

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

Paulo Afonso da Rosa

**DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DE FRAGMENTOS FLORESTAIS
EM DUAS MICRORREGIÕES DO NOROESTE DO RIO GRANDE DO
SUL**

Santa Maria, RS
2016

Paulo Afonso da Rosa

**DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DE FRAGMENTOS FLORESTAIS EM DUAS
MICRORREGIÕES DO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Área de concentração Dinâmicas da Natureza e Qualidade Ambiental do Cone Sul, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Geografia**.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Marcelo Breunig
Co-orientadora: Prof.^a Dr.^a Cláudia Maria de Almeida

Santa Maria, RS
2016

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Rosa, Paulo Afonso da
Dinâmica espaço-temporal de fragmentos florestais em
duas microrregiões do noroeste do Rio Grande do Sul /
Paulo Afonso da Rosa.-2016.
129 p.; 30cm

Orientador: Fábio Marcelo Breunig
Coorientadora: Cláudia Maria de Almeida
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de
Pós-Graduação em Geografia e Geociências, RS, 2016

1. Fragmentação florestal 2. Dinâmica de fragmentos
florestais 3. Microrregiões 4. Sensoriamento remoto I.
Breunig, Fábio Marcelo II. Almeida, Cláudia Maria de
III. Título.

© 2016

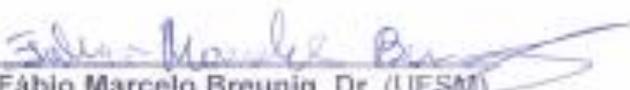
Todos os direitos autorais reservados a Paulo Afonso da Rosa. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.
E-mail: pauloafonso.darosa@gmail.com

Paulo Afonso da Rosa

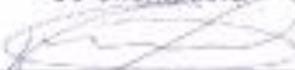
DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DE FRAGMENTOS FLORESTAIS EM DUAS
MICRORREGIÕES DO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Área de concentração Dinâmicas da Natureza e Qualidade Ambiental do Cone Sul, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Geografia**

Aprovado em 01 de março de 2016:


Fábio Marcelo Breunig, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)


Cláudia Maria de Almeida, Dra. (INPE)
Co-orientadora


Gabriel Pereira, Dr. (UFSJ)


Renato Beppler Spohr, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS
2016

DEDICATÓRIA

A meu irmão José Augusto da Rosa (*in memoriam*), com quem passei os melhores momentos da minha vida, e hoje deixa muitas saudades. Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da Vida, por me conceder saúde e coragem para enfrentar os desafios.

Aos meus pais, José e Vera Maria, pela criação, ensinamentos de vida, e pelo sempre incentivo aos meus estudos.

A minha namorada Anilce Angela pelo Amor, incentivo, pelas palavras de conforto em momentos difíceis, pela paciência e compreensão, por estar ao meu lado sempre.

A meus irmãos Cláudia Regina e José Augusto (*in memoriam*), pelo exemplo de honestidade, dedicação e profissionalismo.

A todos os meus amigos e colegas de mestrado, pela convivência, pelo debate de assuntos geográficos, pelo conhecimento construído nessa caminhada.

Ao meu grande amigo Eder Paulo, sempre presente em minha vida, pelas conversas e pelos conselhos.

Ao Prof. Dr. Fábio Marcelo Breunig e Prof.^a Dr.^a Cláudia Maria de Almeida por me orientarem com seus ensinamentos, pela confiança, atenção e oportunidade de realizar esse estudo.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, em particular aos docentes, por todo o aprendizado construído nesses dois anos.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior – CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

RESUMO

DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DE FRAGMENTOS FLORESTAIS EM DUAS MICRORREGIÕES DO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL

AUTOR: Paulo Afonso da Rosa
ORIENTADOR: Fábio Marcelo Breunig
CO-ORIENTADORA: Cláudia Maria de Almeida

A compreensão da dinâmica da paisagem envolve o entendimento das mudanças no uso e ocupação da terra. Nesse processo, a fragmentação de florestas é muito comum. Nesse sentido, o objetivo do trabalho foi avaliar, em uma perspectiva multitemporal, a dinâmica de fragmentos florestais das microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos - RS, face a conjuntura da população rural e aspectos geomorfológicos. O período de estudo foi de 1985 a 2014, e abrange área de 9.046,9 km², que se localiza no Bioma Mata Atlântica. Foram adquiridas imagens do satélite Landsat 5 (sensor *Thematic Mapper*) e Landsat 8 (sensor *Operational Land Imager*) das datas de 1985, 1994, 2005 e 2014. A classificação das imagens se deu por fotointerpretação manual. Os fragmentos florestais foram mapeados e divididos em classes de tamanho: muito pequenos (< 5 ha), pequenos (5 – 10 ha), médios (10 – 100 ha) e grandes (> 100 ha). Na análise socioeconômica, foram obtidos dados de população rural (1980 a 2010) e dados de produção vegetal (madeira para carvão, lenha e tora). Para a análise geomorfológica, foram adquiridas imagens do sensor *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER) - *Global Digital Elevation Model* (GDEM), e gerados três mapas: declividade, hipsometria e orientação de vertentes. Para a análise da dinâmica dos fragmentos, foram inseridas algumas métricas de paisagem. No que se refere a cobertura arbórea, foi identificado um aumento de área de 50,4% entre 1985 e 2014, enquanto o número de fragmentos florestais teve um aumento de 56,2%. Grande parte dos fragmentos florestais mapeados possui tamanho muito pequeno e estão localizados em terrenos ondulados e fortemente ondulados, em altitudes entre 300 e 450 m e com suas vertentes orientadas a leste e sul. Foi identificada uma queda gradual nos índices de população rural de todos os municípios constituintes das duas microrregiões, o que indica um aumento do êxodo rural. A produção madeireira para carvão, lenha e tora apresentou, em ambas as microrregiões, um abandono ou diminuição na obtenção desses produtos pelo método da extração vegetal, entretanto, verificou-se um aumento da produção utilizando técnicas silviculturais. Em praticamente todos os municípios, foi constatado aumento da cobertura florestal entre 1985 e 2014, em maior ou menor proporção. Ao cruzar os dados de população rural com o índice de cobertura arbórea dos municípios, verificou-se uma tendência de aumento da cobertura florestal à medida que diminui a população rural. Os mapas de transição da fragmentação florestal apresentaram ganho de área de 1.258,1 km², perda de área de 433,4 km² e áreas de fragmentação constantes de 1.081,3 km². De acordo com os cálculos obtidos por meio das métricas de paisagem, o número de fragmentos, bem como seu tamanho, apresentaram um aumento no decorrer do tempo, ocupando cada vez mais a área da paisagem. Entretanto, a paisagem da região apresenta-se muito fragmentada, provavelmente ocasionada pela regeneração natural da floresta. Em geral, os fragmentos possuem formas regulares e perímetros complexos. De acordo com os resultados apresentados, apesar de a região estar bastante fragmentada, a mesma está passando por um processo de regeneração florestal, fato que reflete o abandono de áreas de difícil cultivo agrícola, as ações de incentivo a preservação das matas nativas, o plantio de florestas e a formação de corredores ecológicos.

Palavras-chave: Fragmentação florestal. Dinâmica de fragmentos florestais. Microrregiões. Sensoriamento remoto.

ABSTRACT

SPACE-TIME DYNAMIC OF FOREST FRAGMENTS IN TWO MICRO REGIONS OF NORTHWEST OF RIO GRANDE DO SUL

AUTHOR: PAULO AFONSO DA ROSA
ADVISOR: FÁBIO MARCELO BREUNIG
CO-ADVISOR: CLÁUDIA MARIA DE ALMEIDA

The understanding of landscape dynamics involves understanding the changes in the use and occupation of the land. In this process, the fragmentation of forests is very common. In this sense, the objective of this study was to evaluate in a multi-temporal perspective the dynamics of forest fragments of the micro regions of Frederico Westphalen and Três Passos - RS, given the circumstances of the rural population and geomorphological aspects. The study period was from 1985 to 2014, covering an area of 9046.9 km² that is located in the Atlantic Forest Biome. Satellite images were acquired from Landsat 5 (Thematic Mapper sensor) and Landsat 8 (Operational Land Imager sensor) of the dates 1985, 1994, 2005 and 2014. The classification of images was given by manual photo interpretation. The forest fragments were mapped and divided into size categories: very small (<5 ha), small (5 - 10 ha), medium (10 - 100 ha) and large (> 100 ha). In the socioeconomic analysis, rural population data (1980 and 2010) and vegetal production data (wood for charcoal, firewood and logs) were obtained. For the geomorphological analysis images of the ASTER-GDEM sensor were acquired, and three maps generated: slope, hypsometry and slope aspect. For the analysis of the dynamics of the fragments some landscape metrics were inserted. Regarding tree cover, an increase of 50.4% of the area was identified between 1985 and 2014, while the number of forest fragments had a 56.2% increase. Great part of mapped forest fragments have very small size and are located in undulating and strongly wavy land, at elevations between 300 and 450 m and with its dimensions oriented east and south. A gradual decline in rural population indices of all the constituent municipalities of the two micro regions has been identified, which indicates an increase in the rural exodus. The wood production for coal, firewood and logs presented, in both micro regions, an abandonment or reduction in the production of these derivatives by the method of vegetal extraction, however, there was an increase in production using silvicultural techniques. In almost all municipalities, an increase in forest cover between 1985 and 2014 was observed, in higher or a lower proportion. By crossing the data of rural population with the arboreal covering index of the cities, a tendency for increasing forest cover as the rural population decreases was verified. The forest fragmentation transition maps presented a gain of area of 1258.1 km², loss of 433.4 km² and constant fragmentation of areas of 1081.3 km². According to the calculations obtained by the landscape metrics, the number of fragments and their size showed an increase in course of time, increasingly occupying the landscape area. However, the region's landscape has become very fragmented, probably caused by natural regeneration of the forest. In general, the fragments have regular shapes and complex perimeters. According to the results presented, although the region is highly fragmented, it is going through a forest regeneration process, a fact that reflects the abandonment of areas of difficult agricultural cultivation, the actions of encouragement to preserve native forests, planting forests and the formation of ecological corridors.

Keywords: Forest Fragmentation. Forest patches dynamics. Micro regions. Remote sensing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Representação esquemática da aquisição de dados por sensoriamento remoto.....	39
Figura 2 - Representação da estrutura interna de uma folha vegetal.....	41
Figura 3 - Interação da radiação solar com a folha; I: radiação incidente; R: energia refletida; A: energia absorvida; T: energia transmitida.	43
Figura 4 - Curva média de reflectância da vegetação fotossinteticamente ativa. ...	44
Figura 5 - Dinâmica dos fatores de reflectância de dosséis simulados em função do aumento do número de camadas de folhas.	46
Figura 6 - Reflectância aditiva de um dossel hipotético composto por duas camadas de folhas.	47
Figura 7 - Satélite Landsat 5, destacando o sensor TM.	53
Figura 8 - Limites políticos que compõem a área de estudo.	58
Figura 9 - Órbitas-ponto da série Landsat que recobrem a área de estudo.	63
Figura 10 - Produção de carvão vegetal nas microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos para o período de 2004 a 2013.	75
Figura 11 - Produção de lenha nas microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos para o período de 2004 a 2013.	76
Figura 12 - Produção de toras nas microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos para o período de 2004 a 2013.	77
Figura 13 - Índice de cobertura arbórea dos municípios pertencentes à região de estudo, no ano de 1985. Mapa elaborado a partir da interpretação visual das imagens Landsat 5 TM.	79
Figura 14 - Índice de cobertura arbórea dos municípios pertencentes à região de estudo, no ano de 2014. Mapa elaborado a partir da interpretação visual das imagens Landsat 8 OLI.	80
Figura 15 - Transição da população rural entre 1980 e 2010. Os municípios destacados em cinza não possuem dados de população rural para a década de 1980, sendo descartados do cálculo.	82
Figura 16 - Transição da cobertura arbórea entre 1985 e 2014. A legenda indica a porcentagem de aumento para cada classe.....	83
Figura 17 - Relação entre o índice de cobertura arbórea e as taxas de população rural para os municípios das microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos. Os dados reportam a diferença entre a década de 1980 e 2010.	85
Figura 18 - Relação entre o índice de cobertura arbórea e população rural para os municípios das microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos. Os dados referem-se aos anos de 1980 a 2010.....	86
Figura 19 - Classes de declividade, expressas em porcentagem, para as microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos, com base no modelo de elevação relativo ASTER GDEM.	88
Figura 20 - Distribuição das classes de altitude para as microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos com base no modelo de elevação relativo ASTER GDEM.....	90
Figura 21 - Classes de orientação de vertentes para as microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos com base no modelo de elevação relativo ASTER GDEM.....	92

Figura 22 - Distribuição da fragmentação florestal no ano de 1985 nas microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos.	95
Figura 23 - Distribuição da fragmentação florestal no ano de 2014 nas microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos.	96
Figura 24 - Área de ocupação de fragmentos florestais nas diversas classes de declividade nas microrregiões de (a) Frederico Westphalen e (b) Três Passos.	97
Figura 25 - Área de ocupação de fragmentos florestais nas diversas classes de altitude na microrregião de (a) Frederico Westphalen e (b) Três Passos.	99
Figura 26 - Área de ocupação de fragmentos florestais nas diversas classes de orientação de vertentes na microrregião de (a) Frederico Westphalen e (b) Três Passos.	100
Figura 27 - Rodovias presentes nas microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos.	102
Figura 28 - Área total dos fragmentos florestais para cada microrregião de estudo, expressas em km ²	103
Figura 29 - Número de fragmentos florestais por classes de tamanho para as microrregiões de (a) FW e (b) TP.	104
Figura 30 - Tamanho dos fragmentos florestais, por classes de tamanho, referente ao ano de 1985.	107
Figura 31 - Tamanho dos fragmentos florestais, por classes de tamanho, referente ao ano de 2014.	108
Figura 32 - Espacialização da transição de cobertura florestal no período de 1985 a 2014. O gráfico de pizza indica as perdas e ganhos em km ² para o período analisado.	109
Figura 33 - Métricas de paisagem calculadas para a região de estudo.	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Datas das missões Landsat.	52
Tabela 2 -	Características dos sensores ETM+ (Landsat-7) e OLI (Landsat-8).	55
Tabela 3 -	Data da aquisição das imagens utilizadas no estudo, das respectivas órbitas-ponto.	62
Tabela 4 -	Relação de métricas da paisagem utilizadas no estudo.	68
Tabela 5 -	Densidade demográfica rural (hab./km ²) nas microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos para as décadas de 1980 a 2010. Para alguns municípios, apenas os dados das últimas duas décadas estão disponíveis.	73
Tabela 6 -	Características das microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos quanto à declividade, com base no modelo de elevação relativo ASTER-GDEM.	87
Tabela 7 -	Variação da altitude das microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos com base no modelo de elevação relativo ASTER GDEM.	89
Tabela 8 -	Distribuição da orientação de vertentes para as microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos com base no modelo de elevação relativo ASTER GDEM.	91
Tabela 9 -	Área total e porcentagem da cobertura dos fragmentos florestais para cada microrregião de estudo, expressas em km ²	93
Tabela 10 -	Número de fragmentos florestais nas microrregiões de estudo para o período de 1985 a 2014.	94
Tabela 11 -	Índices de cobertura florestal presente nas encostas das rodovias nas microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos.	101

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 OBJETIVOS	22
1.1.1 Objetivo geral	22
1.1.2 Objetivos específicos	22
2 REFERENCIAL TEÓRICO	25
2.1 ATIVIDADE ANTRÓPICA NO ESPAÇO GEOGRÁFICO	25
2.2 USO DA TERRA	27
2.2.1 Importância de se conhecer o uso da terra	31
2.3 FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL	33
2.3.1 Efeitos da fragmentação	36
2.4 SENSORIAMENTO REMOTO	38
2.5 SENSORIAMENTO REMOTO NO ESTUDO DA VEGETAÇÃO	40
2.5.1 Comportamento espectral da vegetação	43
2.6 MONITORAMENTO DA VEGETAÇÃO	47
2.7 PROGRAMA LANDSAT	51
3 MATERIAL E MÉTODOS	57
3.1 ÁREA DE ESTUDO	57
3.1.1 Aspectos gerais	57
3.1.2 Aspectos econômicos	59
3.1.3 Aspectos climáticos	59
3.1.4 Aspectos fitogeográficos	60
3.1.5 Aspectos pedológicos	61
3.1.6 Formas de relevo	61
3.2 AQUISIÇÃO DE IMAGENS DE SATÉLITE	62
3.3 MOSAICO DAS IMAGENS	64
3.4 CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS	64
3.5 MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO – MDE	65
3.6 MODELAGEM GEOMORFOLÓGICA	66
3.7 AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DOS DADOS SOCIOECONÔMICOS	67
3.8 MÉTRICAS DE PAISAGEM	67
3.9 ANÁLISE DOS DADOS	68
3.9.1 Mapeamento dos fragmentos florestais	68
3.9.2 Análise socioeconômica	69
3.9.3 Geomorfologia	70
3.9.4 Rodovias	71
4 RESULTADOS	73
4.1 RELAÇÃO ENTRE POPULAÇÃO RURAL E COBERTURA FLORESTAL NO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL	73
4.1.1 Evolução da população rural das regiões	73
4.1.2 Variação da cobertura florestal	77
4.1.3 Êxodo rural versus cobertura florestal: Tendências	81
4.2 AVALIAÇÃO DAS RELAÇÕES ENTRE OS PARÂMETROS DA MODELAGEM GEOMORFOLÓGICA E A COBERTURA FLORESTAL NO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL	87
4.2.1 Caracterização geomorfológica da região de estudo	87
4.2.2 Variação da cobertura florestal	93
4.2.3 Relação entre fragmentos florestais e parâmetros geomorfológicos	97

4.3 DINÂMICA DE FRAGMENTOS FLORESTAIS NO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL	103
4.3.1 Variação da cobertura florestal	103
4.3.2 Métricas de paisagem.....	110
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	115
6 REFERÊNCIAS	117

1 INTRODUÇÃO

As ações do homem em busca do desenvolvimento da sociedade, tanto no âmbito social quanto econômico, acabam por afetar o funcionamento de vários ecossistemas, dentre os quais os ecossistemas florestais são um dos mais afetados. A situação observada no cenário atual é de uma paisagem composta praticamente por áreas agricultáveis, remanescentes florestais, centros urbanos e corpos hídricos. O crescente aumento populacional, aliado à necessidade de novas áreas para a prática da agricultura, são os principais fatores causadores do desaparecimento das florestas pelo mundo.

A fragmentação florestal é um processo natural e contínuo, em alguns casos sendo intensificado pela ação do ser humano. As consequências da fragmentação florestal são a perda da biodiversidade, redução e extinção das populações de espécies da flora e fauna pela destruição de seu habitat, efeito de borda, alterações na estrutura do solo, entre outras (OCHOA-QUINTERO et al., 2015; BERNACCI et al., 2006; REICHERT et al., 2015; ZHAI et al., 2015). Porém, se o ritmo de exploração seguir como o que se observa atualmente, as consequências podem tomar proporções ainda maiores e incomensuráveis.

