LEVEY, Douglas J.; MARGULES, Chris R.; MELBOURNE, Brett A.; NICHOLLS, A. O.; ORROCK, John L.; SONG, Dan-Xia; TOWNSHEND, John R. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth’s ecosystems. **Science advances**, [S. l.], v. 1, n. 2, p. e1500052, 2015.

JIANG, Zhangyan; HUETE, Alfredo R.; DIDAN, Kamel; MIURA, Tomoaki. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. **Remote Sensing of Environment**, Nova York, v. 112, p. 3833-3845, 2008.

JÚNIOR, João Carlos Ferreira de Melo; BOEGER, Maria Regina Torres. Riqueza, estrutura e interações edáficas em um gradiente de restinga do Parque Estadual do Acaraí, Estado de Santa Catarina, Brasil. **Hoehnea**, São Paulo, v. 42, n. 2, p. 207-232, 2015.

JÚNIOR, Eduardo Marques Santos; FERRARI, Stephen Francis; BELTRÃO-MENDES, Raone; BITENCURTI, Daniela Pinheiro; CARVALHO, Thiago Morato de. Mapeamento e caracterização dos fragmentos florestais na bacia hidrográfica do



baixo Rio São Francisco, Sergipe. **Revista Geográfica Acadêmica**, Boa Vista, v.11, n.1, p. 104-129, 2017.

KÄFER, Pâmela Suélen; REX, Franciel Eduardo. Avaliação espectral e temporal de remanescentes da Mata Atlântica com dados SPOT-VGT e variáveis meteorológicas. **BIOFIX Scientific Journal**, Curitiba, v. 5, n. 1 p. 13-22, 2020.

LAGOS, Maria do Carmo Correa. **Efeito de borda em fragmentos do bioma Cerrado e Mata Atlântica**. 2017. 86f. Tese (Doutorado em Programa de Pós-Graduação em Ciências) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

LAURANCE, William F. Hyperdynamism in fragmented habitats. **Journal of Vegetation Science**, [S. l.] v. 13, p 595-602, 2002.

MAGNAGO, Luiz Fernando Silva; ROCHA, Mariana Ferreira; MEYER, Leila; MARTINS, Sebastião Venâncio; MEIRA-NETO, João Augusto Alves. Microclimatic conditions at forest edges have significant impacts on vegetation structure in large Atlantic forest fragments. **Biodiversity and Conservation**, [S. l.], v. 24, n. 9, p. 2305-2318, 2015.

MALLMANN, Caroline L.; PRADO, Diego de Almeida; FILHO, Waterloo Pereira. Índice de vegetação por diferença normalizada para caracterização da dinâmica florestal no parque estadual Quarta Colônia, estado do Rio Grande do Sul – Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 08, n. 05, p. 1454-1469, 2015.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Impactos na mudança do clima na Mata Atlântica. Brasília, 2018. 106 f.

NETO, Roberto Silverio; BENTO, Monique de Carvalho; MENEZES, Sady Junior Martins da Costa de; ALMEIDA, Fabio Souto. Caracterização da Cobertura Florestal de Unidades de Conservação da Mata Atlântica. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 22, n.1, p.32-41, 2015.

NORA, Elói Lennon Dalla; MARTINI, Denise Zanatta. Análise da dinâmica sazonal de fitofisionomias do bioma Mata Atlântica com base em índices de vegetação do

sensor MODIS/TERRA. **Ambiência**, Guarapuava, v. 6, n. 1, p.97-108, 2010.

OLIVEIRA, Brayan Ricardo de; COSTA, Elaine Lopes da; CARVALHO-RIBEIRO, Sônia Maria; MAIA-BARBOSA, Paulina Maria. Land use dynamics and future scenarios of the Rio Doce State Park buffer zone, Minas Gerais, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, [S. l.], v. 192, n. 1, p. 1-12, 2019.

PANDOLFO, C.; BRAGA, H. J.; SILVA JR, V. P. da; MASSIGNAM, A. M., PEREIRA, E. S.; THOMÉ, V. M. R.; VALCI, F.V. **Atlas climatológico do Estado de Santa Catarina. Florianópolis**, Epagri, v. 1, 2002. Disponível em: <[https://ciram.epagri.sc.gov.br/ciram\\_arquivos/atlasClimatologico/atlasClimatologico.pdf](https://ciram.epagri.sc.gov.br/ciram_arquivos/atlasClimatologico/atlasClimatologico.pdf)>. Acesso em: 05 mai. 2021.

RUDORFF, Bernardo FT. Produtos de sensoriamento remoto. **Divisão de Sensoriamento Remoto - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais–INPE**, São José dos Campos, 2016. Disponível em: <<http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>>. Acesso em: 20 ago. 2021.

SILVA, Rosane Gomes da; SANTOS, Alexandre Rosa dos; PELÚZIO, João Batista Esteves; FIEDLER, Nilton César; JUVANHOL, Ronie Silva; SOUZA, Kaíse Barbosa de; BRANCO, Elvis Ricardo Figueira. Vegetation trends in a protected area of the Brazilian Atlantic forest. **Ecological Engineering**, [S. l.], v. 162 p. e106180, 2021.

SIMINSKI, Alexandre; FANTINI, Alfredo Celso; REIS, Mauricio Sedrez. Classificação da vegetação secundária em estágios de regeneração da mata atlântica em Santa Catarina. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 3, p. 369-378, 2013.

SOTHE, Camile; LIESENBERG, Veraldo; ALMEIDA, Cláudia Maria de; SCHIMALSKI, Marcos Benedito. Abordagens para classificação do estágio sucessional da vegetação do Parque Nacional de São Joaquim empregando imagens LANDSAT-8 e RAPIDEYE. **Boletim de Ciências Geodésicas**, [S. l.], v. 23, n. 3, p. 389-404, 2017.

TEIXEIRA, Gabriela Miranda; FIGUEIREDO, Pablo Hugo Alves; FERRAZ, Silvio Frosini de Barros; SALEMI, Luiz Felipe; RANZINI, Maurício; RIZZI, Nivaldo

Eduardo. Análise de classificadores de estágios sucessionais em um fragmento de Mata Atlântica. **BIOFIX Scientific Journal**, Curitiba, v. 4 n. 2 p. 88-96, 2019.

VENTER, Oscar; SANDERSON, Eric W.; MAGRACH, Ainhoa; ALLAN, James R.; BEHER, Jutta; JONES, Kendall R.; POSSINGHAM, Hugh P.; LAURANCE, William F.; WOOD, Peter; FEKETE, Balazs M.; LEVY, Marc A.; WATSON, James E.M. Sixteen years of change in the global terrestrial human footprint and implications for biodiversity conservation. **Nature communications**, Londres, v. 7, n. 1, p. 1-11, 2016.

VIBRANS, Alexander Christian; SCHRAMM, Vanessa Fernanda; LINGNER, Débora Vanessa. Dinâmica sazonal da vegetação na bacia do Rio Itajaí, SC, por meio de imagens MODIS TERRA. **Revista de estudos ambientais**, Blumenau, v.13, n. 1, p. 42-52, 2011.

WEIER, John; HERRING, David. Measuring vegetation (NDVI & EVI). Measuring Vegetation NDVI&EVI. **NASA Earth Observatory**, 2000. Disponível em: <[https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation/measuring\\_vegetation\\_2.php](https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php)> Acesso em: 05 mai. 2021.



### 3 PRODUTO(S) DESENVOLVIDO(S)

Durante este trabalho foi desenvolvido como produto um material teórico e cartográfico para auxiliar e iniciar a elaboração do Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica - PMMA do município de Governador Celso Ramos. O mesmo será apresentado para a Conselho Municipal de Meio Ambiente, na próxima reunião que ocorrer, para que sejam organizadas as audiências públicas para dar o prosseguimento ao processo de elaboração do PMMA.

#### 3.1 Introdução

A Mata Atlântica é um bioma que abriga uma altíssima biodiversidade de fauna e flora, além de espécies endêmicas, classificando o bioma como um *hotspot*, sendo considerado uma área prioritária para a conservação (MYERS et al., 2000). Ainda, ela é responsável por diversos serviços ecossistêmicos que beneficiam 72% da população brasileira (MMA, 2017), como a preservação de mananciais para abastecimento de água, qualidade do ar, estabilização do solo e manutenção do microclima da região. Entretanto, por ser um bioma predominantemente costeiro, local de maior ocupação humana, está sujeito a grandes pressões antrópicas. Estima-se que em 2018 restavam somente 13% da vegetação original no Brasil, sendo que em Santa Catarina esse número era de 28,8% (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2019).

Devido a essas peculiaridades, foi publicada a Lei nº 11.428 de 22 de dezembro de 2006, conhecida como “Lei da Mata Atlântica”, a fim de definir regramento próprio para a utilização deste bioma. Dentre estes regramentos está a implantação de um Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica – PMMA, a ser aprovado pelo Conselho Municipal de Meio Ambiente - CONDEMA. O PMMA é um plano que objetiva identificar a situação atual do bioma no município e prever ações para a conservação do mesmo, devendo orientar para decisões de políticas públicas.

Conforme Decreto nº 6.660, de 21 de novembro de 2008, é necessário que o PMMA possua um diagnóstico da vegetação nativa e mapeamento dos remanescentes florestais, indicação das ameaças para a vegetação, indicação das áreas prioritárias para conservação e recuperação e, por fim, ações preventivas à destruição da mata nativa e ações de utilização sustentável da Mata Atlântica.

Como alternativa para realizar o mapeamento e diagnóstico dessa vegetação, está a utilização de imagens de satélite, visto que há diversas opções que estão disponibilizadas gratuitamente e de fácil acesso. Dentre elas, o Projeto Copernicus Sentinel 2 se destaca pela boa resolução. Desta forma, este produto busca utilizar dados de satélite para realizar o mapeamento de áreas com vegetação nativa e das áreas prioritárias para conservação e recuperação.

### **3.2. Mapa de Uso e Ocupação do Solo**

Inicialmente foi elaborado um Mapa de Uso e Ocupação do Solo para o município de Governador Celso Ramos. O mesmo é necessário para compreender a localização das áreas urbanas, rurais e remanescentes florestais. Ainda, é importante a identificação de locais com alto adensamento de espécies arbóreas exóticas invasoras, como *Pinus* spp., que prejudicam o ecossistema local.

#### **3.2.1 Metodologia**

Para a elaboração do Mapa de Uso e Ocupação do Solo foi utilizada a cena “S2B\_MSIL2A\_20200802T132239\_N0214\_R038\_T22JGQ\_20200802T143602”, do satélite MSI - Sentinel 2B, disponibilizada pela *European Space Agency* (ESA), na data de 08 de agosto de 2020, a qual não possuía nuvens na área de interesse. A imagem obtida já estava pré-processada, com reflectância BOA (*Bottom of Atmosphere*), e possui resolução de 10m e 20m.

Realizou-se uma classificação supervisionada com revisão de imagem, com a classificação pelo algoritmo *Random Forest* no software livre *QGIS* versão 3.16.5 *Hannover*, com *GRASS* versão 7.8.5, utilizando o complemento SCP - *Semi-Automatic Classification Plugin*. Foram utilizadas nove classes (“Água”, “Área Urbana”, “Solo exposto”, “Pastagem/vegetação herbácea”, “Floresta Exótica”, “Mata Atlântica - Estágio Médio à Avançado”, “Praia”, “Mata Atlântica - Estágio Inicial” e “Área Úmida”) (Figura 6). Optou-se pela separação da classe “Mata Atlântica” em duas, na qual “estágio médio à avançado” indicam áreas com vegetação densa mais desenvolvida, enquanto que “estágio inicial” representam áreas com vegetação mais arbustiva, menos desenvolvida. Destaca-se que essa classificação não reflete a classificação de estágios sucessionais da Resolução CONAMA nº 04/1994, na qual é necessária realização de vistorias a campo e inventários florestais para a classificação. Por fim, para remoção de ruído e melhores efeitos visuais e, aplicou-se

o filtro majoritário em matriz 3x3.