Nos últimos anos, o homem tem compreendido que necessita cada vez mais de uma relação mais harmoniosa com a natureza, pois dela depende a sua sobrevivência na Terra. Assim, essa aceitação estabelece ao homem a necessidade de exploração dos recursos naturais de forma racional (IPCC, 2015). Como consequência dessa conscientização, o homem tem buscado obter conhecimentos sobre o meio em que vive e aprimorar técnicas que possam dedicar-se às temáticas ambientais, dentro de padrões de conservação da natureza.

O processo de fragmentação florestal transforma a paisagem em uma espécie de mosaico, constituído por manchas (fragmentos), corredores e matriz. Essas estruturas da paisagem podem ser visualizadas nos mais diversos níveis de escala, possuindo direções, larguras, formas e diferentes níveis de conectividade (METZGER, 2003). Consequentemente a esse processo, há a influência dos padrões naturais de biodiversidade locais e regionais devido à perda de micro-habitats, isolamento de habitats e alteração dos padrões de dispersão e migração de espécies e erosão do solo (SCARIOT, 1998). Embora o processo de fragmentação florestal possa ser intensificado pela ação antrópica, existem agentes naturais que

contribuem para a fragmentação, como as oscilações climáticas, fatores edáficos, topográficos, hidrológicos e geomorfológicos (BEHLING, 1997; MMA, 2003).

Para se obter uma estimativa do quanto o homem alterou o meio ambiente, surgiu o termo uso da terra, que pode ser definido como a maneira pelo qual o espaço está sendo utilizado em um determinado momento (PACHECO e RIBAS, 1998). Dessa maneira, é possível determinar em uma área definida, quais são as atividades econômicas predominantes, qual a ocupação de cada atividade dentro da área, bem como identificar possíveis conflitos dessas atividades com o meio. Assim, desde o surgimento dos estudos do uso da terra, há uma crescente gama de estudos que buscam conhecer a situação de determinados locais, determinar a contribuição do homem na alteração do meio, bem como traçar alternativas para minimizar a grande interferência da atividade humana sobre a natureza (MENDES et al., 2014; FERREIRA e BEZERRA, 2015; JONES et al., 2009; ZHANG et al., 2014).

O levantamento e mapeamento do uso da terra de uma região são importantes porque permitem avaliar a distribuição espacial do uso e ocupação da terra e inferir sobre as atividades exploratórias e conservacionistas na área. Essas informações auxiliam como apoio no planejamento da apropriação antrópica das terras de maneira racional.

O acompanhamento e planejamento para o uso racional dos recursos naturais é imprescindível em todas as esferas da sociedade, aliado ao gerenciamento destes, através de técnicas agrícolas, florestais e do crescimento urbano. Assim, faz-se necessário o entendimento da relevância da cobertura e do uso da terra, buscando estabelecer, em distintos cenários, fundamentos que possam levar o entendimento dos elementos físicos, sociais e econômicos nas mais variadas escalas espaciais, tanto local e regional quanto global, responsáveis por desencadear mudanças no uso e ocupação da terra.

Ao longo das últimas décadas, o uso de informações de sensoriamento remoto, na forma de estudos multitemporais, tornou-se um instrumento cada vez mais necessário para o monitoramento dos recursos naturais (MAIMAITIJIANG et al., 2015; BONANSEA et al., 2015; WANG e TENHUNEN, 2004; MOSER et al., 2014). Os dados temporais de sensoriamento remoto têm permitido o acompanhamento espacial e temporal das alterações no uso e cobertura da terra, sendo um importante modo do homem planejar a sua atividade e interação com o meio ambiente.

Desde a década de 1970, com o lançamento do satélite *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS 1), depois denominado *Land Remote Sensing Satellite* (Landsat), até o lançamento do Landsat 8 (ROY et al., 2014), imagens disponibilizadas continuamente dessa série de satélites têm permitido uma gama de aplicações em diversas áreas, como por exemplo, estudos de uso e cobertura da terra e de caráter florestal. O sensor *Thematic Mapper* (TM), a bordo do satélite Landsat 5, foi lançado em 1984 e operou até maio de 2012, gerando uma série única de dados espaciais da Terra com aproximadamente 28 anos de imagens (NASA, 2015a; USGS, 2015a). Diante da disponibilidade dessas cenas, foi possível a composição de séries temporais, permitindo o levantamento das diversas classes de uso da terra, contribuindo para a avaliação dos impactos do uso no meio natural. Dessa maneira, as tecnologias de análise de dados georreferenciados, como o geoprocessamento e o sensoriamento remoto, permitem a definição dos modelos temporais e espaciais dos distintos usos da terra, constituindo um considerável instrumento para um planejamento racional dos recursos terrestres (PEREIRA DOS SANTOS et al., 2015; PROFETA, 2015).

Assim, o uso da tecnologia de sensoriamento remoto aponta como uma opção acessível, no que tange a um levantamento preciso do uso da terra, pois fornece um vasto número de informações de maneira rápida e atualizada, a um custo praticável. A característica sistemática da técnica de interpretação de imagens de satélites com finalidade ao mapeamento da cobertura arbórea e ocupação da terra tem resultado em estimativas precisas e permitido a elaboração do mapeamento de grandes áreas em um período de tempo menor.

O Brasil é um dos países detentores de maior biodiversidade no planeta. Apresenta em seu território vastas espécies endêmicas da flora e fauna e grandes áreas florestais, ao exemplo da Floresta Amazônica. Entretanto, o país vem apresentando uma altíssima taxa de degradação de seus biomas. Um exemplo disso é o bioma Mata Atlântica. Compreendido como um dos mais ricos biomas brasileiros, compostos por várias fisionomias e composições florestais, hoje sofre as consequências do mau uso de seus recursos, sendo um dos biomas mais degradados, possuindo várias espécies de flora e fauna em extinção. Ainda não se têm estimativas precisas sobre o nível de devastação desse bioma, porém, o que se pode observar é a sua vegetação original distribuída em pequenos fragmentos

florestais, em meio a áreas agricultáveis, centros urbanos e outras modalidades de uso da terra (TABARELLI et al., 2005; COSTA, 1999; LIRA et al., 2012).

As microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos, localizadas na região noroeste do Rio Grande do Sul, pertencentes ao bioma Mata Atlântica, são exemplos da degradação desse bioma. Essa região é típica de paisagem com fragmentação florestal, possuindo em seu território fragmentos florestais de grande porte e de grande importância ecológica, como é o caso do fragmento florestal do Parque Estadual do Turvo, no município de Derrubadas, e os fragmentos florestais referentes às terras indígenas do Guarita e de Nonoai (SEMA, 2005; MUNICÍPIO DE NONOAI, 2015). A região, na sua maioria, é composta por pequenas propriedades rurais, tem sua atividade econômica agropecuária voltada principalmente para o cultivo de milho, trigo, soja e a criação de animais. Dessa maneira, torna-se indispensável um estudo sobre como essas categorias de uso da terra influenciaram na fragmentação florestal ao longo do tempo. Além disso, as microrregiões não possuem informações e levantamentos da cobertura arbórea existentes em seus territórios, assim, o estudo busca suprir essa escassez de informações, bem como gerar subsídios para um melhor planejamento ambiental no que se refere às Áreas de Preservação Permanente (APP), políticas de conservação e de incentivo ao reflorestamento e recuperação de áreas degradadas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Estudar as variações da cobertura florestal nas microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos, no norte-noroeste do Rio Grande do Sul, ao longo de quatro décadas (1985 – 2014), através da fotointerpretação de imagens Landsat-5 TM e Landsat 8 OLI.

1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar a distribuição espacial das áreas florestais em função das unidades administrativas, relacionando-o com dados socioeconômicos (em nível de municípios e microrregiões).

- Analisar a relação entre os fragmentos florestais e os parâmetros geomorfológicos (declividade, orientação de vertentes, altitude).
- Avaliar a fragmentação florestal segundo métricas da paisagem.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ATIVIDADE ANTRÓPICA NO ESPAÇO GEOGRÁFICO

A natureza passa por constantes transformações nas mais variadas escalas e níveis. Nesse cenário dinâmico, as diversas espécies se adaptam às novas condições do ambiente, em outras palavras, sofrem um incessante processo de evolução. Entretanto, com a chegada do homem, esse processo acabou por sofrer algumas modificações em seu funcionamento. Contudo, o nível de interferência do homem na natureza apresenta distintos níveis, de agente passivo a agente ativo transformador.

O homem necessita da natureza para sua subsistência. É através dela que o mesmo obtém tudo o que precisa para sobreviver: alimento, abrigo, energia. Ao observar essa disponibilidade de recursos vindos da natureza, encontrou nela um meio de sobrevivência e evolução. Assim, surgiam as primeiras relações homem-natureza, onde a exploração dos recursos naturais pela ação do homem se dava de forma rudimentar, utilizando técnicas mais simples, retirando da natureza apenas o que era necessário. Com o passar do tempo, com o surgimento e desenvolvimento das comunidades, o homem percebeu que precisava utilizar-se da terra de maneira mais eficiente para garantir suas demandas (SIMON, 2007, MENDONÇA, 2009).

Tendo conhecimento da dinâmica da natureza, passou a dominar técnicas de cultivos agrícolas e criação de animais, fazendo com que a produção e disponibilidade de alimentos fossem aumentando, influenciando o crescimento e expansão de comunidades em várias partes do mundo. Com esse desenvolvimento das técnicas de produção e ocupação do espaço, o homem passou a alterar a paisagem natural e a modificar o uso da terra que até então vinha fazendo, “agredindo” a natureza de tal forma que acabou resultando na alteração de diversos ecossistemas, tanto terrestres quanto aquáticos (SIMON, 2007, MENDONÇA, 2009).

Essa agressão e modificação social e ambiental causada pelo desenvolvimento passaram despreocupadas aos olhos das comunidades que, não deixaram de usufruir dos recursos oriundos dos ecossistemas. O nível de degradação do ambiente somente passou a ser preocupante quando algumas ocorrências começaram a atingir diretamente a população, como, por exemplo, o aquecimento global, a perda de biodiversidade, contaminação dos recursos hídricos,

enchentes, escorregamentos de encostas, entre outros fatores que podem ser decisivos na fragilidade de lugares e pessoas (SILVA e PAULA, 2009; MMA, 2016; MORAES e JORDÃO, 2002; ABREU, 2007).

Nos últimos séculos, principalmente depois da ascensão tecnológica causada pela Revolução Industrial, as técnicas utilizadas pelo homem na apropriação dos recursos naturais vêm ultrapassando a capacidade de recuperação do ambiente natural e provocando uma série de distúrbios ambientais, nas mais diversas escalas e níveis de intensidade. A sociedade atual, caracterizada pela utilização dos recursos muitas vezes sem nenhum planejamento, é relacionada às interferências diretas sobre os recursos naturais, bem como pelas interferências indiretas, definidas pela construção de estruturas com o objetivo de tornar o processo de extração de recursos naturais dinâmico (MARINO JUNIOR, 2006; COSTA, 2012).

Alguns acontecimentos exemplificam a ação do ser humano sobre os recursos naturais: o desenvolvimento dos meios de transporte, o crescimento das vias terrestres, aquáticas e aéreas e o grande avanço do sistema econômico, caracterizado por um grande volume de transações comerciais. Todos esses elementos levaram o sistema socioeconômico a níveis de consumo que impõem um maior dinamismo na oferta de matérias-primas, ou seja, impõem aos ciclos de produção uma maior atividade. Nas áreas rurais, as atividades agrícolas também acompanharam o ritmo de transformações impostas pelo modelo econômico vigente, causando a inovação das técnicas de preparo do solo, na implantação das culturas, no melhoramento genético das sementes, e no controle fitossanitário das lavouras (PIROVANI, 2010; ZANELLA, 2011).

De maneira geral, a implantação de práticas de controle do homem sobre o meio natural disponibilizou uma crescente exploração e produção de bens de consumo, proporcionando uma melhor qualidade de vida a algumas classes sociais. Assim, o ônus pela melhoria da qualidade de vida da sociedade se deu através do desequilíbrio do meio ambiente, alterando a dinamicidade dos processos ecológicos (SANTOS, 2004).

Diante do grande desequilíbrio do meio ambiente e dos seus processos funcionais em virtude da melhoria da qualidade de vida da sociedade em todos os níveis, foram necessários a inserção e o desenvolvimento de estudos e análises que buscassem explicar a interação entre o homem e o meio ambiente e a relação entre a atividade humana e a destruição do ambiente natural. Assim, o termo uso da terra

passou a ser utilizado para determinar essa relação homem-natureza, ganhando importância e passando a ser um assunto crescente nos estudos e pesquisas em várias áreas, visando, principalmente, conferir sustentabilidade da atividade humana no ambiente natural.

2.2 USO DA TERRA

Para compreender o que abrange o tema uso da terra é importante conhecer os diferentes significados do termo dados por diversos autores. Assim, nesse item serão abordados alguns termos que se relacionam com a dinâmica do uso da terra e que norteiam os estudos dessa temática.

Segundo a Organização Mundial para Alimentos e Agricultura (*Food and Agriculture Organization* - FAO, 1995),

Land is a delineable area of the earth's terrestrial surface, encompassing all attributes of the biosphere immediately above or below this surface, including those of the near-surface climate, the soil and terrain forms, the surface hydrology (including shallow lakes, rivers, marshes, and swamps), the near-surface sedimentary layers and associated groundwater reserve, the plant and animal populations, the human settlement pattern and physical results of past and present human activity (terracing, water storage or drainage structures, roads, buildings, etc) (FAO, 1995, p. 14).¹

Briassoulis (2000), relata que “terra é o espaço que possibilita a realização de todas as atividades humanas e de onde se obtêm todos os recursos necessários”. Segundo a FAO (1995), o uso da terra modifica a cobertura da terra de três maneiras: transformação do meio para uma condição diferente; transformação do meio sem conversão completa; e preservação de seus elementos contra agentes naturais de modificação.

Para uma melhor compreensão acerca das terminologias uso e utilização pode-se reportar à obra de Borba (2004, p. 1408 – 1409) que compreendem os significados de “empregar, aproveitar, consumir”. Em relação à palavra ocupação, Borba (2004) a define como “o ato de preencher determinado espaço”, a qual se

¹ Terra é uma área delineável da superfície terrestre, compreendendo todos os atributos da biosfera, acima ou abaixo dessa superfície, incluindo clima, solo e formas de terreno, hidrologia (incluindo lagos, rios, pântanos, e brejos), camadas sedimentares e reservas de água subterrâneas, populações de plantas e animais, padrão de ocupação humana e resultados físicos da atividade humana passada e presente (terraceamento, armazenamento de água ou drenagem, estradas, edifícios, etc.) (**Tradução livre do autor**).

assemelha com o conceito anterior por poder ser interpretada como o fato de “utilizar-se ou servir-se de algo”.

Dessa maneira, a ocupação acontece para o uso, em outras palavras, o uso de algum objeto é somente concretizado quando a ocupação é processada. Isso é válido tanto para as sociedades nômades – em que a ocupação ocorre em um determinado período – quanto para as sociedades sedentárias, que têm seus planejamentos voltados para o sustento de sua ocupação e o aperfeiçoamento na utilização dos produtos da natureza (SIMON, 2007).

Todavia, as sociedades sedentárias nos dias de hoje, indicam ultrapassar o significado sugerido pela palavra apropriação, que define a “utilização como se fosse próprio” (BORBA, 2004, p. 99). A apropriação ocorre concomitantemente à ocupação, estimulando distintas formas de uso do espaço, na qual pode impactar ou não o ambiente e a estrutura socioeconômica.

No âmbito da pesquisa, existem variados estudos que abordam a forma em que o espaço é ocupado e apropriado. Porém, o que se observa, é que não existe um consenso a respeito da correta utilização do termo, ou mesmo da distinção entre as expressões uso da terra e uso do solo, que são empregadas pelos pesquisadores. Dessa maneira, torna-se relevante a exposição de tais conceitos e discussões.

Ao se analisar diferentes estudos, observa-se que o termo solo possui seu significado voltado para a pedologia, caracterizando-se como a “camada superficial da terra arável, possuidora de vida microbiana” (GUERRA e GUERRA, 1997, p. 583); é também compreendida como “parte superior do regolito que sustenta a vida [...] modificado por processos físicos, químicos e biológicos” (ART, 1998, p. 492); ou mesmo como a “terra considerada nas suas qualidades produtivas” (BORBA, 2004, p. 1302); e, finalmente, como “uma superfície inconsolidada que recobre as rochas e mantém, em partes, a vida animal e vegetal na terra” (SILVA et al., 1999, p. 217).

A expressões Terra, em vários estudos, é definida pela sua condição planetária, como um astro integrante do Sistema Solar (BORBA, 2004; SILVA et al., 1999; ART, 1998). Parker et al. (2003) apresentam um conceito mais simplificado, dizendo que o sentido geográfico para a palavra terra, seria o de um espaço dinâmico onde os sistemas social e ambiental encontram-se em interação. Entretanto, Silva et al. (1999, p. 225) trazem um sentido que define de maneira abrangente e sistêmica a palavra. Para os autores, a terra:

É um meio ambiente total (natural e cultural), dentro do qual a produção tem lugar. Designa-se como um termo mais amplo que solo. Seus atributos incluem condições adicionais às dos solos, como depósitos minerais, clima e suprimento de água. Trata-se do sistema bio-produtivo terrestre que compreende o solo, a vegetação, outros componentes da biota e os processos ecológicos e hidrológicos, que se desenvolvem dentro do sistema (SILVA et al., 1999, p. 225).

Diante dos conceitos apresentados anteriormente, é possível observar algumas diferenças no significado dos termos solo e terra, bem como entender a utilização nas diversas pesquisas sobre a temática, em situações e pontos de vista distintos. Normalmente, o termo uso do solo é empregado em pesquisas desenvolvidas pelas Ciências Agrárias (CAMPOS, 1993; FILADELFO JÚNIOR, 1999), apontando classes e distinções no uso do solo pela agricultura, estimativas de produção, relação água-solo-planta, potencialidades e riscos associados pelo mau uso do solo.

As pesquisas associadas à área de Geociências e aos estudos das Ciências Humanas também fazem valer do uso desse termo, sendo geralmente usado em estudos geográficos (FORESTI e HAMBURGER, 1991). Em alguns casos, trabalhos que utilizam o termo uso do solo podem apresentar uma abordagem que se aproxima ou se confunde com o termo uso da terra (TAGLIANI e VICENS, 2003).

Por sua vez, o termo uso da terra alcança um maior campo de compreensão na Ciência Geográfica. Isso se deve ao estudo das estruturas das organizações espaciais, em vista de os sistemas socioeconômico e ambiental passarem por dinâmicas complexas (OLIVEIRA, 2000; DAINESE, 2001; RODRIGUES; 2005). Lambin et al. (2001) são esclarecedores ao explicarem que o uso da terra se constitui nas propostas ou nas intenções humanas aplicadas aos atributos biofísicos da superfície da terra.

Segundo Ross (1995), o uso da terra pode significar um retrato estático das manifestações dinâmicas desencadeadas pelas relações socioeconômicas de um território com as características ambientais. Apesar do caráter estático, a interpretação desse retrato – em um único período ou em séries cronológicas – revela inúmeros eventos que reproduzem a evolução histórico-temporal do fragmento espacial em estudo, possibilitando também uma visão futura e a estruturação de estudos geográficos que visam analisar a gênese de alterações ambientais derivadas de usos não planejados da terra.

A temática, o conceito e todas as discussões a respeito do uso da terra, apontam para uma variedade significativa de opiniões entre os estudiosos. Para Anderson (1979), uma das definições que possuem maior prestígio está no fato de que esse termo se refere ao exercício do ser humano na terra, na qual se encontra conectado com a terra enquanto componente dos elementos que constitui a paisagem.

Outros conceitos que também se destacam quando consultadas diversas literaturas são: cobertura e revestimento, da terra ou do solo. A cobertura é sinônima de revestimento, sendo compreendidos os dois vocábulos como “alguma parte ou material que reveste ou cobre determinada superfície” (BORBA, 2004, p. 1222); ou ainda como “parte da superfície que se encontra protegida pelas copas das árvores” (ART, 1998, p. 107). Assim, seu significado, recorre à preservação de algum espaço, que em níveis de solo/terra aponta para a existência de uma classe precursora, representada pela vegetação natural, que comporta o espaço da atividade natural e das atividades antrópicas que ainda não aconteceram (SIMON, 2007).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2006),

Entende-se por levantamento o conjunto de operações necessárias à elaboração de uma pesquisa temática que pode ser sintetizada através de mapas. O levantamento do uso e da cobertura da terra indica a distribuição geográfica da tipologia de uso, identificada através de padrões homogêneos da cobertura terrestre. Envolve pesquisas de escritórios e de campo, voltadas para a interpretação, análise e registro de observações da paisagem, concernentes aos tipos de uso e cobertura da terra, visando a sua classificação e espacialização através de cartas (IBGE, 2006, p. 20).

Muitas são as aplicações dos estudos e pesquisas a respeito do uso da terra, dentre as quais destacam-se os estudos de uso da terra nas expansões de fronteiras agrícolas (PRADO et al., 2012), em bacias hidrográficas (CALIL et al., 2012), uso do solo em áreas de preservação permanente (PINHEIRO et al., 2011), e o uso da terra associado à preservação da cobertura vegetal (DETONI, 2010).

Diante das discussões sobre os termos e conceitos da expressão “uso da terra”, o conceito norteador do presente estudo será o elaborado por Pacheco e Ribas (1998) que definem o uso da terra como sendo a forma pelo qual o espaço está sendo ocupado pelo homem em um determinado momento, em que a sociedade tem seus planejamentos voltados para o sustento de sua ocupação e o aperfeiçoamento na utilização dos produtos da natureza, desencadeando relações

socioeconômicas de um território com suas características ambientais (ROSS, 1995; SIMON, 2007).

2.2.1 Importância de se conhecer o uso da terra

A modificação do espaço natural pela atividade do ser humano vem ocorrendo ao longo do tempo, desde a origem de sua apropriação do mesmo. Além de conviver com ele, o homem se apoderou e alterou o meio como forma de atender às suas necessidades e anseios (DORNELLES, 2009).

Segundo Rocha (1997),

Os recursos naturais são componentes próprios ou vinculados aos parâmetros ar, água, solo/rocha, vegetação e fauna silvestre, que o ser humano utiliza para a sua sobrevivência. Pela ação antrópica, tais recursos podem ser degradados ou mesmo extintos. A intensificação da retirada da vegetação natural para implementação de áreas agrícolas, para expansão urbana, para o pastoreio e para extração da madeira vem, ao longo dos anos, trazendo problemas ambientais como erosão dos solos, degradação ambiental, desertificação, desaparecimento de espécies, comprometendo todo o equilíbrio de uma região (ROCHA, 1997, p. 02).

No decorrer do tempo, aumenta significativamente no meio ambiente um sistema voltado para ações variadas e preferências que determinam novos atributos ao espaço natural. Essa característica dinâmica e ao mesmo tempo evolutiva do uso da terra é resultado de diversas etapas de natureza tecnológica, que agem para o desenvolvimento da obtenção e aproveitamento dos recursos naturais, com propósito de proporcionar um crescimento social e econômico, mas podendo provocar situações de desequilíbrio na estrutura ambiental, onde a capacidade de reestruturação de seus elementos, na maioria dos casos, não acompanha o nível de apropriação aplicados pela ação antrópica (SIMON, 2007).

Verifica-se, assim, que a ocupação do espaço possui aspectos geralmente favoráveis ao sistema socioeconômico, ainda que de forma parcial, como a ampliação de áreas agropastoris, aglomerações urbanas e parques industriais, tendo como consequência a geração de lucros e a circulação de bens de consumo. Porém, derivações decorrentes de usos intensivos e desorientados, além de apropriações distantes da capacidade de regeneração natural dos elementos dos sistemas naturais, têm causado inúmeros impactos ambientais (SIMON, 2007).

Segundo Duarte e Barbosa (2009),

O mau uso das terras, o uso de tecnologia inadequada e a falta de um planejamento são fatores que concorrem para o empobrecimento, não apenas dos recursos naturais, mas também da população que sobrevive desses recursos [...]. Porém, ao longo dessas últimas cinco décadas o processo de degradação das terras, causado pelo desmatamento desordenado e por práticas de cultivos agropecuários rudimentares, aumentou de forma desordenada. Estas práticas provocam o desaparecimento de muitas espécies nativas da fauna e da flora consideradas importantes para o desenvolvimento da região, concorrendo, de forma trágica, para a sua destruição e para o empobrecimento de toda população, ocasionando enormes prejuízos para a economia [...] (DUARTE e BARBOSA, 2009, p.02).

Conforme Alier (1998), essa degradação ocorre em vários países, independentemente de seu nível de desenvolvimento, tanto no meio urbano como no rural, por meio, sobretudo, da pressão exercida pela população sobre os bens e serviços originados do uso dos recursos naturais.

De acordo com a visão de Christofletti (1979), o impacto ambiental ocorre quando a entrada de matéria ou energia ultrapassa o limite de tolerância compatível da organização do sistema, ocorrendo desequilíbrio e alterações entre seus elementos. Em seguida, o sistema tende a buscar novamente seu estado de equilíbrio, reajustando-se à nova condição ou retornando ao estado inicial, quando não ultrapassar seu grau de resiliência, que consiste na capacidade do ambiente em se restaurar após o mesmo ter sofrido um distúrbio por agentes externos.

No contexto das mudanças globais, os levantamentos de uso e de cobertura da terra fornecem subsídios para as análises e avaliações dos impactos ambientais, como os provenientes de desmatamentos, da perda da biodiversidade, das mudanças climáticas, das doenças reincidentes, ou ainda, dos inúmeros impactos gerados pelos altos índices de urbanização e pelas transformações rurais que se cristalizam em um grande contingente de população sem emprego, vivendo nos limites das condições de sobrevivência. Em cada região do país, os problemas se repetem, mas também se diferenciam a partir das formas e dos tipos de ocupação e

do uso da terra, que são delineados a partir dos processos definidos nos diferentes “circuitos de produção”²(SANTOS, 1988).

2.3 FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL

A fragmentação florestal, é um dos principais resultados causados pelo uso desordenado da terra. Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2003),

Fragmentação é o processo de separar um todo em partes. Fragmento, portanto, é uma parte retirada de um todo. Em geral, quando se fala em fragmentação pensa-se numa floresta que foi derrubada, mas que partes dela foram deixadas mais ou menos intactas. Assim, a fragmentação é o processo no qual um habitat contínuo é dividido em manchas, ou fragmentos, mais ou menos isoladas (MMA, 2003, p. 32).

Assim, a fragmentação florestal ocorre quando grandes florestas contínuas são divididas em blocos menores por estradas, agricultura, urbanização, ou outros processos de desenvolvimento. Este processo reduz a função da floresta como um habitat para muitas espécies de plantas e animais. Assim, reduz-se a eficácia da floresta na realização de outras funções, como a purificação da água e do ar. Mesmo pequenas estradas de terra ou trilhas mais largas pela floresta podem ter um impacto sobre suas funções naturais. A fragmentação não só reduz a área que é deixada como floresta, mas também afeta outros aspectos biofísicos, tal como estrutura da floresta, temperatura, umidade e luz. Isso perturba o habitat para o qual todos os animais da floresta e as plantas se adaptaram ao longo de milênios (THOMSON, 2014).

A fragmentação florestal é um processo amplamente distribuído e relacionado à expansão de fronteiras de desenvolvimento humano. Os fragmentos de habitat podem ter origens naturais ou ser oriundos da ação humana. O mecanismo de isolamento da vegetação natural, conhecido por fragmentação de habitat, acarreta modificações no funcionamento das comunidades vegetais (MMA, 2003).

² Sistema de produção em que o ato produtivo não se limita em si, mas pela circulação da mercadoria, desde a sua produção até o consumo final. A noção de circuito espacial produtivo enfatiza, a um só tempo, a centralidade da circulação (circuito) no encadeamento das diversas etapas da produção; a condição do espaço (espacial) como variável ativa na reprodução social; e o enfoque centrado no ramo, ou seja, na atividade produtiva dominante (produtivo) (CASTILLO e FREDERICO, 2010, p. 463).

Além da incontestável atenuação na área original dos ambientes, vários estudos relatam o desaparecimento de processos naturais das comunidades. Isso se deve a extinções locais e a modificações na estrutura e características das espécies que sofreram essa modificação. Alterações nos processos naturais de polinização, dispersão de sementes e herbivoria, podem colocar em perigo a conservação de populações vegetais nos fragmentos. Embora a conservação da diversidade biológica seja afetada pela fragmentação do habitat, muitos de seus efeitos ainda não são compreendidos (MMA, 2003).

Segundo O Eco (2014),

A fragmentação florestal é o tipo de fragmentação mais notório. São áreas de vegetações naturais interrompidas por barreiras antrópicas (criadas por ação humana) ou naturais, capazes de diminuir significativamente o fluxo de animais, pólen ou sementes. A divisão em partes de uma área antes contínua faz com que estas partes adquiram condições ambientais diferentes (O ECO, 2014).

Segundo o O Eco (2014), o processo de fragmentação florestal pode se dar de dois modos: fragmentação natural e fragmentação humana ou antrópica. Na fragmentação natural, a mesma pode decorrer de vários processos naturais, que são distintos daqueles ocasionados pela atividade humana. Ambientes isolados podem abrigar diversas espécies endêmicas, devido ao fato de os mesmos permanecerem isolados durante muito tempo, o que os torna áreas com preferência à conservação. Além do mais, esses fragmentos são utilizados como exemplos nos estudos da relação entre a fragmentação e a ação do homem.

A fragmentação natural origina-se por processos e fatores distintos que atuam de forma combinada ou isolada. Esses fatores são: oscilações climáticas, que beneficiam algum tipo de vegetação em detrimento de outro; a heterogeneidade de solos, que favorecem vegetações que se adaptam a determinados tipos de solos; a topografia, que podem produzir ilhas de várias categorias de vegetação em locais de altitudes elevadas; os processos de hidrodinâmica e sedimentação em cursos hídricos; processos hidrogeológicos que ocorrem em áreas alagadas, temporariamente ou permanentemente, formando vegetações com características peculiares. Assim, a fragmentação causada por processos naturais causa o afastamento das comunidades vegetais, podendo causar diferenciações genéticas, consideráveis componentes geradores da diversidade biológica (O ECO, 2014).

Além da fragmentação natural, tem-se a fragmentação antrópica. Nesse tipo de fragmentação, os efeitos resultantes estão diretamente relacionados com a atividade humana. Entretanto, devido à falta de dados, a determinação da interferência do homem no processo de fragmentação florestal torna-se um desafio, consequência do baixo controle contínuo (O ECO, 2014).

Segundo O Eco (2014),

As maiores causas humanas, em especial no contexto brasileiro, são as seguintes: (1) extração de madeira; (2) supressão da floresta por meio de queimadas; (3) substituição da cobertura florestal nativa por reflorestamento com espécies exóticas; (4) exploração agropecuária, que substitui os remanescentes florestais por pastagens e áreas de cultivo; (5) práticas agrícolas cada vez mais mecanizadas; (6) padrão da estrutura fundiária existente que dificulta a proteção das florestas e propicia ações que geram perturbações nas áreas dos remanescentes florestais; (6) urbanização desordenada; (7) pressão do turismo; (8) caça e captura de animais silvestres e (9) implantação de infraestrutura de transportes, energia e saneamento (O ECO, 2014).

O processo de fragmentação de habitats é, talvez, a modificação mais grave causada pela ação humana ao meio ambiente. Normalmente, o decréscimo da área ocupada pelas florestas, a substituição das florestas pelos cultivos agrícolas e monoculturas, e a transformação de mata nativa em pequenas manchas, isoladas por cultivos agrícolas, crescimento industrial e urbano, são as principais modificações causadas pela intervenção humana, podendo ser observadas pelas florestas ao redor do mundo (O ECO, 2014).

Thomson (2014) relata que qualquer mudança no uso da terra pode potencialmente resultar em fragmentação. A extensão do impacto irá depender do tipo de alteração, o grau de fragmentação e as espécies envolvidas. Antigamente, grande parte da paisagem florestal foi fragmentada através da derrubada de árvores para madeira e para cultivo agrícola. Nas décadas mais recentes, os casos de fragmentação mais grave foram causados pela expansão urbana. A expansão urbana refere-se a um desenvolvimento que ocupa a terra a uma taxa mais rápida do que aquela em que a população está a aumentar. Ela promove a dependência da utilização de carros, porque é caracterizada pelo desenvolvimento de baixa densidade que separa o local onde as pessoas vivem do seu local de trabalho, comércio e lazer, além de separar o acesso a espaços verdes e áreas naturais em suas comunidades porque as áreas tipicamente naturais não são incorporadas ao

projeto destes desenvolvimentos. As estradas podem ser barreiras intransponíveis para a vida selvagem, restringindo o seu movimento entre fragmentos florestais

2.3.1 Efeitos da fragmentação

O processo de fragmentação pode produzir efeitos consideráveis no habitat onde ele está presente. Segundo O Eco (2014),

O processo de fragmentação cria habitats precários para espécies na área fragmentada. Quanto menos áreas naturais, menores são os espaços para as espécies viverem e se reproduzirem. Isso provoca uma redução no número de plantas, animais e microrganismos que conseguem viver naquele lugar. Embora nem todas as espécies sejam afetadas da mesma forma – áreas negativas para uma espécie podem ser de boa qualidade para outras – o processo altera os habitats disponíveis e, portanto, todas as comunidades são afetadas (O ECO, 2014).

Ainda, segundo O Eco (2014), “uma espécie que mantém relações de dependência com outras, pode ser extinta e, em tempo, também desaparecerão várias outras com as quais ela interagia”. O decréscimo da migração e imigração de espécies exóticas para o fragmento e a redução do tamanho da população são outras consequências da fragmentação florestal.

Contribuindo para a modificação dos fragmentos florestais, está o processo denominado efeito de borda. O efeito de borda são alterações que ocorrem principalmente no ambiente florestal, devido à abertura de clareiras e ao desmatamento. Quando uma área é fragmentada, ocorre um aumento na incidência de radiação solar nas bordas da floresta. Em decorrência disso, ocorre o aumento da temperatura do solo e a diminuição da umidade atmosférica. Assim, as árvores presentes nas bordas ficam mais susceptíveis aos agentes físicos, como o vento, tornando-as mais vulneráveis à queda, risco este que não aconteceria caso estivesse no interior da floresta. Dessa forma, com a queda das árvores mais externas, a borda diminui e o fragmento fica cada vez menor. Esse fenômeno torna-se mais intenso quanto menor é o fragmento.

Thomson (2014) relata que a fragmentação florestal pode ter efeitos negativos e irreversíveis sobre o meio ambiente local, principalmente quando associado ao desenvolvimento humano. Os principais efeitos desse processo são descritos a seguir:

- Redução da área total do habitat: quando o habitat é reduzido a fragmentos pequenos, há menos habitat global, bem como menos diversidade de habitats. A quantidade reduzida de habitats gera populações respectivamente menores de animais selvagens, bem como menos espécies.
- Habitat de borda: quando um habitat é fragmentado, a quantidade de borda aumenta em relação ao interior. As espécies do interior da floresta sofrem, enquanto as espécies presentes na borda, incluindo espécies invasoras e predadores aumentam. Assim, florestas altamente fragmentadas não fornecem alimentos e condições de reprodução às espécies da fauna.
- Tamanho da floresta: florestas menores geralmente abrigam uma menor diversidade de espécies e proporcionalmente um menor número de cada espécie, devido ao efeito borda, o que pode estender-se desde 100 a 300 m para dentro da floresta. Manchas de 200 hectares são consideradas o tamanho mínimo para um ecossistema florestal recuperar-se de perturbações, tais como o vento, incêndios, ou infestações de insetos e doenças.
- Isolamento de populações: populações de plantas e animais podem ficar isolados no interior de um fragmento enquanto fragmentos circundantes são destruídos. Migrações ou deslocamentos tornam-se difíceis e perigosos. Assim, as populações isoladas são propensas a diminuir devido à consanguinidade, oscilações nos números devido à sobre-exploração de habitat, e súbita remoção do fragmento devido a distúrbios, tais como incêndios, danos causados pelo vento ou infestações de insetos e doenças.
- Fluxo de material genético: A vida selvagem deve ser capaz de se mover livremente de um fragmento florestal para outro. Este movimento permite cruzamentos, criando populações geneticamente mais fortes, assegurando sua permanência em habitats adequados. Em uma paisagem fragmentada, grandes distâncias entre bosques podem impedir esse movimento, tornando-se um obstáculo para a migração de animais selvagens. Por esta razão, corredores entre fragmentos isolados podem ajudar a vida selvagem, proporcionando rotas através das quais eles possam deslocar-se. Corredores também beneficiam as plantas, tornando a dispersão de sementes e estabelecimento em novas áreas mais fáceis. Enquanto até mesmo manchas estreitas podem ajudar a criar ligações entre os fragmentos, corredores de largura entre 100 a 200 m são considerados mais eficazes.

2.4 SENSORIAMENTO REMOTO

Os recursos naturais e o meio ambiente passam por contínuas modificações devido à evolução natural e às atividades humanas. Para entender a profunda relação dos fenômenos causadores dessas modificações, é essencial conduzir observações com base em um grande conjunto de escalas temporais e espaciais. A observação da Terra com o uso de satélites é a maneira mais eficiente e econômica de coletar as informações fundamentais para o monitoramento desses fenômenos, principalmente em países de grandes extensões territoriais, como no caso do Brasil (SAUSEN, 2014)

Segundo Novo (2010),

Sensoriamento remoto pode ser definido como sendo a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do Planeta Terra a partir do registro e análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que a compõem em suas mais diversas manifestações (NOVO, 2010, p. 28).