Para validação do mapa, foi gerada uma matriz de confusão, utilizando como referência 200 amostras aleatórias fora das áreas de treino. As amostras foram classificadas com vistoria *in loco* quando possível, e por fotointerpretação de imagens de boa resolução disponível pelo *Google Earth* nos locais de difícil acesso. A partir da matriz de confusão, obteve-se a acurácia global, acurácia do produtor, acurácia do usuário e índice Kappa (CONGALTON, 2001).

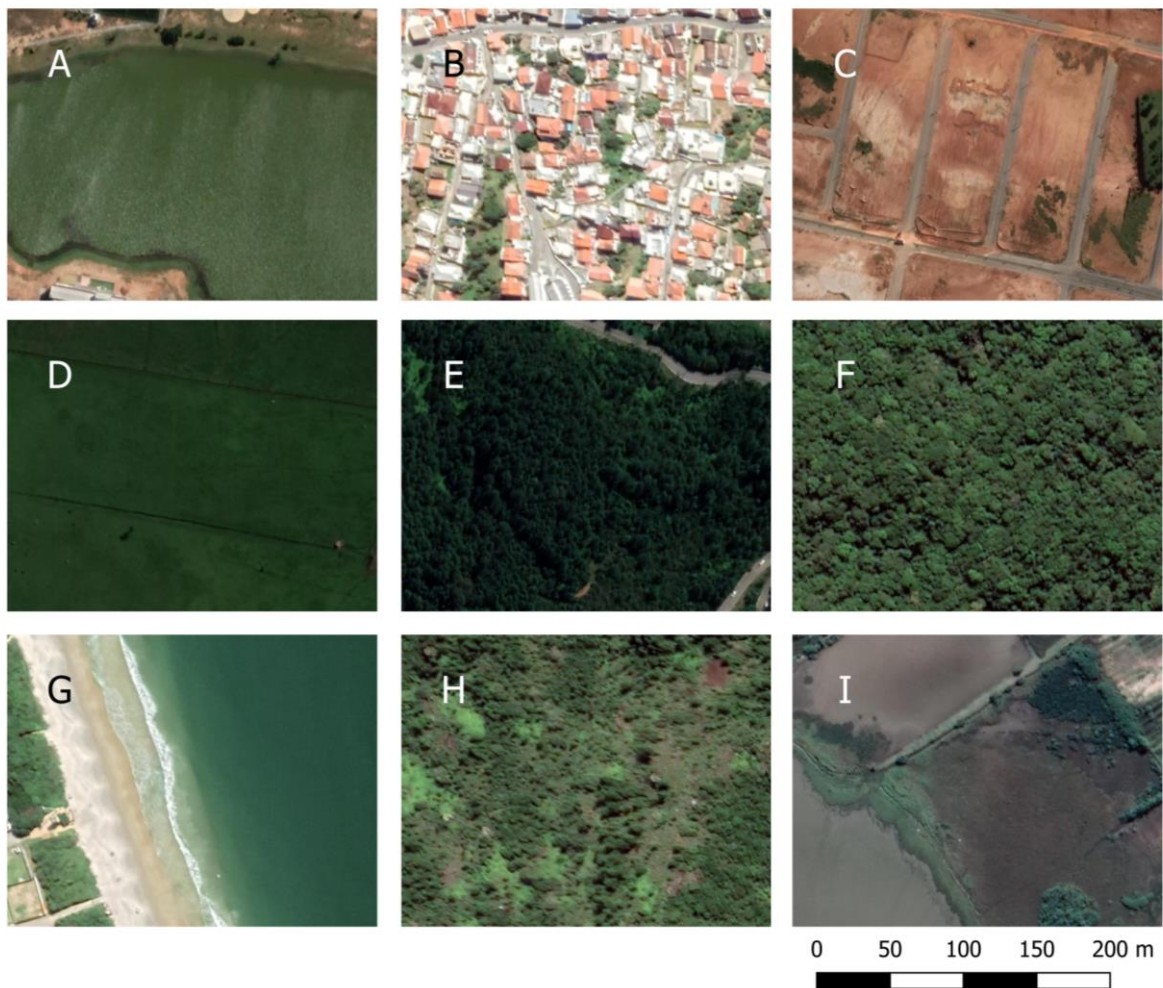


Figura 6. Imagens de satélite *Google Earth* de cada classe de Uso e Ocupação do solo: A - Água; B - Área Urbana; C - Solo exposto; D - Pastagem/vegetação herbácea; E - Floresta Exótica; F - Mata Atlântica - Estágio Médio à Avançado; G - Praia; H - Mata Atlântica - Estágio Inicial; I - Área Úmida

### 3.2.2 Resultados

Foi elaborado um Mapa de Uso e Ocupação do Solo conforme Figura 7. É possível observar que o município de Governador Celso Ramos possui um remanescente significativo de Mata Atlântica bem desenvolvido, classificado como

“Mata Atlântica – Estágio Médio à Avançado”, o qual representa 50,09% do município (Tabela 9). A segunda classe com maior representatividade é “Pastagem/vegetação herbácea”, a qual inclui tanto a área rural, quanto locais degradados, desprovidos de vegetação.

Já a “Floresta Exótica”, composta principalmente de *Pinus spp.*, ocupa 1,37% da região. Essa identificação é importante para verificar locais com maior adensamento da espécie, o qual está localizado principalmente próximos à área urbana e rodovias. Entretanto, o tamanho ocupado pelas árvores arbóreas exóticas provavelmente está subestimado, visto que muitas estão no meio da floresta nativa, em áreas pequenas, de difícil identificação com a imagem utilizada de resolução de 10m (na qual um pixel equivale a 100m<sup>2</sup>).

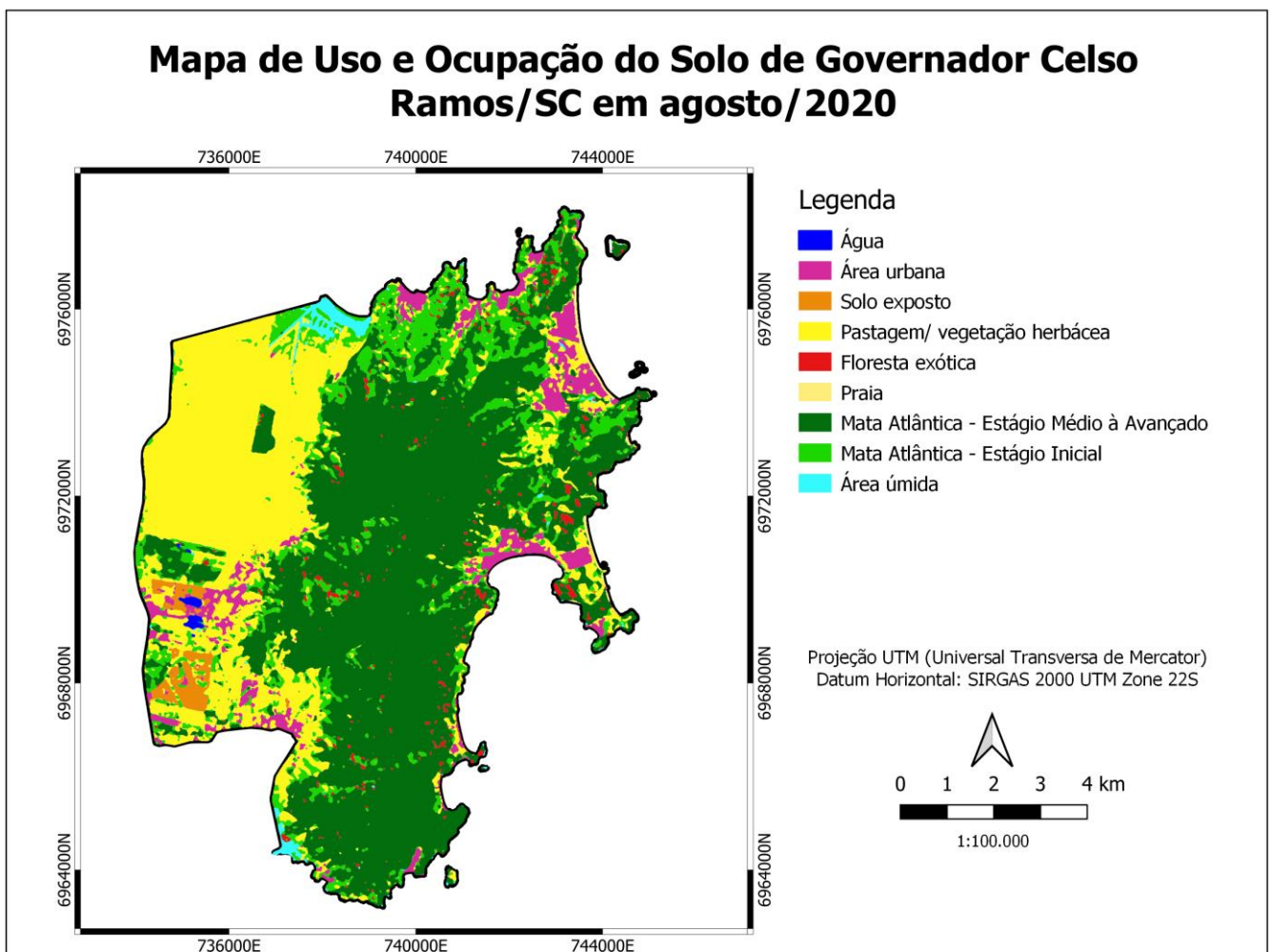


Figura 7. Mapa de uso e ocupação do solo de Governador Celso Ramos em 2020



Tabela 9. Classes de uso e ocupação do solo de Governador Celso Ramos em 2020 e sua área relativa

Classe	Porcentagem da área (%)
Água	0,82
Área Urbana	5,16
Solo exposto	1,35
Pastagem/vegetação herbácea	27,09
Floresta Exótica	1,37
Mata Atlântica - Estágio Médio à Avançado	50,09
Praia	0,31
Mata Atlântica - Estágio Inicial	12,78
Área Úmida	1,03

O mapa obteve uma boa acurácia geral (93,5%) e índice Kappa elevado (0,8997), indicando que o Mapa de Uso e Ocupação do Solo obtido tem bom desempenho. Com exceção da classe “Área úmida”, todas as classes obtiveram resultados satisfatórios na avaliação na Acurácia do Produtor e Acurácia do Usuário (Tabela 10). Ainda, destaca-se que a classe de maior interesse – “Mata Atlântica – Estágio Médio e Avançado”, possuiu acurácia superior à 90%.

Tabela 10. Acurácia do produtor e usuário para cada classe

Classe	Acurácia do Produtor (%)	Acurácia do Usuário (%)
Água	99,42	100,00
Área Urbana	80,59	81,82
Solo exposto	59,97	100,00
Pastagem/vegetação herbácea	88,55	85,16
Floresta Exótica	62,61	83,33
Mata Atlântica - Estágio Médio à Avançado	96,79	92,11
Praia	88,00	100,00
Mata Atlântica - Estágio Inicial	71,86	65,88
Área Úmida	26,88	87,50

A partir da classificação, foi possível elaborar um Mapa de Área Remanescente de Mata Atlântica do município de Governador Celso Ramos, um dos requisitos para a elaboração do PMMA. Para isto, foi utilizada somente as áreas classificadas como “Mata Atlântica – Estágio Médio à Avançado” (Figura 8). Optou-se por não utilizar a classe estágio “Mata Atlântica – Estágio inicial”, pois o mesmo representa uma vegetação pouco desenvolvida, em área de degradação recente, sendo menos significativa para o bioma.

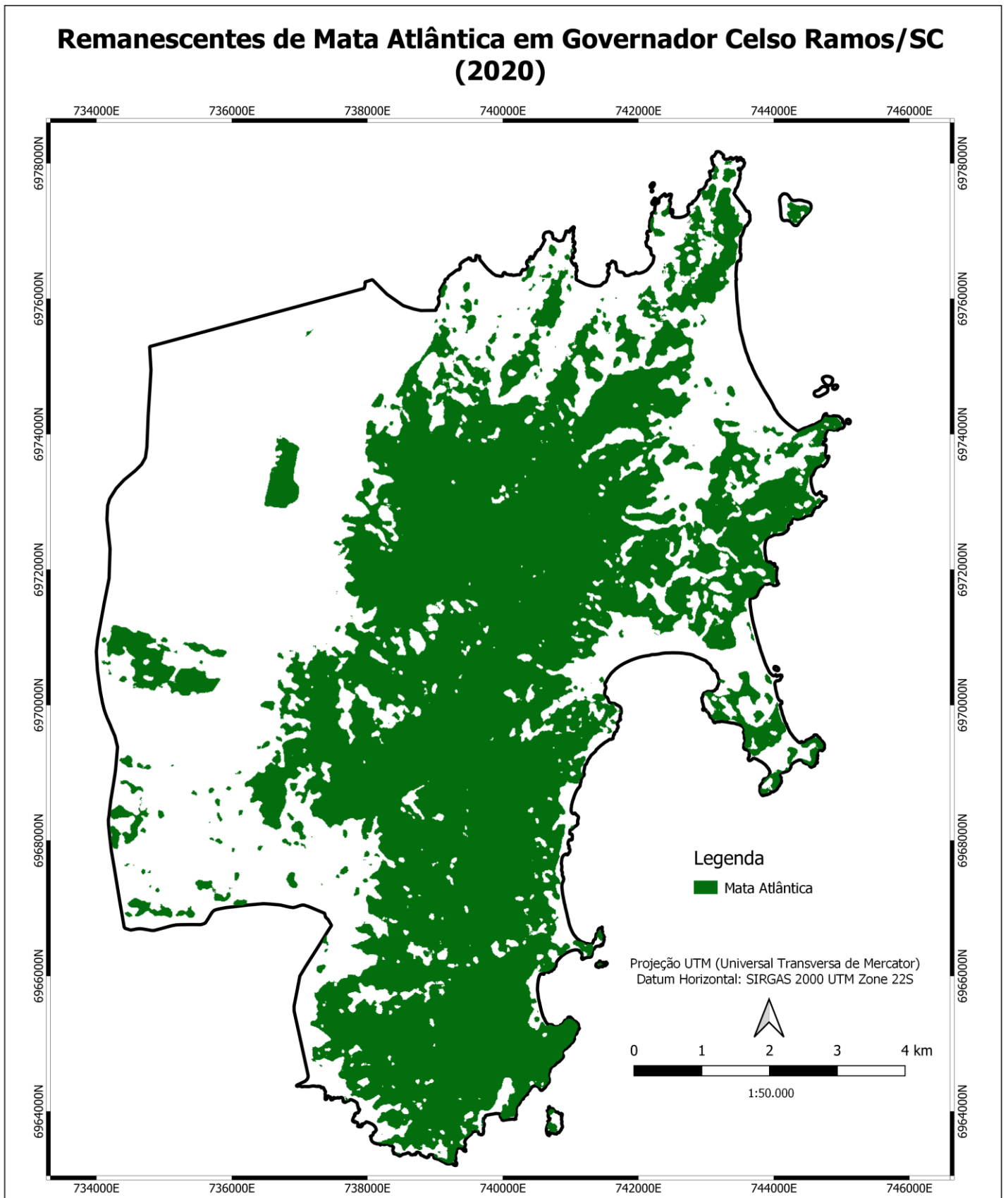


Figura 8. Mapa dos remanescentes de Mata Atlântica em Governador Celso Ramos em 2020

Foram identificados 265 fragmentos de vegetação, sendo que 207 deles possuíam menos que 1ha (Tabela 11). Mesmo assim, a maior parte da vegetação, mais que 90%, está em um remanescente grande, de aproximadamente 4272,86ha, localizado justamente na parte central do município, onde há maior altitude e locais de declive.

Tabela 11. Distribuição das áreas de remanescentes de Mata Atlântica em Governador Celso Ramos em 2020

Intervalo de área (em ha)	Área total (ha)	Número de fragmentos	Área relativa
<1	44,58	207	0,95%
1-2	30,82	23	0,66%
2-3	30,93	13	0,66%
3-4	13,78	4	0,29%
4-5	8,59	2	0,18%
5-10	47,03	7	1,00%
10-20	43,34	3	0,92%
20-30	44,88	2	0,96%
30-40	35,20	1	0,75%
40-50	44,24	1	0,94%
60-70	69,64	1	1,49%
>70	4272,89	1	91,19%
<b>TOTAL</b>	<b>4685,93</b>	<b>265</b>	<b>100,00%</b>

### 3.2.3 Discussão

O uso de classificadores não-paramétricos (com técnica de aprendizagem de máquina), como o *Random Forest* - RF e *Support Vector Machines* - SVM, em estudos de sensoriamento remoto, vem aumentando nos últimos anos (NOI; KAPPAS, 2017). Esses algoritmos têm se mostrado superiores na classificação do uso e ocupação do solo quando comparado aos tradicionais métodos paramétricos, como Máxima Verossimilhança (MAXVER) (SOTHE et al., 2017).

O uso do classificador *Random Forest* também já se mostrou eficaz e se destacou em imagens de LANDSAT-8 e Rapid-eye para classificação de estágios sucessionais de vegetação em estágios avançado, médio e inicial, além de diferenciar as classes campo e banhado no Parque Nacional de São Joaquim - SC (SOTHE et al., 2017). Ainda, ao utilizar na classificação com RF as informações de texturas (como segundo momento angular, contraste, variância, homogeneidade, correlação, entropia, dissimilaridade e média textural) e dados de vegetação (como índice de vegetação de Razão Simples - RS e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI), aliadas aos dados das bandas espectrais, o resultado foi significativamente superior aos demais exemplos realizados no estudo, os quais

utilizavam ou somente as bandas espectrais ou as bandas espectrais junto das informações de textura (SOTHE et al., 2017).

Para a classificação de uso e ocupação do solo, em uma região do Vietnã, o classificador *Random forest* em imagens Sentinel-2 também mostraram resultados com alta acurácia, com resultados similares ao SVM e kNN (*k-Nearest Neighbors*) (NOI; KAPPAS, 2017).

Já os resultados encontrados de área relativa das classes são similares para regiões próximas, como a Bacia Hidrográfica do Itajaí e o município de São Francisco do Sul, em 2015 (PAZ; VIEIRA, 2018; PREIS, et al., 2021). Destaca-se, entretanto, que o município de Governador Celso Ramos possui uma área relativa maior de Mata Atlântica (62,87%), do que a região de Itajaí, a qual possui 56% (PREIS, et al., 2021). Em comparação à São Francisco do Sul, os resultados foram mais próximos, já que o município em questão apresentou 50,73% de Mata Atlântica em estágio Médio à Avançado e 9,36% em estágio inicial (PAZ; VIEIRA, 2018).

Ambos autores também identificaram um aumento da área urbana ao longo dos anos (PAZ; VIEIRA, 2018; PREIS, et al., 2021), o que também ocorreu e está ocorrendo em Governador Celso Ramos, como pela implantação de novos loteamentos em andamento dentro da classe “solo exposto”.

Em relação aos remanescentes de vegetação nativa, o município apresenta uma característica diferente de outros municípios no bioma Mata Atlântica, já que mais que 90% da vegetação está em um remanescente único, maior que 4000ha. Na Bacia Hidrográfica do Baixo Rio São Francisco, em Sergipe, a maioria da vegetação de Caatinga e Mata Atlântica está em fragmentos menores que 100ha (JUNIOR et al., 2017). Já em Nova Iguaçu, Paraná, 85% da vegetação está em fragmentos menores que 1ha (FARIA et al., 2017). Em Santa Catarina, temos o exemplo do município de Ilhota, no qual 95% da Mata Atlântica está em áreas menores que 40ha (SCHAADT, 2015).

Diante de tudo exposto, conclui-se que o mapa elaborado neste estudo, apesar de poder ser melhorado por outras técnicas, foi suficiente para o objetivo esperado.

### **3.3. Mapa de degradação e áreas prioritárias para conservação e recuperação**

Para a construção do PMMA, é necessário identificar as ameaças para a vegetação, além de indicar as áreas prioritárias para conservação e recuperação.

Assim, foi elaborado um Mapa de Degradação, a partir do uso de modelagem ambiental.

### 3.3.1 Metodologia

Realizou-se modelagem ambiental a partir da ferramenta InVEST (*Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs*) e seu modelo *Habitat Quality*. Este modelo estima a extensão do habitat da biodiversidade alvo – neste caso a Mata Atlântica – e seus níveis de degradação. A ferramenta InVEST vem sendo utilizada para a avaliação de degradação de habitat tanto para espécies quanto para ecossistemas inteiros (BHAGABATI et al., 2014; CHOUDHARY et al., 2021), além de possibilitar a avaliação de alterações no ambiente ao longo dos anos e realizar previsões (SALATA et al., 2017; ANESEYEE et al., 2020; TANG et al., 2020).

Para realizar a modelagem foi necessária à utilização de um mapa de uso e ocupação do solo (elaborado anteriormente), mapeamento das ameaças e mapeamento de áreas protegidas. As ameaças foram delimitadas a partir do uso e ocupação do solo e análise de imagens de satélite. As ameaças são áreas de uso do solo que foram antropizadas (como áreas urbanas, pastagens e vegetação exótica) e que causam fragmentação do habitat (como rodovias), as quais facilitam a degradação do habitat próximo (Tabela 12).

Tabela 12. Ameaças identificadas para a Mata Atlântica em Governador Celso Ramos

Ameaça	Justificativa
Rodovia	As rodovias são fontes de poluição sonora e atmosférica. Ainda, possibilitam o acesso para as áreas nativas, facilitando o desmatamento ou depósitos irregulares de resíduos.
Novos loteamentos	Novos loteamentos impulsionam o crescimento urbano, ampliando as áreas com impacto urbano.
Áreas Urbanas	Áreas urbanas geram contaminação de resíduos sólidos e líquidos, principalmente de esgotamento sanitário, além de serem centros em expansão.
Vegetação herbácea/pastagens	As áreas de vegetação herbácea incluem principalmente pastagens e agricultura. Esses locais compactam e degradam o solo, contaminam o solo e água com o uso de pesticidas e ainda são fontes de dispersão de espécies exóticas como braquiárias.
Floresta exótica	As áreas com árvores exóticas, como <i>Pinus</i> spp. e <i>Eucalyptus</i> spp. impedem o crescimento de vegetação nativa, além de degradarem o solo. Essas espécies também têm facilidade de dispersão e estabelecimento em ambientes degradados, dificultando a regeneração natural.