Esse conceito de sensoriamento remoto é claro ao assegurar que o alvo é imageado pelo sensor através de medições da radiação eletromagnética. Dessa maneira, qualquer outro sensor que não obtenha imagens através da detecção da energia eletromagnética não pode ser enquadrado como sensoriamento remoto. De outra forma, ainda existe a errada ideia de acreditar que sensoriamento remoto se refere apenas àquelas imagens obtidas de satélites, visto que o termo surgiu quando se deu início à era espacial. Um exemplo de classe de sensoriamento remoto são as fotografias aéreas, que são utilizadas há mais de meio século como uma forma de observar a Terra. O filme fotográfico foi o primeiro material construído pelo homem capaz de registrar a radiação eletromagnética e de transformá-la na imagem do objeto fotografado (MENESES e ALMEIDA, 2012).

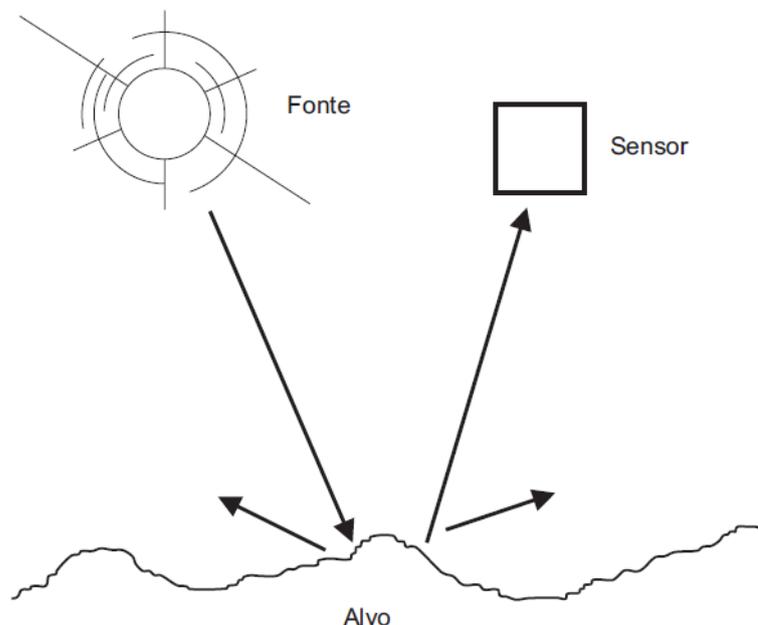
Os conceitos mais tradicionais das técnicas de sensoriamento remoto geralmente destacam termos como distância, informação e contato físico, pois realmente estão estreitamente relacionados à sua fundamentação, mas que de alguma maneira, encobrem os principais conceitos que levaram à compreensão absoluta dos usuários dessas técnicas. Entre esses conceitos, evidenciam-se

aqueles particulares aos procedimentos de interação entre a radiação eletromagnética, apontada como elemento essencial nas técnicas de sensoriamento remoto e os distintos alvos dos quais se busca extrair alguma informação. No exemplo do sensoriamento remoto aplicado à superfície terrestre, os alvos geralmente são os distintos recursos naturais, como o solo, a água, as rochas e a vegetação (PONZONI e SHIMABUKURO, 2009).

Um dos principais objetivos do sensoriamento remoto é a obtenção de dados sobre fenômenos que ocorrem na superfície terrestre para subsidiar mapeamentos e avaliações dos recursos terrestres e monitoramento ambiental. Todos os corpos (naturais ou artificiais) presentes na superfície da Terra, com temperatura igual ou superior a zero absoluto (0°K), têm a capacidade de emitir, refletir ou absorver a energia oriunda da radiação eletromagnética (IBGE, 1999).

Assim, para operar as técnicas de sensoriamento remoto, é necessário ter conhecimento dos principais elementos do processo de aquisição e análise de imagens: a fonte, o sensor e o alvo (Figura 1).

Figura 1 - Representação esquemática da aquisição de dados por sensoriamento remoto.



Fonte: IBGE (1999).

2.5 SENSORIAMENTO REMOTO NO ESTUDO DA VEGETAÇÃO

Cerca de 70% da superfície terrestre é revestida por vegetação. Além do mais, a vegetação é um dos principais elementos de um ecossistema. Os conhecimentos adquiridos sobre as vegetações, como as variações de espécies, padrões de distribuição, fenologia, modificações fisiológicas e morfológicas das plantas, são base de entendimento sobre as características climáticas, edáficas, geológicas e fisiográficas de uma área (WEIERS et al., 2004; JACKSON e JENSEN, 2005). Zakaria (2010) complementa que a vegetação é importante porque proporciona um entendimento elementar para todos os seres vivos. A utilização do sensoriamento remoto na classificação da vegetação é importante porque pode definir sua distribuição e ocorrência e como elas são controladas por fatores atmosféricos e por fatores físicos do solo. Há várias dificuldades na determinação de classes de vegetação baseada nas respostas espectrais individuais, devido à heterogeneidade comum do tipo de cobertura e os fatores que afetam as respostas espectrais.

Segundo Jensen (2009), os cientistas têm se esforçado significativamente em busca do desenvolvimento de novos sensores e de algoritmos de processamento de imagens para a extração máxima de informações máximo biofísicas da vegetação a partir de dados de sensoriamento remoto. Muitos dos métodos de sensoriamento remoto são de caráter abrangente e podem ser aplicados a variados tipos de vegetação.

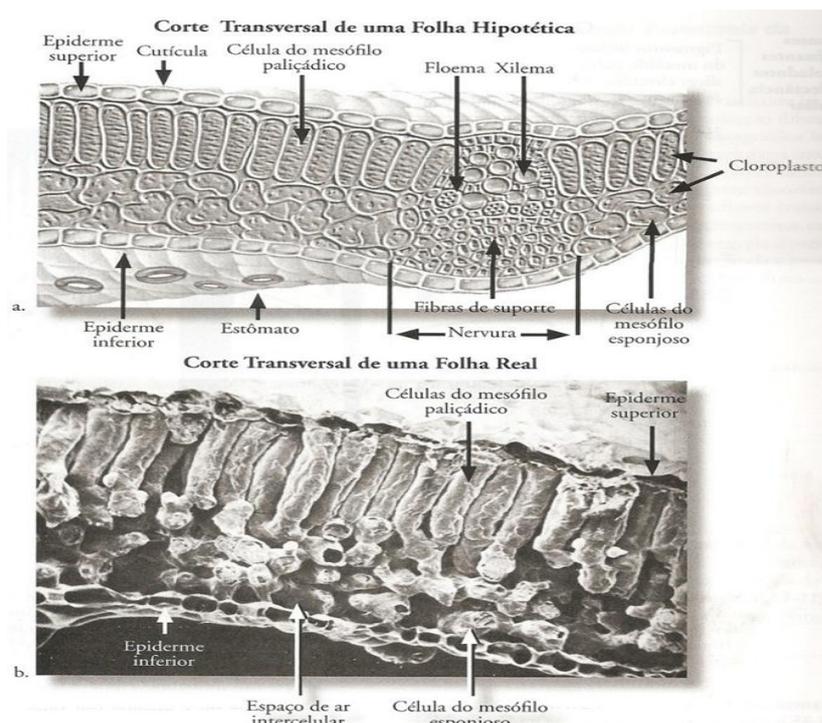
Quando se faz alusão ao sensoriamento remoto aplicado a estudos de vegetação, considera-se a extração de informações biofísicas da vegetação oriundas do sensoriamento remoto a partir da interação entre a vegetação e a radiação eletromagnética. Ao se pensar sobre essa interação, logo vem à mente o processo da fotossíntese. Segundo Moreira (2007), a fotossíntese é o processo pelo qual as plantas verdes produzem energia a partir da água absorvida pelo sistema radicular e do CO_2 absorvido da atmosfera, mediado pela radiação fotossinteticamente ativa, radiação solar de comprimento de onda entre 400 e 700 nm (luz visível). Das três principais funções da folha, a fotossíntese é o único processo que está diretamente ligado à radiação solar, enquanto os outros dois processos (respiração e transpiração) utilizam a energia resultante das reações

químicas que ocorrem na planta através da fotossíntese para obter a energia para sua sobrevivência.

Para a realização da fotossíntese, as plantas adequaram suas estruturas internas e externas. Essas estruturas e a relação com a radiação eletromagnética têm um efeito direto na forma como as folhas e os dosséis vegetais aparecem espectralmente quando detectados em equipamentos de sensoriamento remoto (JENSEN, 2009).

Assim, constata-se que a folha é o principal componente responsável pela interação entre a radiação eletromagnética provinda do sol e as plantas. Quando se considera a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto em estudos de vegetação, deve-se levar em conta que existem várias escalas de trabalhos possíveis, desde uma parte de uma planta, uma planta propriamente dita, e um conjunto de plantas. Cada escala exigirá um determinado conhecimento, tanto sobre a vegetação, quanto sobre a técnica empregada no estudo. Dessa maneira, para se entender a relação radiação – planta, será apresentado na sequência um corte transversal de uma folha, conforme a Figura 2.

Figura 2 - Representação da estrutura interna de uma folha vegetal.

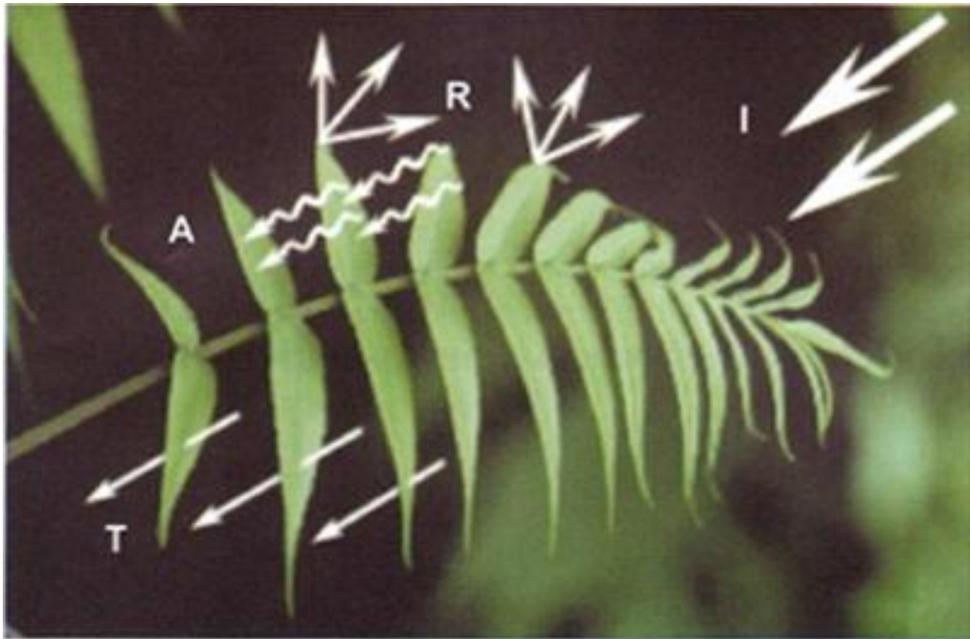


Segundo Ponzoni e Shimabukuro (2009), as folhas são compostas por distintas estruturas. A face ventral é aquela voltada para cima, na qual recebe a maior parte da radiação eletromagnética oriunda do sol. Nessa estrutura encontram-se pelos e camadas de cera (cutícula), responsáveis pela proteção. Abaixo dessas estruturas, está a epiderme, composta principalmente por células alongadas e por outras diferenciadas que exercem funções específicas, como aquelas que formam os estômatos. Abaixo da epiderme, está o mesófilo paliçádico, estrutura constituída por células ricas em cloroplastos, dentro das quais se encontram as clorofilas, pigmentos responsáveis pela fotossíntese. Localizado mais próximo à face adaxial da folha, encontra-se o mesófilo esponjoso ou parênquima lacunoso, tendo como principal característica uma composição de células menos densa em relação ao mesófilo paliçádico, a qual lhe atribui um maior espaço entre as células, espaços que serão ocupados pelos gases resultantes dos processos de respiração e transpiração. Segue-se novamente a epiderme, contendo um maior número de estômatos em relação à epiderme superior e finalmente uma nova camada de cera (cutícula), onde se encontram novamente pelos e ceras.

A radiação emitida pelo sol que chega à superfície terrestre, ao atingir a planta, interage com ela e fragmenta-se em três partes. Uma parte dessa radiação (cerca de 50% do total que chega até a planta) é absorvida pelos pigmentos existentes nas folhas a ser utilizada no processo da fotossíntese, além de alterar ou destruir estruturas moleculares e acelerar reações. Outra parte da radiação é refletida pelas folhas, fenômeno denominado reflexão ou reflectância. Por último, uma terceira parte é transmitida através das camadas de folhas que compõem o dossel, e das camadas constituintes da folha, no caso a cutícula, e os parênquimas paliçádico e lacunoso (MOREIRA, 2007).

A Figura 3 representa os processos de interação da radiação solar com as folhas.

Figura 3 - Interação da radiação solar com a folha; I: radiação incidente; R: energia refletida; A: energia absorvida; T: energia transmitida.



Fonte: MOREIRA (2007).

A quantidade de radiação solar que é absorvida, transmitida ou refletida pelas folhas varia de uma espécie para outra e até mesmo entre indivíduos da mesma espécie, em função de fatores como a disposição das folhas, densidade do dossel e fitossanidade. Fatores ambientais, como disponibilidade hídrica, também podem contribuir para a variação dessa interação.

Quando se trata das técnicas de sensoriamento remoto aplicado à vegetação arbórea, o principal componente da interação radiação solar – planta analisado é a reflectância. É através da reflectância que se pode estudar as características biofísicas da vegetação, como o vigor vegetativo, a quantidade de água no interior da planta, através da interação dos diferentes comprimentos de onda com as diversas estruturas internas das folhas.

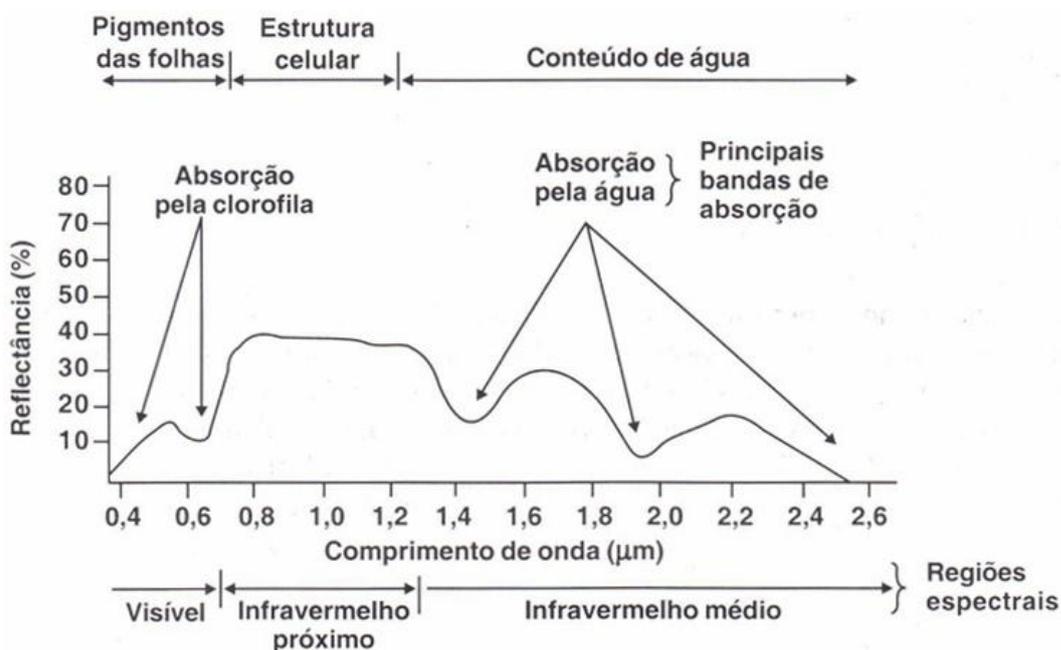
2.5.1 Comportamento espectral da vegetação

Dos três elementos resultantes da interação entre a radiação eletromagnética e a vegetação (absorção, transmissão e reflexão), a absorção é o mais importante, ao permitir a realização de análises fisiológicas e bioquímicas para a produtividade

da planta. Contudo, grande parte dos equipamentos de sensoriamento remoto não consegue medir essa parte da radiação, a não ser indiretamente através de medições da energia da REM refletida ou emitida pela vegetação. Dessa maneira, a reflectância tem sido o parâmetro mais utilizado nos estudos de vegetação, uma vez que é nas faixas do espectro eletromagnético a ela associadas que a maioria dos sensores orbitais em operação tem capacidade de extrair informações dos objetos presentes na superfície terrestre (MOREIRA, 2007).

Para Jensen (2009), são três os elementos da vegetação responsáveis pela interação com a radiação eletromagnética: os pigmentos, a água e os espaços intercelulares. A Figura 4 exibe a reflectância espectral característica da vegetação, divididas nas faixas do espectro eletromagnético de maior interação radiação - planta.

Figura 4 - Curva média de reflectância da vegetação fotossinteticamente ativa.



Fonte: MOREIRA (2007).

Em cada uma das regiões espectrais, o comportamento da reflectância é definida por diferentes elementos constituintes da folha, sendo descritas a seguir:

- **Região do visível (0,4 – 0,72 µm):** a reflectância nessa região espectral é influenciada pela quantidade de pigmentos existentes na folha. Esses pigmentos, geralmente encontrados nos cloroplastos são a clorofila (65%), carotenos (6%) e

xantofilas (29%). Os pigmentos predominantes absorvem radiação na região do azul (próximo a $0,445 \mu\text{m}$), enquanto a clorofila absorve na região do vermelho ($0,645 \mu\text{m}$) (PONZONI e SHIMABUKURO, 2009). De acordo com Novo (2010), a reflectância nessa faixa espectral é baixa ($< 20\%$), sendo na região do verde ($0,56 \mu\text{m}$) onde ocorre um pequeno aumento da reflectância, menor que 20% , responsável pela percepção da cor verde da vegetação.

- **Região do infravermelho próximo ($0,72 - 1,10 \mu\text{m}$):** a reflectância é influenciada pelo mesófilo esponjoso, composto por células e espaços intercelulares de ar. A reflectância aumenta muito na região espectral do infravermelho próximo. Essa alta reflectância resulta de uma adaptação da própria planta em não utilizar grandes quantidades de energia nessa região espectral, devido à essa faixa apresentar grande volume de energia que, sendo absorvida pela planta, podem causar danos irreversíveis às proteínas devido à altas temperaturas causadas pela energia do infravermelho. Assim, na região do infravermelho próximo a reflectância é alta ($40 - 60\%$), a transmitância é alta ($40 - 60\%$) e a absortância é baixa ($5 - 10\%$) (JENSEN, 2009).