Já as áreas protegidas são áreas que estão menos suscetíveis a ameaças. Nesta classificação, foi utilizada a Zona Terrestre de Proteção de Mata Atlântica dentro da APA de Anhatomirim, visto ser o zoneamento mais restritivo da unidade de conservação, e as áreas superiores à 250m na porção norte do município, por serem locais com vegetação nativa e de acesso dificultado pela altitude e declividade (Figura 9).

Por fim, é necessário qualificar as sensibilidades e as características das ameaças em tabelas. A “Tabela de Sensibilidade” (Tabela 13) indica a sensibilidade relativa do habitat para cada ameaça. Já a “Tabela de Ameaças” (Tabela 14) informa a importância relativa (peso), a distância que o impacto atinge e o decaimento da ameaça, que pode ser exponencial ou linear. Após a elaboração do mapa de degradação, os níveis foram separados em nove categorias, em intervalos regulares.

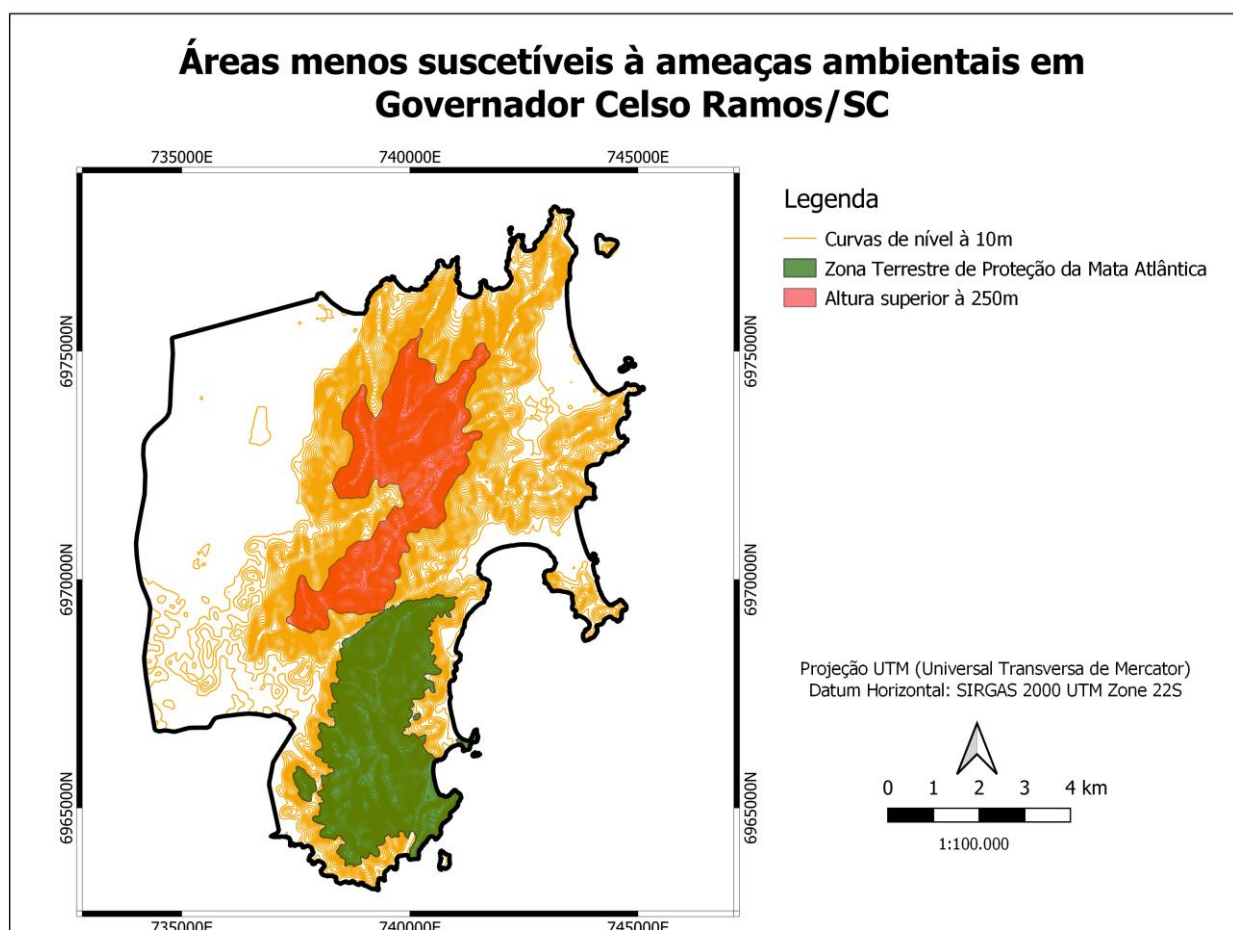


Figura 9. Mapa de áreas protegidas em Governador Celso Ramos utilizado no modelo *Habitat Quality* (*InVEST*)

Tabela 13. Tabela de sensibilidade para modelo *Habitat Quality (InVEST)*

Classe	Habitat	Ameaças				
		Rodovia	Áreas urbanas	Novos loteamentos	Vegetação herbácea/pastagens	Floresta exótica
Água	1	1	0,7	1	1	0,1
Área Urbana	0	0	0	0	0	0
Solo exposto	0	0	0	0	0	0
Pastagem/vegetação herbácea	0	0	0	0	0	0
Floresta Exótica	0	0	0	0	0	0
Mata Atlântica - Estágio Médio à Avançado	1	0,8	0,3	0,5	0,7	0,6
Praia	0,5	0,8	0,3	0,5	0,7	0,6
Mata Atlântica - Estágio Inicial	0,5	0,6	0,5	0,4	0,8	0,5
Área Úmida	0,5	0,8	0,3	0,5	0,7	0,6

Tabela 14. Tabela de ameaças para modelo *Habitat Quality (InVEST)*

Ameaças	Distância (km)	Peso	Decaimento
Novos loteamentos	3	1	linear
Áreas urbanas	3	1	linear
Rodovia	5	1	exponencial
Vegetação herbácea/pastagens	1	0,6	linear
Vegetação arbórea exótica	1	0,4	linear

### 3.3.2 Resultados

Obteve-se um Mapa de Degradação (Figura 10), no qual 1 indica os locais menos degradados e com alto valor ambiental, enquanto que 9 os locais mais degradados e com perdas de funções ecossistêmicas. Esses níveis possibilitam identificar quais ações são indicadas para cada região, visto que nos locais de níveis mais baixos são mais relevantes ações de conservação, enquanto que nos locais de níveis mais altos – com mais degradação –, devem ser elencadas ações de restauração.

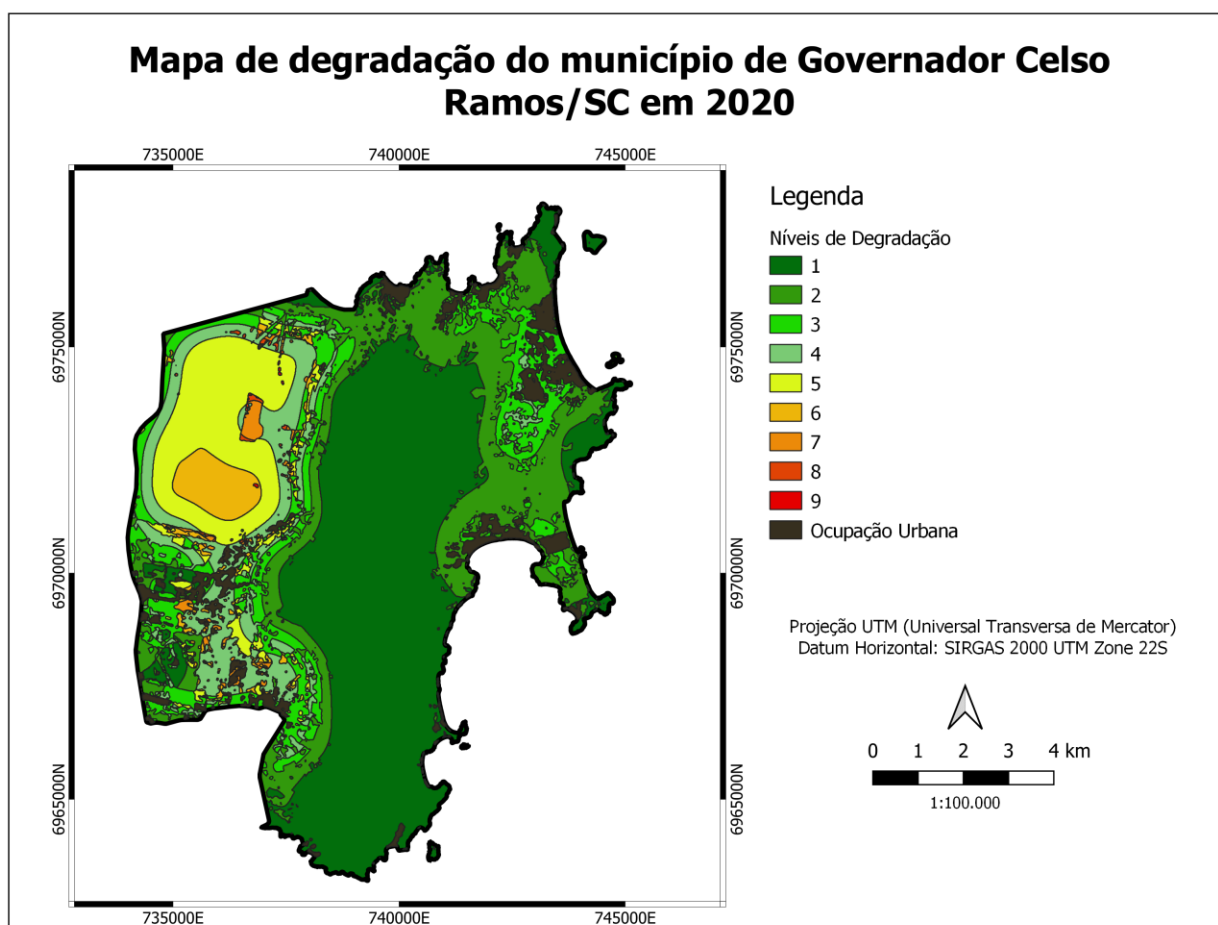


Figura 10. Mapa de degradação no município de Governador Celso Ramos, a partir do modelo *Habitat quality (InVEST)*

Percebe-se que a maior parte do município, 65,11%, encontra-se nos níveis 1 e 2 (Tabela 15 e Figura 11), expondo resultados positivos, já que reflete a quantidade de biodiversidade presente em Governador Celso Ramos. Isto indica que, de maneira geral, as ações de conservação devem ter mais destaque no município do que as ações de restauração. Essa expressiva área de níveis pouco degradados deve-se principalmente a vegetação nativa de Floresta Ombrófila Densa presente nos morros do município e na unidade de conservação APA de Anhatomirim. Mesmo próximos à área urbana, o habitat manteve um nível baixo de degradação, o que provavelmente ocorre pelas pequenas áreas que cada aglomerado urbano ocupa.



Tabela 15. Percentuais de cada nível de degradação em Governador Celso Ramos

Nível de degradação		%
Baixo	1	41,66
	2	23,45
Médio	3	11,5
	4	9,58
	5	9,7
	6	3,06
Alto	7	0,84
	8	0,18
	9	0,03

Já nas áreas indicadas pelos níveis de degradação 3 ao 9 (Figuras 12 e 13), são consideradas áreas prioritárias para ações de restauração, com destaque para os níveis 7 ao 9, os quais são, conforme o modelo, as áreas com elevada prioridade. Esses locais englobam principalmente as áreas de pastagens, agricultura e solo exposto. Deve-se destacar que as ações de restauração devem iniciar pelos locais mais sensíveis, como as margens de cursos d'água.

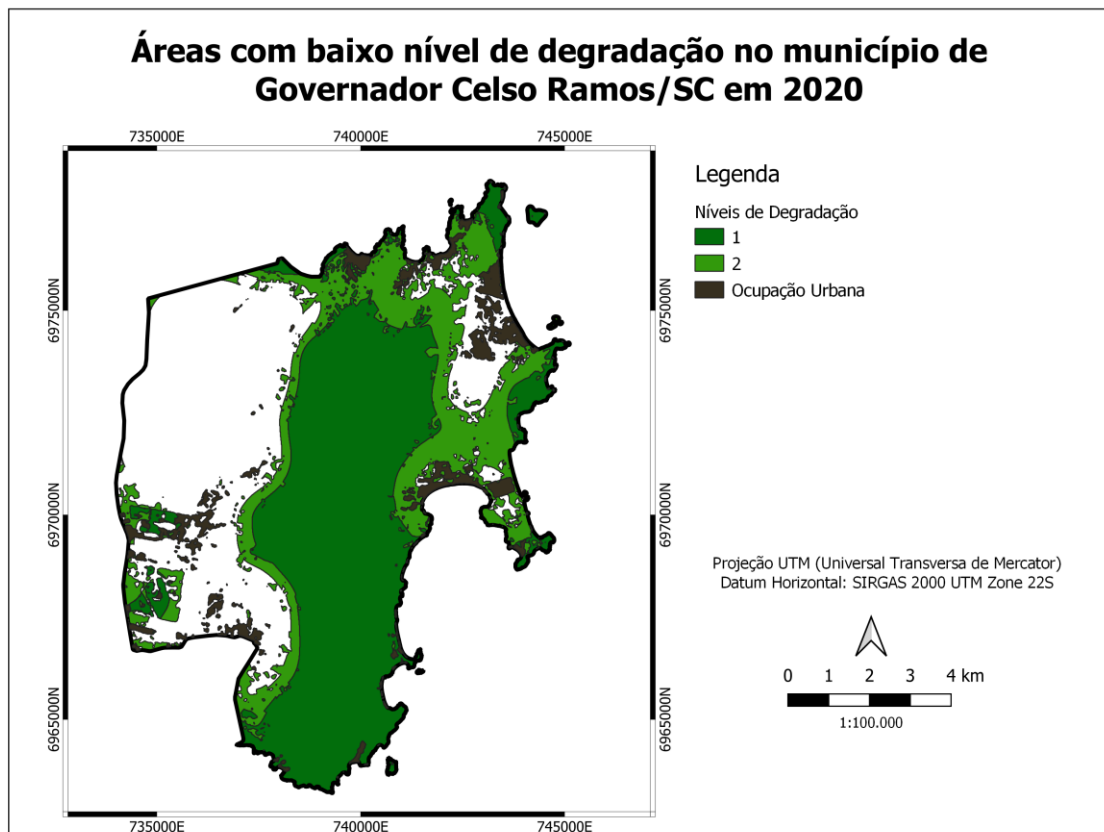


Figura 11. Locais com áreas prioritárias para ações de conservação - nível baixo de degradação

Como ações de restauração, além do reflorestamento de áreas com vegetação nativa, deve ser realizado um planejamento de arborização urbana. As árvores nativas no ambiente urbano são de extrema importância como pontos de pouso e alimentação de aves e regulação do microclima da região. Para facilitar as ações de restauração, é possível a criação de um viveiro municipal de mudas, o qual já está em processo de implementação. O viveiro possibilitará a produção de mudas nativas, as quais auxiliarão nas ações de reflorestamento e arborização, destacando que, por serem utilizadas matrizes de sementes da região, será mantida as características genéticas da população local.

Como possíveis ações de conservação estão a criação de unidades de conservação, além da fiscalização das áreas já protegidas legalmente para que suas funções ecossistêmicas sejam asseguradas. Além disso, é de extrema importância o acompanhamento e manutenção das vegetações localizadas em fragmentos pequenos, como as áreas verdes de loteamentos, já que as mesmas estão intensamente sujeitas ao efeito de borda, o que altera o microclima da área, prejudicando a vegetação.

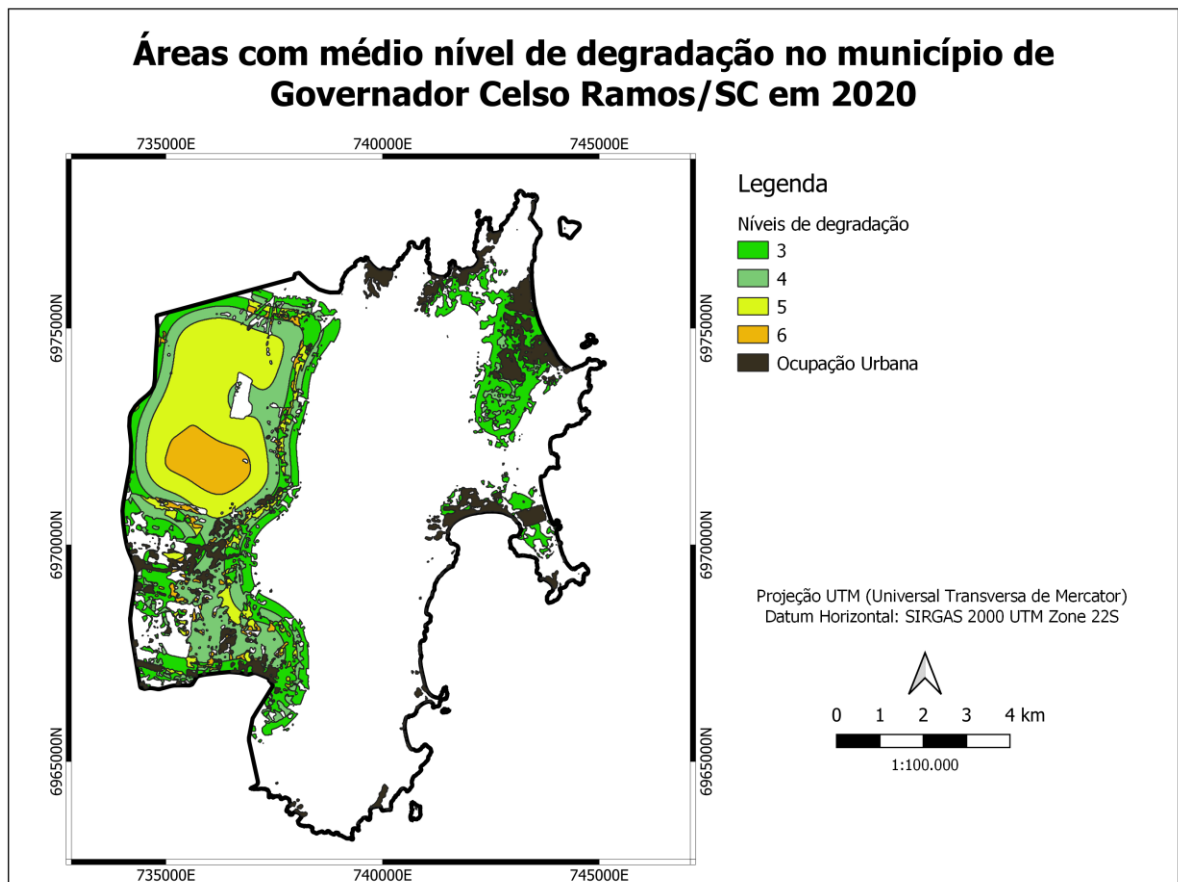


Figura 12. Locais com áreas prioritárias para ações de restauração - nível médio de degradação

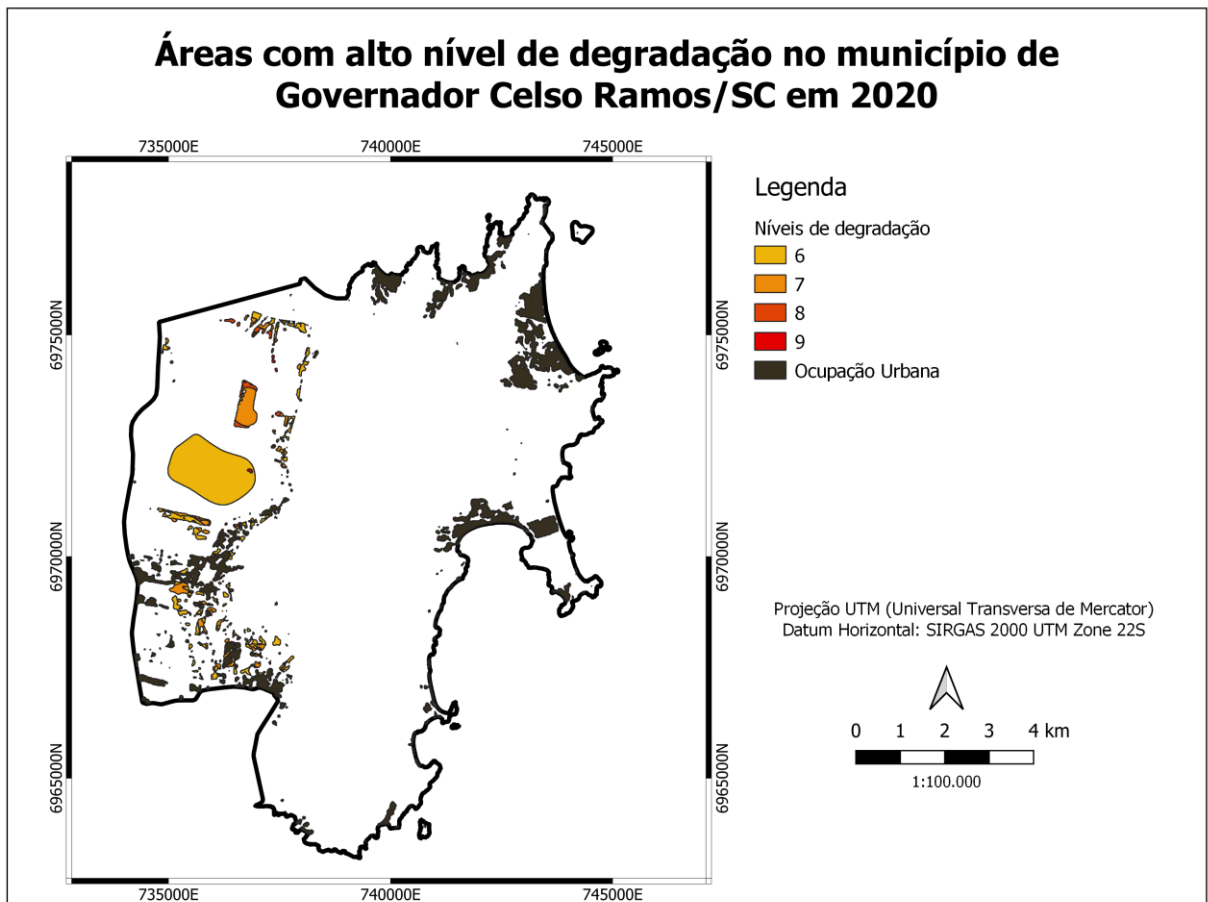


Figura 13. Locais com áreas prioritárias para ações de restauração - nível alto de degradação

### 3.3.3 Discussão

As ameaças para a vegetação de Mata Atlântica identificadas nesse estudo são as mesmas identificadas para outras vegetações nativas ao redor do mundo, como expansão da urbanização, agricultura e pecuária, implantação de rodovias e invasão de espécies exóticas (SALATA et al., 2017; ANESEYEE et al., 2020; TANG et al., 2020; Zhang et al., 2020).