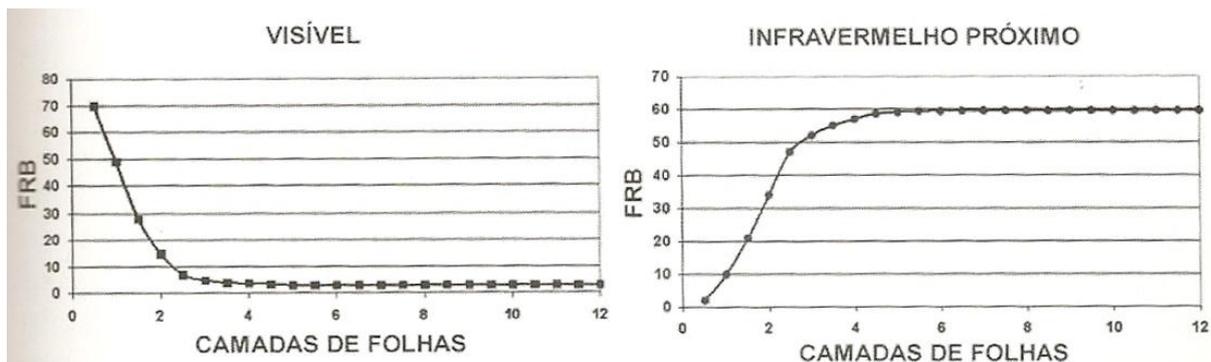
- **Região do infravermelho médio ($1,10 - 3,20 \mu\text{m}$):** a reflectância nessa faixa espectral é determinada pela absorção da água presente nas estruturas internas das folhas (PONZONI e SHIMABUKURO, 2009). A água absorve a radiação na região espectral entre $1,3$ e $2,0 \mu\text{m}$, tendo os picos de reflectância em $1,6 \mu\text{m}$ e $2,2 \mu\text{m}$. Assim, quanto maior a turgidez das folhas, menor será a reflectância. Os intervalos de onda do infravermelho entre $1,5$ e $1,8 \mu\text{m}$ e $2,1$ e $2,3 \mu\text{m}$ são os mais sensíveis a modificações no conteúdo de água das folhas. Entretanto, qualquer uma das faixas (visível, infravermelho próximo e infravermelho médio) só será capaz de extrair informações da reflectância quando a umidade da planta diminuir para 50% (JENSEN, 2009).

Até o momento, foi discutida a interação entre a radiação eletromagnética e a planta levando em conta o estudo de folhas isoladas. Entretanto, a utilização das técnicas de sensoriamento remoto aplicado à vegetação envolve a compreensão do processo de interação entre a radiação e os diferentes tipos fisionômicos de dosséis. Ponzoni et al. (2002) afirmam que o entendimento da aparência de um dossel vegetal em uma imagem orbital não pode ser fundamentado apenas na reflectância de estruturas isoladas (folhas, galhos, troncos etc). Outros parâmetros exercem influência sobre a reflectância espectral da vegetação e devem ser levados em

conta, como as geometrias de iluminação e visada, a densidade dos elementos da vegetação (Índice de Área Foliar) e as características do solo.

Quando se analisa dosséis vegetais, aborda-se a interação da radiação eletromagnética com várias camadas de folhas. Quanto maior o número de camadas de folhas presentes nos dosséis, maior será a quantidade de pigmentos fotossintetizantes, conseqüentemente, maior será a absorção de energia da faixa do visível. Da mesma forma, quanto maior o número de camadas de folhas, maior será a energia absorvida, espalhada e transmitida pelas folhas, conseqüentemente registrando uma maior reflectância desse dossel. A Figura 5 representa a relação entre o número de camadas de folhas de um dossel e a respectiva reflectância.

Figura 5 - Dinâmica dos fatores de reflectância de dosséis simulados em função do aumento do número de camadas de folhas.

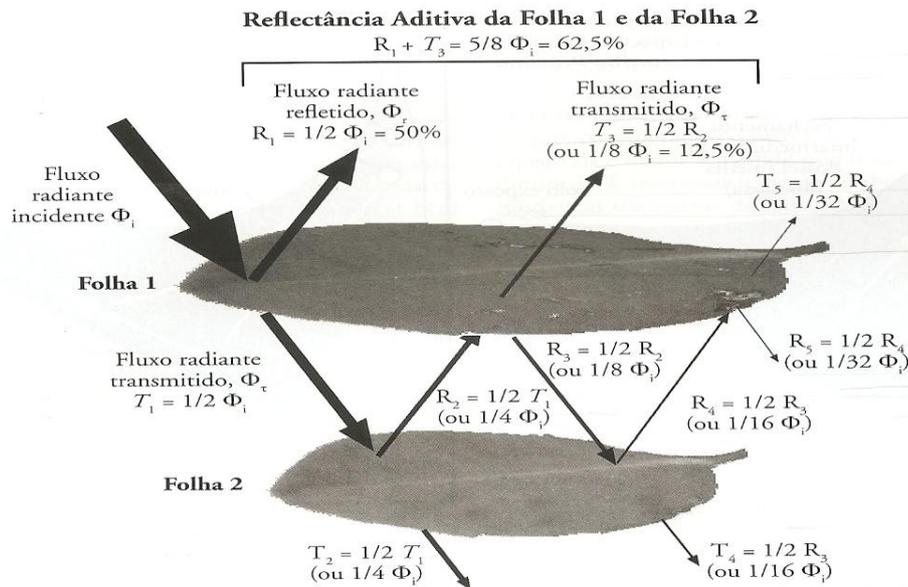


Fonte: PONZONI e SHIMABUKURO (2009).

Jensen (2009) desenvolveu um esquema hipotético de reflectância de um dossel com duas camadas de folhas, representado na Figura 6. Assumiu que 50% da energia do infravermelho próximo incidente sobre a folha 1 seja refletida e os restantes 50% sejam transmitidos para a folha 2. Dessa energia incidente na folha 2, 50% sejam novamente transmitidos (25% do original), e os restantes 50% sejam refletidos. Essa energia é transmitida novamente para a folha 1, onde metade dessa energia (12,5% do fluxo original) seja transmitida e metade seja refletida. Assim, nesse exemplo de dossel hipotético, tem-se 62,5% da energia resultante deixando a folha 1. A esse processo, dá-se o nome de reflectância aditiva. Dessa maneira, Jensen relata que, quanto maior o número de camadas de folhas em um dossel, maior será a reflectância na faixa do infravermelho próximo; entretanto, se o dossel for composto somente por uma camada de folhas, a reflectância não será tão grande

devido ao fato de que a energia do infravermelho próximo transmitida pela folha pode ser absorvida pelo solo.

Figura 6 - Reflectância aditiva de um dossel hipotético composto por duas camadas de folhas.



Fonte: Jensen (2009).

2.6 MONITORAMENTO DA VEGETAÇÃO

As características e propriedades da vegetação são atributos essenciais das paisagens. As características da vegetação em determinada área são influenciadas por um arranjo complexo de fatores relacionados ao clima, ao solo, à história, ao fogo e às influências humanas. O mapeamento da vegetação tem uma longa história, que inclui uma variedade de contextos e uma ampla gama de escalas geográficas (KÜCHLER e ZONNEVELD, 1988).

Avaliar e monitorar o estado da superfície da Terra é uma condição importante para a pesquisa em mudanças globais (COMMITTEE ON GLOBAL CHANGE RESEARCH, NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1999; JUNG et al., 2006; LAMBIN et al., 2001). A classificação e o mapeamento da vegetação são missões técnicas importantes para a gestão dos recursos naturais, desempenhando uma função relevante sobre as mudanças climáticas globais (XIAO et al., 2004).

O mapeamento da vegetação apresenta informações significativas para o entendimento dos ecossistemas, tanto os naturais quanto os alterados pelo homem através da quantificação da cobertura vegetal nas mais diversas escalas, das locais às globais, em um determinado momento ou ao longo de um período de tempo contínuo. É essencial para conhecer a situação atual da cobertura vegetal, a fim de iniciar a proteção da vegetação existente, bem como programas de restauração (EGBERT et al., 2002; HE et al., 2005).

O monitoramento das modificações da vegetação com o uso do sensoriamento remoto vem conferindo um melhor entendimento das condições da vegetação, bem como dos índices de substituição da vegetação natural por outros usos da terra. Os primeiros mapas de vegetação executados com o auxílio das técnicas de sensoriamento remoto foram através da interpretação visual de fotografias aéreas (LILLESAND et al., 2008). Em 1972, com o surgimento da missão Landsat, houve uma rápida demanda na execução de mapeamentos de vegetação em áreas maiores, mais eficientes que as técnicas de interpretação visual de imagens de fotografias aéreas.

Existem três principais fatores que se destacam no monitoramento da vegetação natural e nas mudanças do uso da terra: a extensão da mudança (a magnitude da mudança); a natureza da mudança; e o arranjo espacial da mudança, mensurando a distribuição espacial e a mudança de relação entre as classes de uso da terra (SEPEHRY e LIU, 2006). Nos estudos do uso e das mudanças no uso da terra, é importante definir o conceito de mudança para descobrir as reais situações. Entretanto, tanto no caso da cobertura da terra como do uso da terra, o significado e conceituação de mudança é muito mais amplo. No caso de mudança de cobertura da terra, a literatura distingue dois tipos de mudança: conversão e modificação (SKOLE e TUCKER, 1993). A conversão da cobertura da terra abrange a mudança de um tipo de cobertura para outro, já a modificação da cobertura da terra abrange alterações de estrutura ou função, sem uma mudança de um tipo para outro.

Segundo Zakaria (2010), os métodos para mensuração das condições da vegetação dividem-se em análise multitemporal e conversão e mudança da vegetação. No primeiro método, são utilizadas imagens orbitais multitemporais, em que se adquirem imagens em diferentes datas para o mesmo local. As imagens são co-registradas, a fim de comparar os índices espectrais e acompanhar o vigor vegetativo. Já no segundo método, tem-se o desmatamento como principal

processo, uma das formas mais significativas de transformação do uso da terra que existe. O monitoramento do desmatamento é uma preocupação em muitas regiões, devido à obtenção de produtos florestais, à mudança de terras para outros usos, como a agricultura ou usos urbanos, aos incêndios florestais, ou a alguma combinação dos fatores anteriores.

As técnicas tradicionais, como os levantamentos de campo, revisões bibliográficas, interpretações cartográficas e análise de dados complementares, não são eficazes para adquirir dados sobre as coberturas vegetais, devido a fatores como a demora na obtenção dos dados, defasagem e custo alto. A tecnologia de sensoriamento remoto oferece um meio prático e econômico para estudar as mudanças na cobertura da vegetação, especialmente em grandes áreas (LANGLEY et al., 2001; NORDBERG e EVERTSON, 2003). Devido ao alto potencial de observações sistemáticas em várias escalas, o sensoriamento remoto proporciona dados de várias décadas passadas até o presente. Para isso, enormes esforços têm sido realizados por pesquisadores e especialistas em aplicativos para delinear a cobertura vegetal, da escala local à escala global através da aplicação de imagens de sensoriamento remoto (XIE et al., 2008).

Os dados de sensoriamento remoto e as informações sobre os recursos florestais e naturais podem ser obtidos através de três formas: medição em campo, por meio de dispositivos aéreos e por meio de plataformas orbitais (através dos satélites).

- **Medição em campo:** uma das principais dificuldades dos equipamentos de sensoriamento remoto a bordo de aeronaves e satélites é que o dossel da floresta obscurece o caule e os galhos das árvores quando visto de cima. Esta tem sido uma importante limitação ao seu uso mais geral na medição florestal. Entretanto, os equipamentos posicionados no terreno estão se tornando acessível para permitir a medição remota do menor detalhe de árvores individuais (WEST, 2009).

As técnicas mais recentes e os métodos experimentais em terra utilizam sensores a laser para construir uma imagem tridimensional das árvores. Laser é um acrônimo para *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, ou em português, amplificação da luz por emissão estimulada de radiação. No âmbito do sensoriamento remoto, essa técnica é denominada LIDAR (*Light Detection And Ranging*), que em português corresponde a detecção e classificação da luz. Estas mensurações em terra utilizando instrumentos a laser estão apresentando um

grande potencial para a mensuração detalhada das características das árvores. Contudo, é necessário um desenvolvimento de pesquisa considerável antes de seu uso em inventários florestais de larga escala (WEST, 2009).

- **Medição por instrumentos transportados pelo ar:** os métodos que utilizam equipamentos transportados em aeronaves para cobrir uma área ocupada por mais de centenas ou milhares de hectares de florestas fornecem informações valiosas para várias finalidades. Estas operações de aeronaves variam consideravelmente em velocidade e altitude. Exemplos destes métodos são fotografias aéreas, de varredura a laser e espectrometria (WEST, 2009).

- **Medição por satélites:** Os satélites oferecem uma das formas mais abrangentes de informações de sensoriamento remoto sobre as florestas. Os sistemas de sensores de satélites podem operar de forma passiva, quando utilizam a radiação refletida da superfície terrestre como forma de imageamento, e de forma ativa, quando utilizam emissões ativas de micro-ondas (radar). Como exemplo, a série de satélites Landsat é amplamente utilizada para fins florestais, e colocou em órbita vários satélites ao longo das cinco últimas décadas. Os satélites, de forma geral, são de propriedade de organizações privadas ou governamentais, e fornecem informações úteis para a aferição da floresta em vários aspectos. Eles incluem sistemas para observação da Terra, a exemplo do ALOS (japonês), IKONOS (americano), IRS (indiano), NOAA-AVHRR (americano), Quickbird (americano), SPOT (francês) e JERS (japonês) (WEST, 2009).

A série de satélites Landsat, produzida e administrada pela NASA, sigla para *National Agency and Space Administration* (Agência Nacional para Administração do Espaço), dos Estados Unidos, é um dos principais instrumentos de sensoriamento remoto utilizado para o monitoramento dos recursos florestais. O Landsat possui a mais longa história e a maior utilização para o monitoramento da Terra a partir do espaço. Produzido com a maioria das bandas em média resolução espacial (30 m), o programa Landsat tem sido um dos principais produtos utilizados nas pesquisas em sensoriamento remoto, haja vista sua grande série histórica e a facilidade na aquisição dos dados.

2.7 PROGRAMA LANDSAT

Desde 1972, os satélites Landsat adquirem constantemente imagens espaciais da superfície terrestre do planeta, águas rasas costeiras e recifes de corais. O Programa Landsat é uma união do Serviço Geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey* - USGS) e da NASA, criada com o objetivo de coletar imagens terrestres a partir do espaço (USGS, 2013). Os satélites Landsat, desde então, oferecem dados da superfície terrestre, sendo um recurso valioso para pesquisadores e profissionais que atuam nas mais variadas áreas: agricultura, geologia, floresta, educação, ordenamento do território, mapeamento e pesquisa em mudanças globais.

Segundo Novo (2010),

O Programa Landsat representou no século XX um modelo de missão de sensoriamento remoto de recursos naturais, principalmente porque permitiu incorporar, em seus sucessivos satélites, características requeridas pelos usuários dos dados. Para o Brasil, esse programa foi de fundamental importância, porque possibilitou consolidar e capacitar uma ampla comunidade de usuários (NOVO, 2010, p. 159).

O Programa Landsat concede há mais de 40 anos, a aquisição de imagens da superfície terrestre para atender às mais variadas demandas, oferecendo aquisições repetitivas de dados multiespectrais calibrados, com resolução espacial alta, se comparada à dos satélites meteorológicos e oceanográficos, em escala global, permitindo comparações do estado da superfície terrestre ao longo do tempo (NOVO, 2010). A Tabela 1 apresenta as características dos satélites do programa e a cronologia de operação.

Tabela 1 - Datas das missões Landsat.

Satélite	Lançamento	Descomissionado	Sensores
Landsat 1	23/07/1972	06/01/1978	MSS/RBV
Landsat 2	22/01/1975	27/07/1983	MSS/RBV
Landsat 3	05/03/1978	07/09/1983	MSS/RBV
Landsat 4	16/07/1982	15/06/2001	MSS/TM
Landsat 5	01/03/1984	2013	MSS/TM
Landsat 6	05/10/1993	Órbita não alcançada	ETM
Landsat 7	15/04/1999	Em operação*	ETM+
Landsat 8	11/02/2013	Em operação	OLI/TIRS

Fonte: USGS (2013, adaptado).

* Desde 2003, oferece imagens falhas.

Os satélites 5, 7 e 8 do Programa Landsat possuem o mesmo período de revisita (16 dias), a mesma grade de referência (WRS-2) e a mesma área imageada (185 km x 185 km). A permanência dessas características técnicas entre os satélites facilitou o processo de pesquisa das imagens, que pode ser feito a partir da mesma grade de referência, permitindo uma integração no processamento das imagens do Landsat 8 com dados históricos do Landsat 5, existentes desde 1985, para uso concomitante de dados em um estudo multitemporal de determinada área.

Os principais sensores utilizados no estudo dos recursos naturais são o *Thematic Mapper* (TM), a bordo do Landsat 5, e o *Operational Land Imager* (OLI), a bordo do Landsat 8. A união desses dois sensores representa aproximadamente 30 anos de imageamento da superfície terrestre, gerando um grande acervo de dados em escala temporal e global. O sensor TM iniciou seu trabalho em 1984, a bordo do Landsat 4, passando por uma série de melhorias em relação às resoluções espacial, espectral, temporal e radiométrica. Esse equipamento passou a fazer parte da carga útil dos satélites Landsat 5, 6 e 7 (MOREIRA, 2007). A Figura 7 apresenta a configuração da plataforma utilizada no Landsat 5, dando destaque ao posicionamento do sensor TM.

Figura 7 - Satélite Landsat 5, destacando o sensor TM.



Fonte: NASA (2015b).

Segundo Novo (2010), o sensor TM foi um equipamento avançado de varredura multiespectral, construído para disponibilizar uma maior resolução espacial, uma melhor discriminação espectral de alvos na superfície terrestre, uma maior precisão geométrica e radiométrica em relação ao sensor MSS.

O sensor TM utiliza um conjunto fixo de detectores para cada banda e um espelho oscilante. Possui 16 detectores por banda, exceto na banda do infravermelho termal. Apresenta sete canais que cobrem o espectro eletromagnético nas regiões do visível, infravermelho próximo, médio e termal, em uma resolução espacial de 30 m. O canal térmico utiliza quatro detectores e apresenta uma resolução espacial de 120 m. Os dados imageados são quantificados em uma ordem de 0 a 255 (MATHER, 2004).

Segundo o mesmo autor, as bandas espectrais de 1 a 3 cobrem o espectro visível (0,45-0,52 μm , 0,52-0,60 μm e 0,63-0,70 μm), representando as regiões do azul, verde e vermelho, respectivamente. A banda 4 possui um comprimento de onda entre 0,75-0,90 μm , região do infravermelho próximo. As bandas 5 e 7 cobrem a região do infravermelho médio (1,55-1,75 μm e 2,08-2,35 μm , respectivamente). Já a banda 6 cobre a região do infravermelho termal (10,4-12,5 μm). A numeração

desordenada das bandas espectrais é resultado da adição tardia da banda de comprimento de onda entre 2,08 e 2,35 μm .

Segundo Novo (2010), as principais aplicações das bandas do sensor TM são:

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

O sensor OLI teve seu funcionamento iniciado com o lançamento do satélite Landsat 8, em 11 de fevereiro de 2013. As bandas espectrais do sensor OLI, embora semelhantes ao sensor *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) do Landsat 7, possuem equipamentos aperfeiçoados em relação aos satélites anteriores, além de apresentarem duas novas bandas espectrais: uma banda profunda na região do azul, especificamente construído para estudos hídricos e pesquisas em áreas costeiras, e uma banda infravermelha para identificar nuvens cirrus. Além destas, foi adicionada uma banda de qualidade em cada produto gerado. Isso concede informações mais detalhadas sobre a presença de nuvens, chuva e neve (ARIZA, 2013).