Salata et al. (2017) utilizaram o modelo *Habitat Quality* do InVEST para propor uma reclassificação das áreas protegidas ambientalmente, na Itália, a partir da identificação de áreas prioritárias para conservação. Este estudo identificou que áreas de maior altitude ou declividade natural possuíam valores maiores para conservação do que áreas planas, nas quais a pressão antrópica de urbanização é maior (SALATA et al., 2017). Este resultado é similar ao identificado nesse projeto, no qual as áreas prioritárias para conservação estão localizadas nos morros do município.

O modelo *Habitat Quality* também já foi utilizado para a elaboração de outros

Planos Municipais de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica, como nos municípios do Médio Vale do Itajaí (TEIA, 2020). Nessa região, as áreas com baixo nível de degradação também foram a maioria (56%) (TEIA, 2020), apesar de um pouco mais abaixo que em Governador Celso Ramos (64%). Essas áreas são onde se concentram as florestas nativa, inclusive com uma unidade de conservação nacional – o Parque Nacional da Serra do Itajaí (TEIA, 2020).

Outros planos municipais, como no município de Florianópolis, fizeram o mapeamento das áreas para conservação e restauração a partir do conhecimento das características de cada local, como as características qualitativas das fitofisionomias vegetais, funções ecológicas desempenhadas, características geológicas, nível de pressão urbana e demandas comunitárias já conhecidas (PREFEITURA DE FLORIANÓPOLIS, 2020). Entretanto, esta metodologia é melhor aplicada em locais que já possuem grande quantidade de informações ambientais das áreas, oriundas de estudos, principalmente científicos, o que não é o caso do município de Governador Celso Ramos, no qual o sensoriamento remoto, junto a modelagem ambiental, se torna uma ótima alternativa para otimizar a gestão ambiental municipal.

### **3.4 Conclusão**

O Decreto nº 6.660, de 21 de novembro de 2008, em seu artigo 43, estipula quatro itens mínimos que devem estar presentes no Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica. Destes, já foi possível a elaboração de três deles:

- a) Diagnóstico da vegetação nativa contendo mapeamento dos remanescentes em escala de 1:50.000 ou maior;
- b) Indicação dos principais vetores de desmatamento ou destruição da vegetação nativa;
- c) Indicação de áreas prioritárias para conservação e recuperação da vegetação nativa;

Para que seja dada a continuidade à elaboração do PMMA, é necessário a realização de consulta pública com as entidades e população do município de Governador Celso Ramos, para que seja avaliado o resultado obtido até agora, sejam propostas alterações e, por fim, a definição de metas com suas respectivas

estratégias para que sejam elaboradas ações preventivas ao desmatamento e ações de conservação e utilização sustentável do bioma.

### 3.5 Referências

ANESEYEE, Abreham Berta; NOSZCZYK, Tomasz; SOROMESSA, Teshome; ELIAS, Eyasu. The InVEST Habitat Quality Model Associated with Land Use/Cover Changes: A Qualitative Case Study of the Winike Watershed in the Omo-Gibe Basin, Southwest Ethiopia. **Remote Sensing**, [S. l.], v. 12, p. 1103, 2020.

BHAGABATI, Nirmal K.; RICKETTS, Taylor; SULISTYAWAN, Thomas Barano Siswa; CONTE, Marc; ENNAANAY, Driss; HADIAN, Oki; MCKENZIE, Emily; OLWERO, Nasser; ROSENTHAL, Amy; TALLIS, Heather; WOLNY, Stacie. Ecosystem services reinforce Sumatran tiger conservation in land use plans. **Biological Conservation**, [S. l.], v. 169, p.147–156, 2014.

BRASIL. Decreto nº 6.660, de 21 de novembro de 2008. Regulamenta dispositivos da Lei no 11.428, de 22 de dezembro de 2006, que dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica. Brasília, 2008. Legislação Federal. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2008/decreto/d6660.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/decreto/d6660.htm)>. Acesso em: 05 mai. 2021.

BRASIL. Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Brasília, 2006. Legislação Federal. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2006/lei/l11428.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/l11428.htm)>. Acesso em: 05 mai. 2021.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 4 de 4 de maio de 1994. Define vegetação primária e secundária nos estágios inicial, médio e avançado de regeneração da Mata Atlântica, a fim de orientar os procedimentos de licenciamento de atividades florestais no estado de Santa Catarina. Brasília, 1994. Resolução Federal. Disponível em: < <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=145>>. Acesso em: 18 mai. 2021.

CHOUDHARY, Akshita; DEVAL, Kundan; JOSHI, Pawan Kumar. Study of habitat

quality assessment using geospatial techniques in Keoladeo National Park, India. **Environmental Science and Pollution Research**, [S. l.], v. 28, p. 14105–14114, 2021.

CONGALTON, Russell G. Accuracy assessment and validation of remotely sensed and other spatial information. **International Journal of Wildland Fire**, [S. l.], v.10, p. 321-328, 2001.

FARIA, Ana Clara de Oliveira; GALVANI, Flaviane; COUTO, Edivando Vitor do. Métricas de ecologia da paisagem aplicadas em fragmentos da mata atlântica: o caso do município de Saudades do Iguauçu. **GEOMAE**, Campo Mourão, v.8, p. 94-102, 2017.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica, período 2017-2018. São Paulo, 2019. 65f. Disponível em: <<https://www.sosma.org.br/wp-content/uploads/2019/10/Atlas-mata-atlanticaDIGITAL.pdf>>. Acesso em: 05 mai. 2021.

JÚNIOR, Eduardo Marques Santos; FERRARI, Stephen Francis; BELTRÃO-MENDES, Raone; BITENCURTI, Daniela Pinheiro; CARVALHO, Thiago Morato de. Mapeamento e caracterização dos fragmentos florestais na bacia hidrográfica do baixo Rio São Francisco, Sergipe. **Revista Geográfica Acadêmica**, Boa Vista, v.11, n.1, p. 104-129, 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Roteiro para a elaboração e implementação dos planos municipais de Conservação e Recuperação da mata atlântica. Brasília, 2017. 72f.

MYERS, Norman; MITTERMEIER, Russell A.; MITTERMEIER, Cristina G.; FONSECA, Gustavo A. B. da; KENT, Jennifer. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, [S. l.], v. 403, p. 853-858, fev. 2000.

NOI, Phan Thanh; KAPPAS, Martin. Comparison of random forest, k-nearest

neighbor, and support vector machine classifiers for land cover classification using Sentinel-2 imagery. **Sensors**, Basileia, v. 18, n. 1, p. 18, 2018.

PAZ, João Pedro Santos; VIEIRA, Celso Voos. Evolução do uso e cobertura do solo no município de São Francisco do Sul – Estado de Santa Catarina. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, v. 74, n. 1, p. 28-36. 2018.

PREFEITURA DE FLORIANÓPOLIS; FLORAM; IPUF. Plano Municipal da Mata Atlântica: Florianópolis – Santa Catarina. Florianópolis, 2020. 160f. Disponível em: <<http://www.pmf.sc.gov.br/sistemas/pmma/>>. Acesso em: 20 ago. 2021.

PREIS, Christian Milanez; FRANCO, Davide; VARELA, Sophia Cavalcante. Avaliação do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Itajaí e simulação para 2027. **Revista Geociências**, Rio Claro, v. 40, n. 02, p. 407-414, 2021.

SALATA, Stefano; RONCHI, Silvia; ARCIDIACONO, Andrea; GHIRARDELLI, Federico. Mapping Habitat Quality in the Lombardy Region, Italy. **One Ecosystem**, [S. l.], v.2, p.11402, 2017.

SCHAADT, Suélen Schramm. **Caracterização ecológica da paisagem no município de Ilhota-SC**. 2015. 46f. Monografia de especialização (Pós-graduação em Gestão Ambientam em Municípios) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2015.

SOTHE, Camile; LIESENBERG, Veraldo; ALMEIDA, Cláudia Maria de; SCHIMALSKI, Marcos Benedito. Abordagens para classificação do estágio sucessional da vegetação do Parque Nacional de São Joaquim empregando imagens LANDSAT-8 e RAPIDEYE. **Boletim de Ciências Geodésicas**, [S. l.], v. 23, n. 3, p. 389-404, 2017.

TANG, Feng; FU, Meichen/ WANG Li, ZHANG, Pengtao. Land-use change in Changli County, China: Predicting its spatio-temporal evolution in habitat quality. **Ecological Indicators**, [S. l.], v. 117, p. 106719, 2020.

TEIA, Biodiversidade e Negócios. Plano Municipal Da Mata Atlântica (PMMA) Ilhota

– SC. Ilhota, 2020. 79f.

ZHANG, Hong; ZHANG, Chi; HUA, Tao; ZHANG, Min; RENA, Xiaowei; HOU, Lei. Exploration of roadway factors and habitat quality using InVEST. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, [S.l.], v. 87, p. 102551, 2020.



#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir desse estudo foi possível utilizar imagens de satélite para avaliar os remanescentes florestais de Governador Celso Ramos, tanto temporalmente quanto espacialmente.

A partir dos índices de vegetação, observou-se a ocorrência de sazonalidade na Mata Atlântica da região, com valores menores no inverno e maiores no verão, sendo que o EVI2 foi superior nessa avaliação que o NDVI. Ainda, encontrou-se correlação positiva com os índices de vegetação e os elementos climáticos temperatura média e precipitação acumulada. Entretanto, essa correlação foi menor para os remanescentes menores, indicando que possivelmente o efeito de borda, que torna esses fragmentos menos estáveis, esteja impactando na sazonalidade também.

Para melhores compreensões da tendência da sazonalidade para o futuro, seria necessário realizar uma análise com série temporal mais longa, sendo nesse caso também possível relacioná-la com sistemas climáticos como o El Niño Oscilação do Sul (ENOS). Ainda, esse acompanhamento permitirá observar os efeitos da fragmentação nos remanescentes pequenos, concluindo se estão em tendência de desenvolvimento ou diminuição da vegetação.

Em relação a análise espacial, foi possível delimitar as áreas de remanescentes de vegetação nativa, além de identificar áreas prioritárias para a recuperação e conservação do bioma. Esses dados deverão ser apresentados ao Conselho Municipal de Meio Ambiente de Governador Celso Ramos (CONDEMA), para que iniciem a elaboração do Plano Municipal de Conservação e Restauração da Mata Atlântica no município.



## 5 REFERÊNCIAS

ANDRADE, Shirlei Cardoso; FERREIRA, Alex Franco. Mapeamento geoecológico da susceptibilidade à ocorrência de incêndios do Parque Estadual da Serra da Concórdia – Valença RJ. **Revista Teccen**, Valença, v. 12, n.2, p.45-58, 2019.

BARBOSA, Humberto Alves; KUMAR, T.V. Lakshmi. Influence of rainfall variability on the vegetation dynamics over Northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**, [S.l.], v. 124, p.377-387, 2016.