O sensor OLI coleta dados em nove bandas espectrais, oito delas com resolução espacial de 30 m e uma banda pancromática com resolução espacial de 15 m (USGS, 2013). A qualidade dos dados, medida pela relação sinal-ruído, e a resolução radiométrica de 12 bits do sensor OLI, são superiores às dos satélites anteriores ao Landsat 8 (8 bits nos sensores TM e ETM+). Isso proporciona uma melhora considerável na capacidade de detecção de mudanças na superfície terrestre. São coletadas aproximadamente 400 cenas por dia, as quais são gravadas

nos servidores da USGS, de modo que elas ficam disponíveis para acesso 24 horas após sua aquisição. Os dados produzidos pelo sensor OLI são totalmente compatíveis com todos os dados coletados pelas missões anteriores (ARIZA, 2013).

Continuando com o mesmo autor, o sensor OLI avança na tecnologia dos sensores Landsat, utilizando um enfoque comprovado pelo sensor *Advanced Land Imager* a bordo do satélite experimental da NASA Earth Observing-1 (EO-1). No início do Programa, os satélites Landsat vinham equipados com sensores “*whiskbroom*”, os quais empregavam espelhos de varredura como instrumentos para varrer o campo espectral através de uma largura de banda superficial e transmissão da luz aos detectores.

A diferença do sensor OLI é que o mesmo utiliza um sensor do tipo “*pushbroom*”, composto por uma série de grandes baterias de detectores, com mais de 7000 detectores por banda espectral, alinhados no seu plano focal em sua respectiva largura de banda. O projeto “*pushbroom*” torna-o um instrumento mais sensível, proporcionando uma melhor informação da superfície terrestre com menos partes móveis. Suas resoluções espaciais de 30 m nas bandas multiespectrais e de 15 m na banda pancromática, aliado à faixa de imageamento de 185 km no terreno, cobrem extensas áreas de terra, proporcionando uma resolução suficiente para a distinção de centros urbanos, fazendas, florestas e outras coberturas da terra (ARIZA, 2013).

A Tabela 2 apresenta algumas diferenças entre os sensores ETM+ e OLI.

Tabela 2 - Características dos sensores ETM+ (Landsat-7) e OLI (Landsat-8).

Bandas Landsat 7 ETM+ (μm)			Bandas OLI e TIRS Landsat 8 (μm)		
			30 m Aerosol	0,435 - 0,451	Banda 1
Banda 1	30 m Azul	0,441 - 0,514	30 m Azul	0,452 - 0,512	Banda 2
Banda 2	30 m Verde	0,519 - 0,601	30 m Verde	0,533 - 0,590	Banda 3
Banda 3	30 m Vermelho	0,631 - 0,692	30 m Vermelho	0,636 - 0,673	Banda 4
Banda 4	30 m NIR	0,772 - 0,898	30 m NIR	0,851 - 0,879	Banda 5
Banda 5	30 m SWIR-1	1,547 - 1,749	30 m SWIR-1	1,566 - 1,651	Banda 6
Banda 6	60 m TIR	10,31 - 12,36	100 m TIR-1	10,60 - 11,19	Banda 10
			100 m TIR-2	11,50 - 12,51	Banda 11
Banda 7	30 m SWIR-2	2,064 - 2,345	30 m SWIR-2	2,107 - 2,294	Banda 7
Banda 8	15 m Pan	0,515 - 0,896	15 m Pan	0,503 - 0,676	Banda 8
			30 m Cirrus	1,363 - 1,384	Banda 9

Fonte: NASA (2016, adaptado).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

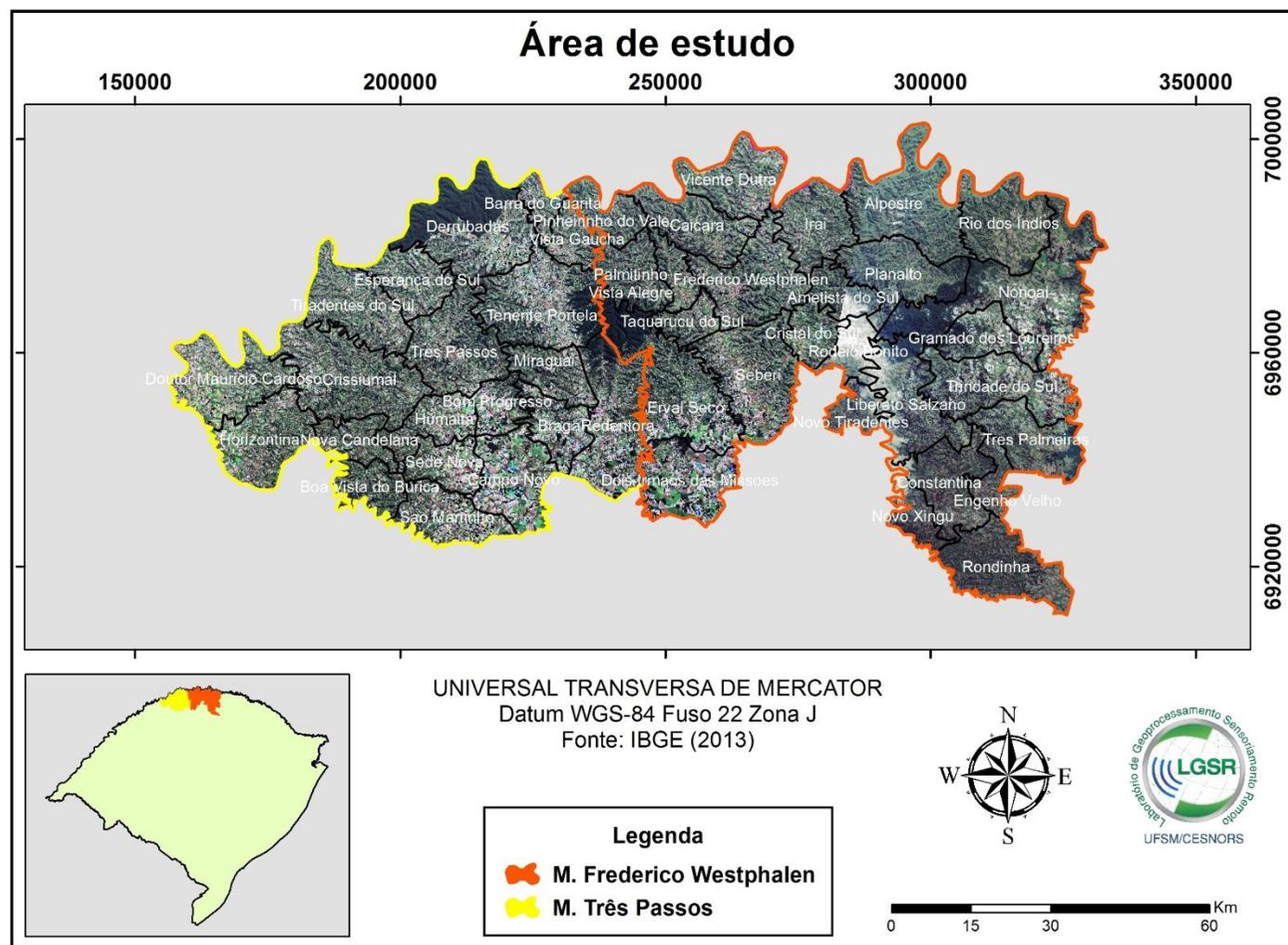
A área de estudo compreende as microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos, localizadas no noroeste do estado do Rio Grande do Sul (IBGE, 2013), conforme a Figura 8.

3.1.1 Aspectos gerais

A microrregião de Frederico Westphalen possui área de 5.185,6 km², com uma população de 180.174 habitantes (2007), apresentando uma taxa de crescimento de 0,75% ao ano entre 2000 e 2007. Seu território é constituído por 27 municípios, sendo eles: Alpestre, Ametista do Sul, Caiçara, Constantina, Cristal do Sul, Dois Irmãos das Missões, Engenho Velho, Erval Seco, Frederico Westphalen, Gramado dos Loureiros, Iraí, Liberato Salzano, Nonoai, Novo Tiradentes, Novo Xingu, Palmitinho, Pinheirinho do Vale, Planalto, Rio dos Índios, Rodeio Bonito, Rondinha, Seberi, Taquaruçu do Sul, Três Palmeiras, Trindade do Sul, Vicente Dutra e Vista Alegre (ARNS e PIOVEZANA, 2008).

A microrregião de Três Passos possui uma área de 3.861,3 km². Seu território abrange 20 municípios: Barra do Guarita, Boa Vista do Buricá, Bom Progresso, Braga, Campo Novo, Crissiumal, Derrubadas, Doutor Maurício Cardoso, Esperança do Sul, Horizontina, Humaitá, Miraguaí, Nova Candelária, Redentora, São Martinho, Sede Nova, Tenente Portela, Tiradentes do Sul, Três Passos e Vista Gaúcha.

Figura 8 - Limites políticos que compõem a área de estudo.



Fonte: Limites políticos obtidos do IBGE (2013).

3.1.2 Aspectos econômicos

A microrregião de Frederico Westphalen está situada na região do Médio Alto Uruguai. A Região do Médio Alto Uruguai 148.403 habitantes, sendo 45,2% residentes na área rural. A economia baseia-se na agropecuária e na indústria, correspondendo respectivamente a 32,9% e 14% do PIB local. A agricultura é composta por pequenas propriedades rurais (média de 16 ha), cultivadas principalmente com soja, milho, mandioca, fumo, e ocupadas por pecuária de suínos e bovinocultura de leite (RIO GRANDE DO SUL, 2015a).

Já a microrregião de Três Passos está situada na Região Celeiro. A Região Celeiro possui 141.482 habitantes, sendo 42,4% residentes na área rural. A agropecuária representa aproximadamente 31,8% do PIB local. Os cultivos predominantes são o trigo, a soja e o milho, além da participação expressiva da produção de leite e criação de suínos, desenvolvidas em propriedades rurais menores de 50 ha (RIO GRANDE DO SUL, 2015b).

3.1.3 Aspectos climáticos

De acordo com o IBGE (1986) e a SEMA (2005), ambas as microrregiões se enquadram no tipo climático Cfa, denominado subtropical, caracterizado pela temperatura superior a 20°C nos meses mais quentes (novembro, dezembro, janeiro e fevereiro) e temperatura inferior a 15°C nos meses mais frios (junho, julho e agosto). A precipitação pluviométrica anual oscila entre 1.500 e 1.800 mm, verificando-se uma boa distribuição das chuvas ao longo do ano (variação mensal em entre 130 e 197 mm). Os meses com maior precipitação são abril, maio, junho e outubro, com precipitações médias superiores a 165 mm, e as precipitações mais baixas são observadas nos meses fevereiro, julho, agosto e dezembro, com precipitações inferiores a 115 mm (SEMA, 2005). Apresenta uma redução do regime de chuvas na estação do inverno (ROSSATO, 2014), não ocorrendo cenários de déficit hídrico recorrentes, em virtude da ausência de estação seca definida. A ocorrência média de geadas é observada entre 5 e 15 dias por ano (MORENO, 1961; NIMER, 1990).

3.1.4 Aspectos fitogeográficos

O IBGE (1986, 2012) relata que as microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos são compostas pela Floresta Estacional Decidual Submontana e ecótonos de Floresta Ombrófila Mista, representada por dois estratos arbóreos distintos: um, emergente, aberto e decíduo, com altura variando entre 25 e 30 m, e outro, dominante e contínuo, com altura inferior a 20 m, formado principalmente por espécies perenifoliadas, além de um estrato de arvoretas. O caráter decidual da floresta é determinado por leguminosas caducifólias, onde se destacam a grápia (*Apuleia leiocarpa*) e o angico (*Parapiptadenia rigida*). Além disso, há uma diversificada florística, com aspectos distintos, em função de pequenas variações ambientais determinadas por fatores litológicos, geomorfológicos, edáficos e climáticos locais.

Os indivíduos arbóreos que formam o estrato emergente da Floresta Estacional Decidual são de origem tropical, apresentando, portanto, dois períodos fisiológicos distintos: um higrófito, de alta transpiração, quando com folhas; e outro, xerófito, sem transpiração, quando sem folhas. O período de dormência fisiológica, causada pelos efeitos do clima para esta região florestal, é determinado pelo período de baixas temperaturas que, fisiologicamente, exerce sobre as plantas o mesmo efeito da seca.

Em termos fitogeográficos, a microrregião de Três Passos tem uma grande importância devido à presença do Parque Estadual do Turvo, representante do último remanescente florestal de grande dimensão da mata do Alto Uruguai no estado. A mata do Alto Uruguai é composta por espécies florestais advindas do contingente da bacia do Paraná, muitas das quais têm no Rio Grande do Sul o seu limite de distribuição (SEMA, 2005).

Em termos florestais, as regiões englobam três grandes remanescentes definidos por força de lei: Parque Estadual do Turvo (PET) com 17.500 ha (RUSCHEL et al., 2005; RUSCHEL et al., 2007; ROSA et al., 2013; BREUNIG et al., 2015) e as Terras Indígenas do Guarita (TIG) (23.407 ha) e de Nonoai (TIN) (19.830 ha) (BREUNIG et al., 2015; ROSA e BREUNIG, 2015). Os demais remanescentes florestais apresentam uma área menor e são distribuídos de forma fragmentada em toda área de estudo.

3.1.5 Aspectos pedológicos

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos insere as microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos na unidade de mapeamento denominada Associação Ciríaco Charrua, ocupando uma grande parte do noroeste do estado do Rio Grande do Sul. Os solos do tipo Charrua, classificados como solos Litólicos Eutróficos, em geral ocupam as regiões de relevo mais íngremes. Os solos do tipo Ciríaco, classificados como Brunizém Avermelhado, ocupam as áreas menos acidentadas nas partes inferiores do declive, formando o fundo dos vales. Os solos do tipo Charrua são pouco desenvolvidos, rasos, moderadamente drenados, derivados de rochas efusivas básicas. Apresentam um horizonte superficial pouco profundo (variando de 2 a 40 cm) com alta pedregosidade, constituída de pedras de basalto que aumentam de tamanho com a profundidade do perfil. Os solos Charrua são, ligeiramente ácidos, com baixos valores de fósforo disponível. O teor de matéria orgânica varia de médio a alto (SEMA, 2005; CUNHA, et al., 2011).

Os solos do tipo Ciríaco são os mais férteis encontrados no Rio Grande do Sul. São solos medianamente profundos, moderadamente drenados, de textura argilosa e desenvolvidos a partir de rochas efusivas básicas. O Horizonte A, superficial, com espessura de até 60 cm, assenta-se sobre o Horizonte B, subjacente, com maior teor de argila podendo ocorrer linhas de pedras entre os mesmos. O Horizonte C é composto por pedras basálticas intemperizadas de diversos tamanhos. O teor de matéria orgânica desses solos oscila de médio a alto, sendo, ainda, ligeiramente ácidos (SEMA, 2005).

3.1.6 Formas de relevo

As formas de relevo na microrregião de Três Passos são heterogêneas e geralmente caracterizadas por colinas suaves e arredondadas que evoluem para um relevo mais acidentado, de vertentes com forte inclinação à medida que se aproxima do Rio Uruguai. Nesta área, o relevo torna-se mais íngreme, onde o topo dos morros é plano e as vertentes possuem declividade acentuada. As altitudes variam de 400 m nos topos até 100 m junto ao rio Uruguai, formando vales que se abrem para oeste e para norte (SEMA, 2005).

Na microrregião de Frederico Westphalen, o relevo possui características bem distintas, classificadas em: chapadas remodeladas, sendo os restos aplainados mais desgastados na borda do nível superior do Planalto; espigões rochosos, que são restos de platôs estreitos, íngremes e rochosos; espigões degradados, que compreendem as pequenas superfícies elevadas nas extremidades dos espigões gastos pela erosão, próximas aos afluentes do rio Uruguai; serras, constituídas por superfícies íngremes, de relevo com aspecto muito rochoso, fortemente escarpadas; e vales com terras quase planas ou aplainadas nos platôs e fundos das ravinas onde se situam os drenos naturais (CUNHA, 2011).

3.2 AQUISIÇÃO DE IMAGENS DE SATÉLITE

Inicialmente, foram adquiridas imagens do satélite Landsat 5 (sensor TM), referente às datas de 1985, 1994 e 2005, e do Landsat 8 (sensor OLI) referente à data de 2014. As imagens foram adquiridas na plataforma online *Earth Explorer* (USGS), das órbitas-ponto 222-079 e 223-079, conforme Figura 9.

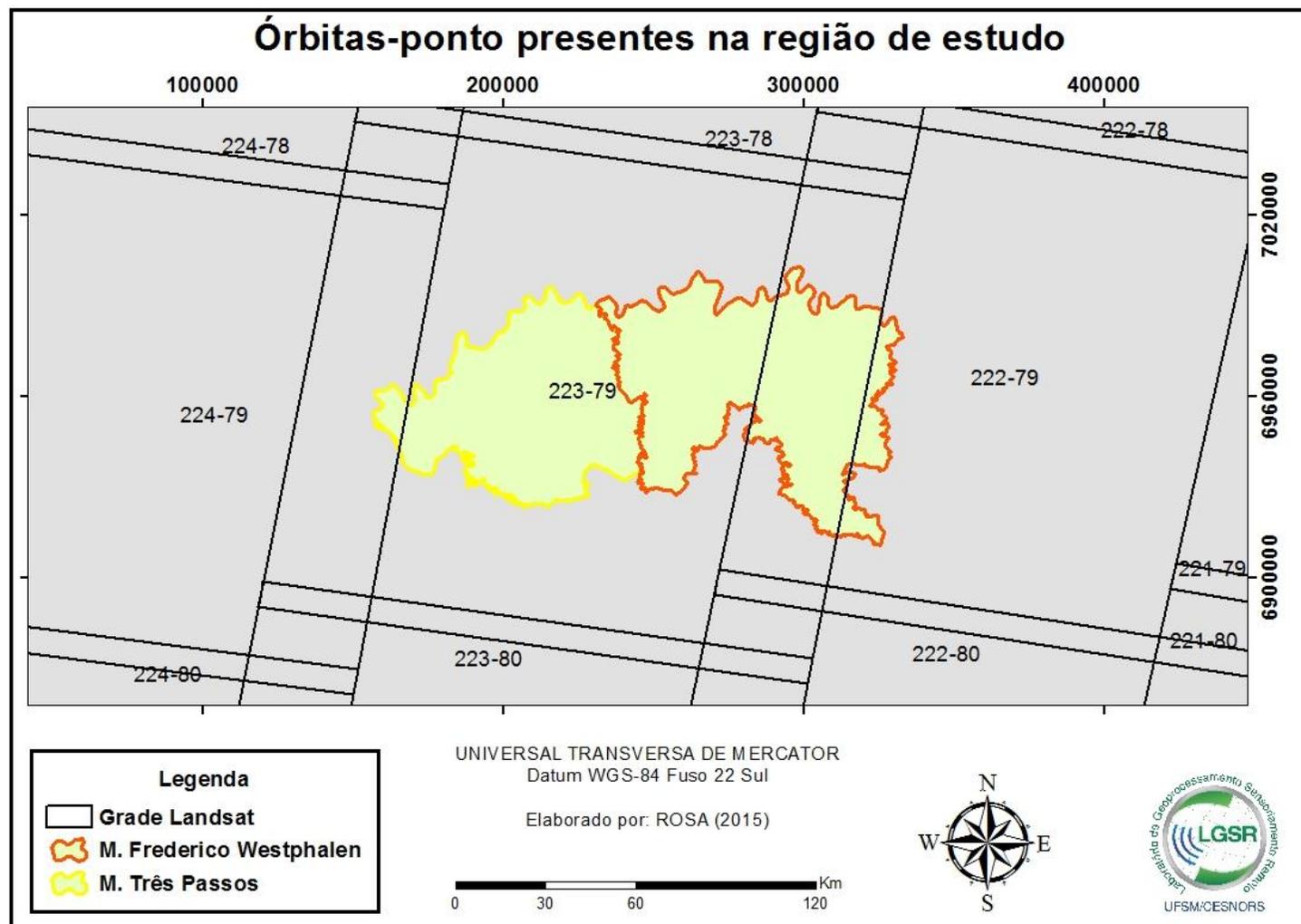
A escolha das imagens levou em consideração a menor cobertura de nuvens possível, e o menor tempo entre as datas de passagem do satélite, devido à coleta de imagens de órbitas-pontos diferentes. A Tabela 3 apresenta a descrição detalhada das imagens coletadas.

Tabela 3 - Data da aquisição das imagens utilizadas no estudo, das respectivas órbitas-ponto.

Satélite/Sensor	Órbita-ponto	
	222-079	223-079
Landsat 5/TM	18/10/1985	09/09/1985
Landsat 5/TM	28/11/1994	07/12/1994
Landsat 5/TM	26/11/2005	03/11/2005
Landsat 8/OLI	11/05/2014	20/05/2014

Fonte: O autor.

Figura 9 - Órbitas-ponto da série Landsat que recobrem a área de estudo.



Fonte: O autor.

As imagens utilizadas foram adquiridas no repositório da USGS no formato *Landsat Climate Data Record* (CDR). Os dados Landsat CDR são gerados a partir de um software denominado *Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System* (LEDAPS), desenvolvido originalmente pela NASA. Trata-se de rotinas de correção atmosférica aplicadas às imagens Landsat TM e ETM+, as quais utilizam como dados de entrada informações de vapor d'água, ozônio, espessura óptica de aerossóis e modelos digitais de elevação através de modelos de transferência radiativa para gerar dados de reflectância no topo da atmosfera, reflectância de superfície, temperatura de superfície, máscaras de nuvens, sombras de nuvens, terra e água (MAIERSPERGER et al., 2013; MASEK et al., 2006). As imagens Landsat CDR são geradas com resolução espacial de 30 m em projeção Universal Transversa de Mercator ou Polar Estereográfica (USGS, 2015b). Em virtude de os dados adquiridos apresentarem correções atmosféricas e geométricas, esses procedimentos foram descartados do processo.

3.3 MOSAICO DAS IMAGENS

O procedimento de mosaico foi realizado com o objetivo de unir as cenas das duas órbitas-ponto utilizadas (222-079 e 223-079), tornando possível a visualização de toda a área de estudo em uma única imagem. O mosaico foi realizado para todas as cenas utilizadas (1985, 1994, 2005 e 2014), utilizando a equalização de histograma, técnica que consiste em compatibilizar as amplitudes dos níveis de cinza da imagem em cada banda espectral de uma série de imagens a fim de ajustá-las às mesmas condições de contraste.

3.4 CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS

O mapeamento da cobertura florestal foi realizado com base em imagens mosaicadas do Landsat 5 TM das datas de 1985, 1994 e 2005, e do Landsat 8 OLI da data de 2014.

Os fragmentos florestais foram mapeados mediante a classificação manual, que se caracteriza pela distinção das classes de uso e cobertura da terra através da interpretação visual das imagens realizada pelo operador, sem auxílio de algoritmos

computacionais. Dessa maneira, a classificação manual não se utiliza de modelos estatísticos para diferenciação de classes, mas se fundamenta somente na análise visual das imagens e no treinamento do operador. Como o foco do estudo são as áreas florestais, somente a classe floresta foi mapeada (os demais tipos de uso e cobertura da terra foram agrupados em uma classe “Outros usos e coberturas”), sendo o fragmento florestal detectado e mapeado através da digitalização do mesmo, em escala padrão de visualização (1:40.000), através da edição vetorial dos contornos ou bordas dos fragmentos, resultando na representação dos fragmentos florestais em forma de polígonos. Para a identificação e posterior mapeamento dos fragmentos florestais, foram utilizadas composições coloridas cor verdadeira (3R-2G-1B nos sensores TM do Landsat 5; e 4R-3G-2B no sensor OLI do Landsat 8).

Com o auxílio da tabela de atributos contendo a área de cada polígono mapeado, os fragmentos florestais foram classificados segundo seu tamanho nas seguintes classes: fragmentos muito pequenos (menores que 5 ha); fragmentos pequenos (de 5 a 10 ha); fragmentos médios (de 10 a 100 ha); e fragmentos grandes (maiores que 100 ha), conforme Juvanhol et al. (2011). O mapeamento da cobertura florestal não levou em consideração a distinção entre florestas nativas e plantadas, bem como seus estágios sucessionais.

3.5 MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO – MDE

O modelo digital de elevação utilizado nesse estudo corresponde ao Modelo Digital de Elevação Global (*Global Digital Elevation Model - GDEM*), obtidos pelo sensor Radiômetro de Emissão Termal e Reflexão Orbital Avançado (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer - ASTER*).

O sensor ASTER foi lançado em dezembro de 1999, a bordo do satélite Terra. Possui capacidade de imageamento nas faixas espectrais do visível ao infravermelho termal através de 14 bandas, que são distribuídas no visível, infravermelho próximo, infravermelho de ondas curtas e infravermelho termal (NASA, 2015a).

Os produtos GDEM são adquiridos através de um par estereoscópico de imagens do infravermelho próximo geradas no subsistema visível – infravermelho próximo utilizando dois sensores, um apontado ao nadir e outro apontado para trás.

Os dados GDEM abrangem 99% da superfície terrestre e adquire dados entre 83° norte e 83° sul. O produto é disponibilizado no formato GeoTIFF com coordenadas geográficas, resolução espacial de 1 arco-segundo (± 30 m) e referenciado ao geoide *Earth Gravitational Model* (EGM96). Sua precisão global estimada, porém, não garantida, é de 20 m na vertical e 30 m na horizontal, com 95% de confiança (SALGADO, 2011).

Devido à dimensão territorial da área de estudo, foram adquiridas três imagens do modelo digital de elevação, dos seguintes pontos: 28°S53°W; 28°S54°W; 28°S55°W. De posse das imagens, foi realizado o mosaico das mesmas, e posteriormente, o recorte do mosaico utilizando como máscara o limite da microrregião.

3.6 MODELAGEM GEOMORFOLÓGICA

O modelo digital de elevação obtido pelo sensor ASTER permitiu a realização da modelagem geomorfológica da área de estudo. Foram confeccionados três mapas geomorfológicos: hipsométrico, representado pelas seguintes classes de altitude (< 150 m, 150 – 300 m, 300 – 450 m, 450 – 600 m, 600 – 750 m); orientação de vertentes, dividida nas seguintes classes (plano, norte, oeste, sul e leste); e de declividade. Para a geração do mapa de declividade, a classificação seguiu os seguintes parâmetros (EMBRAPA, 1999, adaptado):

- Relevo plano: declividade menor que 8%;
- Relevo ondulado: declividade entre 8 e 20%;
- Relevo fortemente ondulado: declividade entre 20 e 45%;
- Relevo montanhoso: declividade maior que 45%;

O mapa de declividade foi realizado através da ferramenta *Slope* do aplicativo ArcMap. Para cada pixel, a ferramenta calcula a taxa máxima de mudança do valor a partir desse pixel para os seus vizinhos. O cálculo da declividade é apresentado na Equação 1 (ESRI, 2015a).

$$Slope = \text{ATAN} \left(\sqrt{[dz/dx]^2 + [dz/dy]^2} \right) \quad (1)$$

em que:

[dz/dx]: taxa de variação da superfície em relação à horizontal;

[dz/dy]: taxa de variação da superfície em relação à vertical

Já o mapa de orientação de vertentes foi realizado a partir da ferramenta *Aspect*. Essa ferramenta identifica a direção da curva descendente da taxa máxima de mudança de valor de cada célula para seus vizinhos, podendo ser pensada como a direção de inclinação. O algoritmo usado nessa ferramenta é representado na Equação 2 (ESRI, 2015b).

$$\text{Aspect} = 57.29578 * \text{ATAN2} ([dz/dy] - [dz/dx]) \quad (2)$$

em que:

[dz/dx]: taxa de variação na direção X;

[dz/dy]: taxa de variação na direção Y.

3.7 AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DOS DADOS SOCIOECONÔMICOS

Os dados socioeconômicos foram adquiridos no sítio online e do banco de dados Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA) (IBGE, 2014). Foram adquiridos dados absolutos de população rural para cada município, de 1980 a 2010, com intervalos de 10 anos, e dados de produção florestal anual, de 2004 a 2013 (conforme disponibilidade), dividido em extração vegetal e silvicultura para os seguintes fins: produção para carvão vegetal, produção para lenha e produção para toras (IBGE, 2014).

3.8 MÉTRICAS DE PAISAGEM

A determinação desses índices foi obtida através da extensão *Patch Analyst*, dentro do aplicativo ArcMap (ESRI, 2015c). As 11 métricas da paisagem analisadas neste estudo são apresentadas na Tabela 4, distribuídas em cinco grupos.

Tabela 4 - Relação de métricas da paisagem utilizadas no estudo.

Grupo	Sigla	Métrica	Unidade	Observação
Área	CA	Área da classe	Hectares (ha)	Somatório das áreas de todas as manchas ou fragmentos florestais presentes na área.
Densidade e tamanho	MPS	Tamanho médio da mancha	Hectares (ha)	Soma do tamanho das manchas dividido pelo número de manchas.
	NUMP	Número de manchas	Adimensional	Número total de manchas na paisagem ou na classe.
	PSSD	Desvio padrão do tamanho	Hectares (ha)	Razão da variância do tamanho das manchas.
	PSCoV	Coefficiente de variação do tamanho	Porcentagem (%)	Desvio Padrão do tamanho da mancha dividido pelo tamanho médio da mancha multiplicado por 100.
Borda	TE	Total de bordas	Metros (m)	Extremidade total de todas as manchas. É a soma de perímetro de todas as manchas.
	ED	Densidade de bordas	m/há	Quantidade de extremidades relativa à área da paisagem.
Forma	MSI	Índice de forma médio	Adimensional	É igual a um quando todas as manchas forem circulares e aumenta com a crescente irregularidade da forma da mancha.
	MPFD	Dimensão fractal média da mancha	Adimensional	Os valores se aproximam de um para formas com perímetros simples e chega a dois quando as formas forem mais complexas.
Área central	TCA	Área central total	Hectares (ha)	O tamanho total das manchas.
	TCAI	Índice de área central total	Porcentagem (%)	Medida da quantidade relativa de área central na paisagem.

Fonte: McGarigal e Marks (1995, adaptado).

Para o cálculo das métricas de paisagem, foram utilizados os arquivos de fragmentação no formato *shapefile*. A distância de 60 m de borda foi adotada como padrão para o cálculo do índice de área central (WALDHOFF e VIANA, 1993; ALBANEZ, 2000; PEREIRA et al., 2001; COSTA, 2003; BORGES et al., 2004; FUSHITA, 2006). Com base em uma análise preliminar dos resultados, foram escolhidos os seguintes índices: índices de densidade de fragmentos; tamanho; forma dos fragmentos; índices de borda e área central.

3.9 ANÁLISE DOS DADOS

3.9.1 Mapeamento dos fragmentos florestais

A análise da fragmentação florestal foi realizada levando em conta o mapeamento multitemporal dos fragmentos florestais. Foram obtidas estatísticas de área dos fragmentos florestais de toda a área de estudo, de cada microrregião e de cada município, para cada ano mapeado, além do número de fragmentos florestais para cada unidade territorial descrita anteriormente. Os resultados são descritos na

forma de tabelas, gráficos e figuras, buscando representar da melhor maneira possível o padrão da cobertura arbórea entre os anos de 1985 a 2014.

Para capturar as variações ao longo do tempo, foram produzidos mapas e gráficos da cobertura arbórea por município e microrregiões. Os dados foram normalizados pela área de cada município, de forma a evitar problemas associados à unidade de área modificável (MAUP) (DARK e BRAM, 2007).

Na avaliação da dinâmica da cobertura florestal, foram computadas as variações entre 1985 e 2014. De forma a ressaltar os municípios que apresentaram as maiores variações, foi feita a subtração da área florestal de 2014 pela de 1985, resultando em um índice de diferença (mapas de diferenças). Para identificar as áreas com as maiores mudanças, foram elaborados mapas de transição, de forma a ressaltar das diferenças positivas e negativas (em relação a cobertura florestal) em distintos intervalos de tempo. Assim, foi possível identificar as áreas que não apresentaram mudanças, regiões que apresentaram um aumento da cobertura florestal e áreas em que se deu a redução da cobertura. Em relação às métricas da paisagem, foram obtidas as estatísticas da região como um todo, sem distinção de microrregiões, para cada ano mapeado, gerando perfis temporais de ecologia de paisagens.

Para evitar tendenciosidade associada a grandes fragmentos florestais, como o PET, TIG e TIN, instituídos por força de lei, a área dessas florestas foi excluída tanto da quantização da cobertura florestal, como da área do município. Isso foi necessário para evitar que houvesse um controle estatístico por parte desses grandes fragmentos florestais, que não necessariamente refletem a dinâmica da paisagem regional.

3.9.2 Análise socioeconômica

Para analisar as variações ao longo do tempo, foram produzidos mapas e gráficos por município e microrregiões da densidade-porcentagem da população rural. Assim como na análise da fragmentação florestal, os dados foram normalizados pela área de cada município, de forma a evitar problemas associados à unidade de área modificável.

Ainda na avaliação individual das características da população rural e da cobertura florestal, foram analisados os índices de produção de carvão vegetal e

silvicultura nas microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos. Essa análise visou capturar a tendência na última década (de acordo com a disponibilidade de dados).

Na avaliação da dinâmica da população rural, foram computadas as variações entre 1980 e 2010. De forma a ressaltar os municípios que apresentaram as maiores variações de população rural, foi feita a subtração da população rural de 2010 pela de 1980 (ou data disponível), resultando em um índice de diferença (mapas de diferenças). Esses mapas permitiram identificar os municípios com as maiores variações.

Através do cruzamento dos dados médios municipais de população rural e cobertura florestal para cada década avaliada, foi elaborado um gráfico de dispersão com o objetivo de mostrar as relações entre a dinâmica da população rural e os dados de cobertura florestal (tendência geral). É importante destacar que os dados foram agrupados de forma a aproximar ao máximo as datas dos mapeamentos com os dados da população rural examinados.

3.9.3 Geomorfologia

Inicialmente, foi realizada uma rápida discussão sobre as características das variáveis geomorfológicas estudadas. Essa avaliação é de caráter descritivo e permite uma comparação entre as duas microrregiões em estudo.

A modelagem topográfica foi integrada na análise dos dados, gerando estatísticas da fragmentação florestal das microrregiões para cada parâmetro geomorfológico estudado, visando compreender e explicar a influência desses parâmetros no processo de fragmentação florestal. Assim, a cobertura florestal para as diferentes décadas foi avaliada em função de cada classe das variáveis geomorfológicas. Por fim, uma discussão comparativa entre as duas microrregiões foi conduzida para ilustrar as principais diferenças e tentar elencar os parâmetros físicos do relevo que mais influenciam na cobertura florestal de cada região.

3.9.4 Rodovias

Para complementar a avaliação do impacto da ação antrópica sobre a distribuição dos fragmentos florestais, foram incluídas nas análises as principais rodovias que cortam a área de estudo. Em geral, as rodovias induzem a um maior uso da terra para fins agrícolas. Para isso, foi utilizado um arquivo vetorial das principais rodovias que cortam a região de estudo (IBGE, 2013) e realizado um *buffer* de 100 m de distância para cada lado da rodovia.

4 RESULTADOS

4.1 RELAÇÃO ENTRE POPULAÇÃO RURAL E COBERTURA FLORESTAL NO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL

4.1.1 Evolução da população rural das regiões

Foi observado um forte decréscimo da população rural em ambas as microrregiões - e municípios (Tabela 5). Na microrregião de Frederico Westphalen, são destacados os municípios de Rodeio Bonito, Palmitinho e Constantina. Rodeio Bonito possuía 137,7 habitantes/km² ocupando o espaço rural em 1980. Em 2010, esse número diminuiu para 18,1 habitantes/km², representando um decréscimo de 86,8% em 30 anos. O município de Palmitinho possuía 87,6 habitantes/km² ocupando o meio rural em 1980, e em 2010 esse índice caiu 71,9%, ficando com 24,6 habitantes/km². Constantina possuía 66,3 habitantes/km² ocupando o espaço rural em 1980, caindo para 16 habitantes/km² em 2010.

Tabela 5 - Densidade demográfica rural (hab./km²) nas microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos para as décadas de 1980 a 2010. Para alguns municípios, apenas os dados das últimas duas décadas estão disponíveis.