BEZERRA, Ulisses Alencar; OLIVEIRA, Leidjane Maria Maciel de; CANDEIAS, Ana Lúcia Bezerra; SILVA, Bernardo Barbosa da; LEITE, Antônio Celso Leite de Sousa; SILVA, Luisa Thaynara Muricy de Souza. Comparativo do Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) entre os Sensores OLI-Satélite Landsat-8 e MSI-Satélite Sentinel-2 em Região Semiárida. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 41, n. 3, p. 167-177, 2018.

BITTENCOURT, Guilherme Fernandes de Moraes; CASTIGLIONE, Luiz Henrique Guimarães; STRAUCH, Julia Celia Mercedes. Conflito do uso e cobertura da terra em áreas de preservação permanente na cidade de Niterói, RJ. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, n. 33, p. 30695, 2018.

BRASIL. Decreto nº 5.300 de 7 de dezembro de 2004. Regulamenta a Lei no 7.661, de 16 de maio de 1988, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC, dispõe sobre regras de uso e ocupação da zona costeira e estabelece critérios de gestão da orla marítima, e dá outras providências. Brasília, 2004. Legislação Federal. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/decreto/d5300.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5300.htm)> Acesso em: 20 ago. 2021.

BRASIL. Decreto nº 6.660, de 21 de novembro de 2008. Regulamenta dispositivos da Lei no 11.428, de 22 de dezembro de 2006, que dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica. Brasília, 2008. Legislação Federal. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2008/decreto/d6660.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/decreto/d6660.htm)> Acesso em: 05 mai. 2021.

BRASIL. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. Brasília, 1965. Legislação Federal. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l4771.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l4771.htm)>. Acesso em: 20 ago. 2021.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília, 2000. Legislação Federal. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9985.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm)>. Acesso em: 20 ago. 2021.

BRASIL. Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Brasília, 2006. Legislação Federal. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2006/lei/l11428.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/l11428.htm)>. Acesso em: 05 mai. 2021.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, 2012. Legislação Federal. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm)>. Acesso em: 20 ago. 2021.

CARVALHO, Tiago Paiva de; AGUIAR, Alexandre De Oliveira. Análise crítica do Plano Municipal De Conservação e Recuperação Da Mata Atlântica do município De Sorocaba (SP). In: XVIII Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, 2016. São Paulo, 2016.

CEMIN, Gisele; DUCATI, Jorge Ricardo. Modelos estocásticos aplicados à avaliação dinâmica da paisagem florestal de remanescentes de mata atlântica no Município de Caxias do Sul-RS. **Revista Árvore**, Viçosa, v.39, p.1019-1030, 2015.

COSTA, Letícia Celise Ballejo da; GUASSELLI, Laurindo Antonio. Dinâmica sazonal

de remanescentes da mata atlântica, a partir de séries temporais NDVI/MODIS. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, v. 30, p. 214-239, 2017.

ESA – European Space Agency. **Sentinel-2**. 2021a. Disponível em: <<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>>. Acesso em: 20 ago. 2021.

ESA – European Space Agency. **MultiSpectral Instrument (MSI) Overview**. 2021b. Disponível em: <<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/msi-instrument>>. Acesso em: 20 ago. 2021.

FABRIS, Luiz Henrique Fares. **Baía dos Golfinhos: subsídios para o uso sustentável dos recursos naturais em uma unidade de conservação de uso direto: um enfoque participativo**. 1997. 97f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

FARIA, Erick; TEIXEIRA, Manuella. Contribuições da Geografia e do Sensoriamento Remoto como ferramenta auxiliar no planejamento espacial do Turismo, um estudo de caso sobre o Parque Nacional da Serra do Cipó-MG. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v.39, n.2, p. 285-298, 2017.

FARIA, Ana Clara de Oliveira; GALVANI, Flaviane; COUTO, Edivando Vitor do. Métricas de ecologia da paisagem aplicadas em fragmentos da mata atlântica: o caso do município de Saudades do Iguaçu. **GEOMAE**, Campo Mourão, v.8, p. 94-102, 2017.

FERREIRA, Laerte Guimarães; FERREIRA, Nilson Clementino; FERREIRA, Manuel Eduardo. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado-da-arte. **Acta scientiarum. Biological sciences**, Maringá, v. 30, n. 4, p. 379-390, 2008.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica, período 2017-2018. São Paulo, 2019. 65f. Disponível em: <<https://www.sosma.org.br/wp-content/uploads/2019/10/Atlas-mata-atlanticaDIGITAL.pdf>>. Acesso em: 05 mai. 2021.

GAO, Xiang; HUETE, Alfredo R; NI, Wenge; MIURA, Tomoaki. Optical–Biophysical Relationships of Vegetation Spectra without Background Contamination. **Remote Sensing of Environment**, Nova York, v. 74, p. 609-620, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Brasileiro de 2021**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sc/governador-celso-ramos.html>>. Acesso em: 11 out. 2021.

IPCC. **Summary for Policymakers**. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. 2021.

JIANG, Zhangyan; HUETE, Alfredo R.; DIDAN, Kamel; MIURA, Tomoaki. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. **Remote Sensing of Environment**, Nova York, v. 112, p. 3833-3845, 2008.

JÚNIOR, Eduardo Marques Santos; FERRARI, Stephen Francis; BELTRÃO-MENDES, Raone; BITENCURTI, Daniela Pinheiro; CARVALHO, Thiago Morato de. Mapeamento e caracterização dos fragmentos florestais na bacia hidrográfica do baixo Rio São Francisco, Sergipe. **Revista Geográfica Acadêmica**, Boa Vista, v.11, n.1, p. 104-129, 2017.

KÄFER, Pâmela Suélen; REX, Franciel Eduardo. Avaliação espectral e temporal de remanescentes da mata atlântica com dados SPOT-VGT e variáveis meteorológicas. **BIOFIX Scientific Journal**, Curitiba, v. 5, n. 1, p. 13-22, 2020.

MEIRELLES, Evelyn De Oliveira; DOURADO, Francisco; DA COSTA, Vivian Castilho. Análise multicritério para mapeamento da suscetibilidade a movimentos de

massa na bacia do rio Paqueta-RJ. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, n. 33, p. 26037, 2018.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Roteiro para a elaboração e implementação dos planos municipais de Conservação e Recuperação da mata atlântica. Brasília, 2017. 72f.

MIRANDA, Tatiana Mota; HANAZAKI, Natalia. Conhecimento e uso de recursos vegetais de restinga por comunidades das ilhas do Cardoso (SP) e de Santa Catarina (SC), Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 22, n.1, p.203-215. 2008.

MYERS, Norman; MITTERMEIER, Russell A.; MITTERMEIER, Cristina G.; FONSECA, Gustavo A. B. da; KENT, Jennifer. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, [S. l.], v. 403, p. 853-858, 2000.

NETO, Roberto Silverio; BENTO, Monique de Carvalho; MENEZES, Sady Junior Martins da Costa de; ALMEIDA, Fabio Souto. Caracterização da Cobertura Florestal de Unidades de Conservação da Mata Atlântica. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 22, n.1, p.32-41, 2015.

NORA, Elói Lennon Dalla; MARTINI, Denise Zanatta. Análise da dinâmica sazonal de fitofisionomias do bioma Mata Atlântica com base em índices de vegetação do sensor MODIS/TERRA. **Ambiência**, Guarapuava, v. 6, n. 1, p. 97-108, 2010.

OLIVEIRA, Brayan Ricardo de; COSTA, Elaine Lopes da; CARVALHO-RIBEIRO, Sônia Maria; MAIA-BARBOSA, Paulina Maria. Land use dynamics and future scenarios of the Rio Doce State Park buffer zone, Minas Gerais, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, [S. l.], v. 192, n. 1, p. 1-12, 2019.

PECCATIELLO, Ana Flávia Oliveira. Políticas públicas ambientais no Brasil: da administração dos recursos naturais (1930) à criação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (2000). **Desenvolvimento e Meio ambiente**, Curitiba, v. 24, p. 71-82, 2011.

PEIXE, Sarah Petrykowski; MELLO, Ricardo Silva Pereira. Planos municipais de Mata Atlântica: aspectos legais, desafios e possibilidades à sua elaboração e implementação. **Revista Eletrônica Científica Da UERGS**, Bagé, v. 6, n. 3, p. 259-277, 2020.

PILLAR, V. D. Clima e vegetação. **UFRGS, Departamento de Botânica**, Porto Alegre, 11f. 1995.

RIBEIRO, Glaucus Vinicius Biasetto. A origem histórica do conceito de Área de Preservação Permanente no Brasil. **Revista Thema**, Pelotas, v. 8, n. 1, p. 1-8. 2011.

RUDORFF, Bernardo FT. Produtos de sensoriamento remoto. **Divisão de Sensoriamento Remoto - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais–INPE**, São José dos Campos, 2016. Disponível em: <<http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>>. Acesso em: 20 ago. 2021.

SAUSEN, Tania Maria. Sensoriamento remoto e suas aplicações para recursos naturais. **Divisão de Sensoriamento Remoto - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais–INPE**, São José dos Campos, 2016. Disponível em: <<http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>>. Acesso em: 20 ago. 2021.

SILVA, Rosane Gomes da; SANTOS, Alexandre Rosa dos; PELÚZIO, João Batista Esteves; FIEDLER, Nilton César; JUVANHOL, Ronie Silva; SOUZA, Kaíse Barbosa de; BRANCO, Elvis Ricardo Figueira. Vegetation trends in a protected area of the Brazilian Atlantic forest. **Ecological Engineering**, [S. l.], v. 162 p. e106180, 2021.

SOTHE, Camile; LIESENBERG, Veraldo; ALMEIDA, Cláudia Maria de; SCHIMALSKI, Marcos Benedito. Abordagens para classificação do estágio sucessional da vegetação do Parque Nacional de São Joaquim empregando imagens LANDSAT-8 e RAPIDEYE. **Boletim de Ciências Geodésicas**, [S. l.], v. 23, n. 3, p. 389-404, 2017.

SOUZA, Thais Cristina de Oliveira; DELGADO, Rafael Coll; MAGISTRALI, Iris Cristiane; SANTOS, Gilsonley Lopes dos; CARVALHO, Daniel Costa de; TEODORO,



Paulo Eduardo; SILVA JÚNIOR, Carlos Antônio da; CAÚLA, Rodrigo Hotzz. Spectral trend of vegetation with rainfall in events of El Niño-Southern Oscillation for Atlantic Forest biome, Brazil. **Environmental Monitoring & Assessment**, [S. l.], v.190, p. 688, 2018.

STEFFEN, Carlos Alberto. Introdução ao sensoriamento remoto. **Divisão de Sensoriamento Remoto - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais–INPE**, São José dos Campos, 2016. Disponível em: <<http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>>. Acesso em: 20 ago. 2021.

TEIXEIRA, Gabriela Miranda; FIGUEIREDO, Pablo Hugo Alves; FERRAZ, Silvio Frosini de Barros; SALEMI, Luiz Felipe; RANZINI, Maurício; RIZZI, Nivaldo Eduardo. Análise de classificadores de estágios sucessionais em um fragmento de Mata Atlântica. **BIOFIX Scientific Journal**, Curitiba, v. 4 n. 2 p. 88-96, 2019.

VIEIRA, Elvis Lima; SOUZA, Girlene Santos de; SANTOS, Anacleto Ranulfo dos; SILVA, Jain dos Santos. **Manual de fisiologia vegetal**. São Luis, EDUFMA, 2010.

WEIER, John; HERRING, David. Measuring vegetation (NDVI & EVI). **NASA Earth Observatory**, 2000. Disponível em: <[https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation/measuring\\_vegetation\\_2.php](https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php)>. Acesso em: 05 mai. 2021.

**ANEXO 1**

Tabela 16. Sumarização da legislação ambiental utilizada nesta dissertação

<b>Legislação</b>	<b>Disposição</b>
Lei Federal nº 4.771, de 15 de setembro de 1965	Institui o novo Código Florestal
Resolução CONAMA nº 4 de 4 de maio de 1994	Define vegetação primária e secundária nos estágios inicial, médio e avançado de regeneração da Mata Atlântica, a fim de orientar os procedimentos de licenciamento de atividades florestais no estado de Santa Catarina
Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000	Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências
Decreto Federal nº 5.300 de 7 de dezembro de 2004	Regulamenta a Lei no 7.661, de 16 de maio de 1988, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC, dispõe sobre regras de uso e ocupação da zona costeira e estabelece critérios de gestão da orla marítima, e dá outras providências
Lei Federal nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006	Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências
Decreto Federal nº 6.660, de 21 de novembro de 2008	Regulamenta dispositivos da Lei no 11.428, de 22 de dezembro de 2006, que dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica
Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012	Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências

## ANEXO 2

Tabela 17. Identificação das cenas do satélite Sentinel-2 utilizadas para cálculos de índices de vegetação

Identificador	Data do imageamento	Órbita relativa	Satélite		Nível de processamento
			Nome	Número	
S2A_MSIL1C_20160420T132212_N0201_R038_T22JGQ_20160420T132243	20/04/2016	38	Sentinel-2	A	Level 1C
S2A_MSIL1C_20160609T132242_N0202_R038_T22JGQ_20160609T132750	09/06/2016	38	Sentinel-2	A	Level 1C
S2A_MSIL1C_20160828T132232_N0204_R038_T22JGQ_20160828T132740	28/08/2016	38	Sentinel-2	A	Level 1C
S2A_MSIL1C_20161216T132232_N0204_R038_T22JGQ_20161216T132625	06/12/2016	38	Sentinel-2	A	Level 1C
S2A_MSIL1C_20170105T132222_N0204_R038_T22JGQ_20170105T132220	05/01/2017	38	Sentinel-2	A	Level 1C
S2A_MSIL1C_20170515T132241_N0205_R038_T22JGQ_20170515T132236	15/05/2017	38	Sentinel-2	A	Level 1C
S2B_MSIL1C_20170818T132229_N0205_R038_T22JGQ_20170818T132230	18/08/2017	38	Sentinel-2	B	Level 1C
S2A_MSIL1C_20170912T132231_N0205_R038_T22JGQ_20170912T132230	12/09/2017	38	Sentinel-2	A	Level 1C
S2B_MSIL1C_20170927T132219_N0205_R038_T22JGQ_20170927T132218	27/09/2017	38	Sentinel-2	B	Level 1C
S2A_MSIL1C_20171111T132231_N0206_R038_T22JGQ_20171111T145537	11/11/2017	38	Sentinel-2	A	Level 1C
S2B_MSIL1C_20171116T132219_N0206_R038_T22JGQ_20171116T195014	16/11/2017	38	Sentinel-2	B	Level 1C
S2A_MSIL1C_20180130T132231_N0206_R038_T22JGQ_20180130T164502	30/01/2018	38	Sentinel-2	A	Level 1C
S2B_MSIL1C_20180306T132229_N0206_R038_T22JGQ_20180306T183211	06/03/2018	38	Sentinel-2	B	Level 1C
S2A_MSIL1C_20180311T132231_N0206_R038_T22JGQ_20180311T164447	11/03/2018	38	Sentinel-2	A	Level 1C
S2A_MSIL1C_20180420T132231_N0206_R038_T22JGQ_20180420T150740	20/04/2018	38	Sentinel-2	A	Level 1C
S2B_MSIL1C_20180425T132229_N0206_R038_T22JGQ_20180425T184613	25/04/2018	38	Sentinel-2	B	Level 1C
S2A_MSIL1C_20180430T132241_N0206_R038_T22JGQ_20180430T184700	30/04/2018	38	Sentinel-2	A	Level 1C
S2B_MSIL1C_20180515T132229_N0206_R038_T22JGQ_20180515T153724	15/05/2018	38	Sentinel-2	B	Level 1C
S2A_MSIL1C_20180520T132241_N0206_R038_T22JGQ_20180520T151207	20/05/2018	38	Sentinel-2	A	Level 1C
S2A_MSIL1C_20180609T132231_N0206_R038_T22JGQ_20180609T150503	09/06/2018	38	Sentinel-2	A	Level 1C
S2B_MSIL1C_20180614T132229_N0206_R038_T22JGQ_20180614T182839	14/06/2018	38	Sentinel-2	B	Level 1C

Continuação Tabela 17.

Identificador	Data do imageamento	Órbita Relativa	Satélite		Nível de processamento
			Nome	Número	
S2B_MSIL1C_20180714T132229_N0206_R038_T22JGQ_20180714T182642	14/07/2018	38	Sentinel-2	B	Level 1C
S2A_MSIL1C_20180719T132231_N0206_R038_T22JGQ_20180719T151015	19/07/2018	38	Sentinel-2	A	Level 1C
S2B_MSIL1C_20180823T132229_N0206_R038_T22JGQ_20180823T183138	23/08/2018	38	Sentinel-2	B	Level 1C
S2B_MSIL1C_20180922T132229_N0206_R038_T22JGQ_20180922T183847	22/09/2018	38	Sentinel-2	B	Level 1C
S2A_MSIL1C_20181116T132231_N0207_R038_T22JGQ_20181116T151036	16/11/2018	38	Sentinel-2	A	Level 1C
S2A_MSIL1C_20181126T132231_N0207_R038_T22JGQ_20181126T145648	26/11/2018	38	Sentinel-2	A	Level 1C
S2B_MSIL1C_20181221T132229_N0207_R038_T22JGQ_20181221T182020	21/12/2018	38	Sentinel-2	B	Level 1C
S2B_MSIL1C_20190130T132239_N0207_R038_T22JGQ_20190130T145542	30/01/2019	38	Sentinel-2	B	Level 1C
S2A_MSIL1C_20190224T132231_N0207_R038_T22JGQ_20190224T164104	24/02/2019	38	Sentinel-2	A	Level 1C
S2A_MSIL1C_20190415T132241_N0207_R038_T22JGQ_20190415T150137	15/04/2019	38	Sentinel-2	A	Level 1C
S2B_MSIL1C_20190430T132239_N0207_R038_T22JGQ_20190430T141126	30/04/2019	38	Sentinel-2	B	Level 1C
S2A_MSIL1C_20190604T132241_N0207_R038_T22JGQ_20190604T163345	04/06/2019	38	Sentinel-2	A	Level 1C
S2B_MSIL1C_20190619T132239_N0207_R038_T22JGQ_20190619T150157	19/06/2019	38	Sentinel-2	B	Level 1C
S2B_MSIL1C_20190709T132239_N0208_R038_T22JGQ_20190709T145248	09/07/2019	38	Sentinel-2	B	Level 1C
S2B_MSIL1C_20190808T132239_N0208_R038_T22JGQ_20190808T163402	08/08/2019	38	Sentinel-2	B	Level 1C
S2A_MSIL1C_20190823T132241_N0208_R038_T22JGQ_20190823T150104	23/08/2019	38	Sentinel-2	A	Level 1C
S2B_MSIL1C_20190927T132239_N0208_R038_T22JGQ_20190927T145735	27/09/2019	38	Sentinel-2	B	Level 1C
S2A_MSIL1C_20191012T132241_N0208_R038_T22JGQ_20191012T145933	12/10/2019	38	Sentinel-2	A	Level 1C
S2B_MSIL1C_20191116T132229_N0208_R038_T22JGQ_20191116T140339	16/11/2019	38	Sentinel-2	B	Level 1C
S2B_MSIL1C_20191226T132229_N0208_R038_T22JGQ_20191226T145220	26/12/2019	38	Sentinel-2	B	Level 1C
S2B_MSIL1C_20200214T132229_N0209_R038_T22JGQ_20200214T140720	14/02/2020	38	Sentinel-2	B	Level 1C
S2A_MSIL1C_20200310T132231_N0209_R038_T22JGQ_20200310T150046	10/03/2020	38	Sentinel-2	A	Level 1C
S2A_MSIL1C_20200320T132231_N0209_R038_T22JGQ_20200320T145948	20/03/2020	38	Sentinel-2	A	Level 1C

Continuação Tabela 17.

Identificador	Data do imageamento	Órbita Relativa	Satélite		Nível de processamento
			Nome	Número	
S2B_MSIL1C_20200404T132229_N0209_R038_T22JGQ_20200404T140600	04/04/2020	38	Sentinel-2	B	Level 1C
S2B_MSIL1C_20200524T132239_N0209_R038_T22JGQ_20200524T145621	24/05/2020	38	Sentinel-2	B	Level 1C
S2A_MSIL1C_20200529T132241_N0209_R038_T22JGQ_20200529T145937	29/05/2020	38	Sentinel-2	A	Level 1C
S2B_MSIL1C_20200603T132239_N0209_R038_T22JGQ_20200603T163853	03/06/2020	38	Sentinel-2	B	Level 1C
S2A_MSIL1C_20200608T132241_N0209_R038_T22JGQ_20200608T145941	08/06/2020	38	Sentinel-2	A	Level 1C
S2B_MSIL1C_20200723T132239_N0209_R038_T22JGQ_20200723T151048	23/07/2020	38	Sentinel-2	B	Level 1C
S2B_MSIL1C_20200802T132239_N0209_R038_T22JGQ_20200802T140007	02/08/2020	38	Sentinel-2	B	Level 1C
S2A_MSIL1C_20200807T132241_N0209_R038_T22JGQ_20200807T151207	07/08/2020	38	Sentinel-2	A	Level 1C
S2B_MSIL1C_20200822T132239_N0209_R038_T22JGQ_20200822T151122	22/08/2020	38	Sentinel-2	B	Level 1C
S2A_MSIL1C_20200827T132241_N0209_R038_T22JGQ_20200827T164939	27/08/2020	38	Sentinel-2	A	Level 1C
S2A_MSIL1C_20200926T132241_N0209_R038_T22JGQ_20200926T165200	26/09/2020	38	Sentinel-2	A	Level 1C
S2B_MSIL1C_20201001T132239_N0209_R038_T22JGQ_20201001T155149	01/10/2020	38	Sentinel-2	B	Level 1C
S2B_MSIL1C_20201230T132229_N0209_R038_T22JGQ_20201230T150840	30/12/2020	38	Sentinel-2	B	Level 1C
S2B_MSIL1C_20210109T132229_N0209_R038_T22JGQ_20210109T150729	09/01/2021	38	Sentinel-2	B	Level 1C
S2B_MSIL1C_20210208T132229_N0209_R038_T22JGQ_20210208T150822	08/02/2021	38	Sentinel-2	B	Level 1C
S2B_MSIL1C_20210218T132229_N0209_R038_T22JGQ_20210218T183055	18/02/2021	38	Sentinel-2	B	Level 1C
S2A_MSIL1C_20210223T132231_N0209_R038_T22JGQ_20210223T151118	23/02/2021	38	Sentinel-2	A	Level 1C
S2B_MSIL1C_20210310T132229_N0209_R038_T22JGQ_20210310T165135	10/03/2021	38	Sentinel-2	B	Level 1C
S2B_MSIL1C_20210330T132229_N0300_R038_T22JGQ_20210330T150753	30/03/2021	38	Sentinel-2	B	Level 1C