MICRORREGIÃO FREDERICO WESTPHALEN					MICRORREGIÃO TRÊS PASSOS				
MUNICÍPIO	1980	1991	2000	2010	MUNICÍPIO	1980	1991	2000	2010
Alpestre	41,1	34,3	24,7	17,7	Barra do Guarita	-	-	29,1	26,6
Ametista do Sul	-	-	44,9	37,4	Boa Vista do Buricá	64,9	54,6	26,8	20,2
Caiçara	31,2	26,2	21,6	18,3	Bom Progresso	-	-	20,4	13,2
Constantina	66,3	49,9	29,0	16,0	Braga	34,7	24,5	14,4	11,0
Cristal do Sul	-	-	24,9	19,4	Campo Novo	26,9	18,1	9,4	6,1
Dois Irmãos das Missões	-	-	6,4	4,7	Crissiumal	40,5	32,2	24,9	21,9
Engenho Velho	-	-	22,6	12,9	Derrubadas	-	-	8,1	6,3
Erval Seco	33,6	27,0	16,3	12,2	Dr Mauricio Cardoso	-	19,0	14,5	10,5
Frederico Westphalen	59,5	38,5	23,9	20,8	Esperança do Sul	-	-	22,4	16,3
Gramado dos Loureiros	-	-	16,0	13,2	Horizontalina	56,4	19,8	17,3	16,5
Iraí	41,4	33,0	20,1	19,9	Humaitá	51,7	24,6	20,4	14,8
Liberato Salzano	39,5	29,7	22,3	18,2	Miraguaí	45,7	31,5	25,1	21,5
Nonoai	48,4	28,3	8,6	6,4	Nova Candelária	-	-	26,6	20,8
Novo Tiradentes	-	-	24,5	21,5	Redentora	27,5	22,3	20,1	23,8
Novo Xingu	-	-	-	14,9	São Martinho	33,9	25,1	19,3	13,6
Palmitinho	87,6	69,5	30,4	24,6	Sede Nova	-	19,8	13,9	12,1
Pinheirinho do Vale	-	-	33,4	34,1	Tenente Portela	64,5	38,0	17,2	14,4
Planalto	57,5	53,6	24,0	19,9	Tiradentes do Sul	-	-	25,4	18,6
Rio dos Índios	-	-	17,3	12,1	Três Passos	112,6	82,0	24,3	18,3
Rodeio Bonito	137,7	102,4	22,5	18,1	Vista Gaúcha	-	26,6	24,8	20,1
Rondinha	27,3	20,5	16,3	12,7					
Seberi	38,2	30,4	19,6	16,5					
Taquaruçu do Sul	-	29,4	25,9	23,4					
Três Palmeiras	-	22,2	15,3	12,1					
Trindade do Sul	-	20,2	14,1	10,8					
Vicente Dutra	35,6	24,2	19,7	15,1					
Vista Alegre	-	31,3	25,2	21,0					
MÉDIA	27,6	24,8	21,1	17,6	MÉDIA	28,0	21,9	20,2	16,3

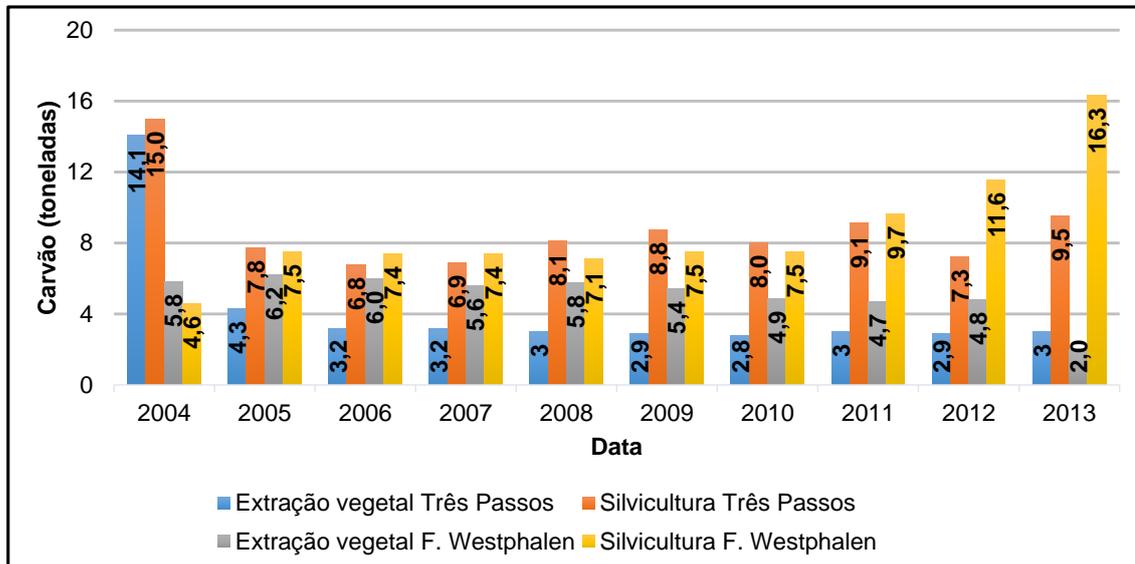
Fonte: IBGE (2014).

Na microrregião de Três Passos, os municípios de Três Passos, Tenente Portela e Boa Vista do Buricá apresentaram as maiores mudanças. Três Passos teve um decréscimo de 83,7% (94,3 hab./km²) de sua população rural de 1980 a 2010, enquanto o município de Tenente Portela teve um decréscimo de 77,7% (50,1 hab./km²). Já o município de Boa Vista do Buricá apresentou um decréscimo de 68,9% (64,9 habitantes/km² em 1980 para 20,2 habitantes/km² em 2010). Em termos gerais, ambas as microrregiões possuem taxas médias semelhantes de população rural. Na microrregião de Frederico Westphalen, o índice de população rural caiu 36,2% em 30 anos, enquanto na microrregião de Três Passos esse índice caiu 41,8%. Esses índices mostram as elevadas taxas de emigração da população rural, especialmente de jovens, nessas microrregiões, e permitem levantar a hipótese de um aumento de áreas abandonadas.

Quando os dados da população rural são analisados em paralelo à produção florestal para uso em carvão vegetal (Figura 10), verifica-se que as duas microrregiões apresentam a mesma tendência para o período de 2004 a 2013 (de acordo com a disponibilidade dos dados). Na microrregião de Três Passos, o carvão oriundo de extração vegetal apresentou um decréscimo acentuado entre 2004 e 2013, da ordem de 11,1 toneladas. Entretanto, essa diferença ocorre somente nos primeiros anos (2004 a 2006). Nos demais anos analisados, a produção torna-se pouco variável, oscilando em apenas 0,4 toneladas. Na microrregião de Frederico Westphalen, a produção de carvão através da extração vegetal teve uma variação menor, apresentando uma diferença produtiva de apenas 4,2 toneladas. Porém, observa-se uma pequena queda gradual da produção entre 2008 e 2013, diferentemente do que ocorre em Três Passos.

Em relação à produção de carvão vegetal por meio da silvicultura, a microrregião de Três Passos apresenta um comportamento alternado, ora de aumento, ora de queda na produção, enquanto na microrregião de Frederico Westphalen, a produção é estável entre 2005 e 2010, tendo um aumento gradual de produção a partir de 2011. Isso indica que ambas as regiões têm substituído áreas abandonadas por cultivadas para a produção de carvão vegetal. Assim, pode-se, *a priori*, esperar que ocorra uma redução do desmatamento de florestas nativas e um aumento das plantadas.

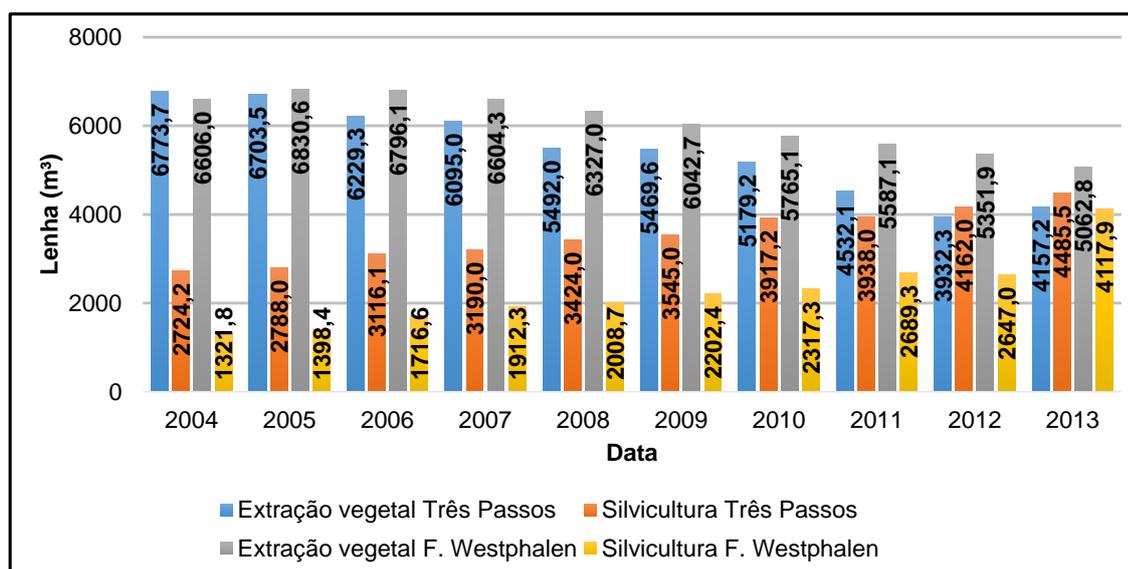
Figura 10 - Produção de carvão vegetal nas microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos para o período de 2004 a 2013.



Fonte dos dados: IBGE (2014).

A Figura 11 exibe as médias de produção florestal das microrregiões para uso em lenha. Observa-se que na microrregião de Frederico Westphalen, a produção de lenha oriunda de extração vegetal diminuiu 1.543,2 m³ em 10 anos, tendo um pequeno pico de crescimento entre 2004 e 2005, seguido de constantes quedas de produção de 2006 a 2013. Entretanto, a atividade silvicultural apresentou um padrão antagônico, com acréscimos durante todos os anos analisados, de 1.321,8 m³ no ano de 2004 para 4.117,9 m³ em 2013, com um incremento de 2.796,1 m³ de produção de lenha em 10 anos. Na microrregião de Três Passos, a produção de lenha obtida por extração vegetal apresentou queda em seus índices de 2004 a 2012, tendo um pequeno aumento em 2013. Mesmo assim, a produção de lenha entre 2004 e 2013 diminuiu 2.616,5 m³. Porém, na produção silvicultural a microrregião de Três Passos, assim como a de Frederico Westphalen, apresentou crescimento progressivo de 1.761,3 m³ de lenha em 10 anos. Apesar de os índices anuais de lenha serem maiores que os de Frederico Westphalen, Três Passos apresentou uma taxa de aumento menor entre 2004 e 2013.

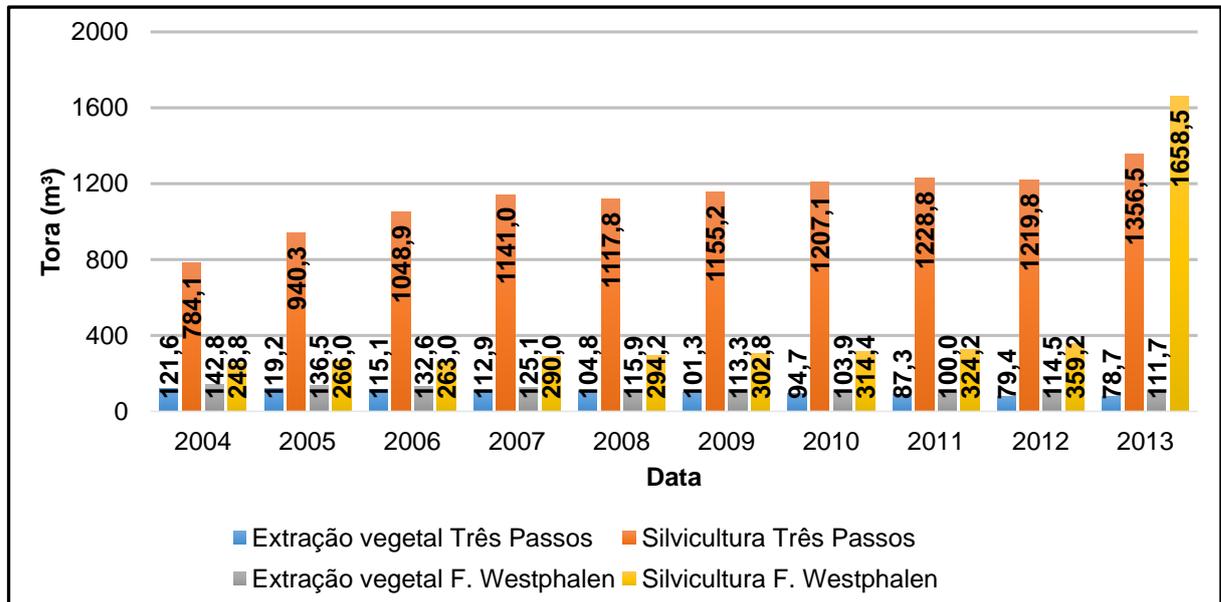
Figura 11 - Produção de lenha nas microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos para o período de 2004 a 2013.



Fonte dos dados: IBGE (2014).

O último aspecto analisado refere-se à exploração de madeira para toras - fustes (Figura 12). Na microrregião de Frederico Westphalen, a produção por meio da extração vegetal apresenta um gradual, porém pequeno decréscimo entre 2004 e 2013, de 142,8 m³ para 111,7 m³, uma diferença de 31,1 m³. Em relação às técnicas silviculturais, há um discreto aumento gradual da produção de toras entre os anos de 2004 e 2012, tendo um considerável aumento no ano de 2013. Assim, em 10 anos, a produção de tora a partir da silvicultura cresceu 1.409,7 m³. Na microrregião de Três Passos, a produção de toras por meio da extração vegetal tem o mesmo comportamento observado na microrregião de Frederico Westphalen. Apresentou um pequeno e gradual decréscimo entre 2004 e 2013, de 121,6 m³ para 78,7 m³, respectivamente, correspondendo a uma diferença de 42,9 m³. Em relação às técnicas silviculturais, a produção florestal alterna-se em períodos de aumento e decréscimo de seus índices; entretanto, a produção aumentou de 784,1 m³ para 1.355,5 m³ entre 2004 e 2013, respectivamente, um aumento de 571,4 m³.

Figura 12 - Produção de toras nas microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos para o período de 2004 a 2013.



Fonte dos dados: IBGE (2014).

Em suma, há indícios que levam a concluir que a redução da população rural demonstrada na Tabela 5 leva a um abandono de áreas de difícil acesso e cultivo. Assim, essas áreas são ocupadas por plantios de espécies exóticas, posteriormente utilizadas para a produção vegetal de carvão, toras e madeira-lenha. Por fim, essa transição parece ter como ponto de inflexão a década de 1980, que marcou a redução da população rural, grandes migrações de jovens e redução do tamanho das famílias. Essa nova conjuntura parece ter criado as condições ideais para o aumento da cobertura florestal reportada para algumas regiões do Rio Grande do Sul (LIMA E CUNHA et al., 2011; MARCHESAN et al., 2012; BENEDETTI et al., 2013).

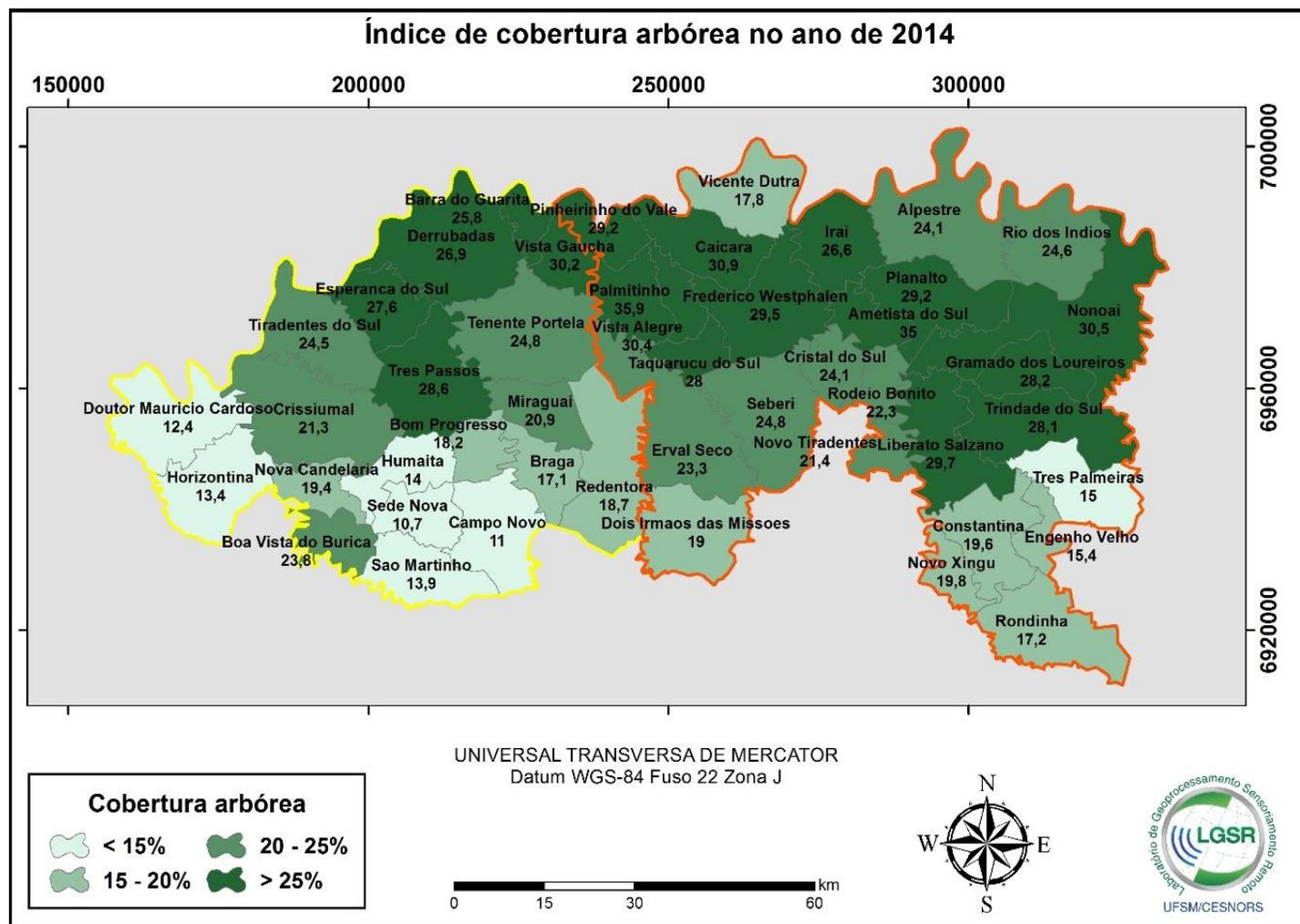
4.1.2 Variação da cobertura florestal

As Figuras 13 e 14 apresentam o índice de cobertura arbórea (relação entre a área territorial e a área ocupada por florestas) de cada município das microrregiões nos anos de 1985 e 2014, respectivamente. Em praticamente todos os municípios, observa-se um aumento no índice de cobertura arbórea, representando a maior ocupação de florestas em cada município. Na microrregião de Frederico

Westphalen, o maior crescimento do índice de cobertura arbórea foi identificado nos municípios de Ametista do Sul, com 27,2% de crescimento de florestas entre 1985 e 2014, Planalto com 19,4%, e Gramado dos Loureiros com 18,4%. Entretanto, os municípios de Dois Irmãos das Missões e Erval Seco apresentaram um decréscimo desse índice, de 0,6% e 0,7%, respectivamente. Isso significa que esses dois municípios, ao contrário dos demais, apresentaram uma pequena redução de florestas entre 1985 e 2014. Na microrregião de Três Passos, são destacados os municípios de Derrubadas, Tiradentes do Sul e Esperança do Sul, que apresentaram os maiores crescimentos de cobertura florestal entre 1985 e 2014, sendo 16,6%, 14,9% e 14%, respectivamente.

A análise da cobertura florestal mostra um nítido aumento de 1985 para 2014. Ao se comparar com os dados da população rural e produção vegetal, fica evidente a forte relação inversa entre os parâmetros demográficos e atividades extrativistas com a cobertura florestal.

Figura 14 - Índice de cobertura arbórea dos municípios pertencentes à região de estudo, no ano de 2014. Mapa elaborado a partir da interpretação visual das imagens Landsat 8 OLI.



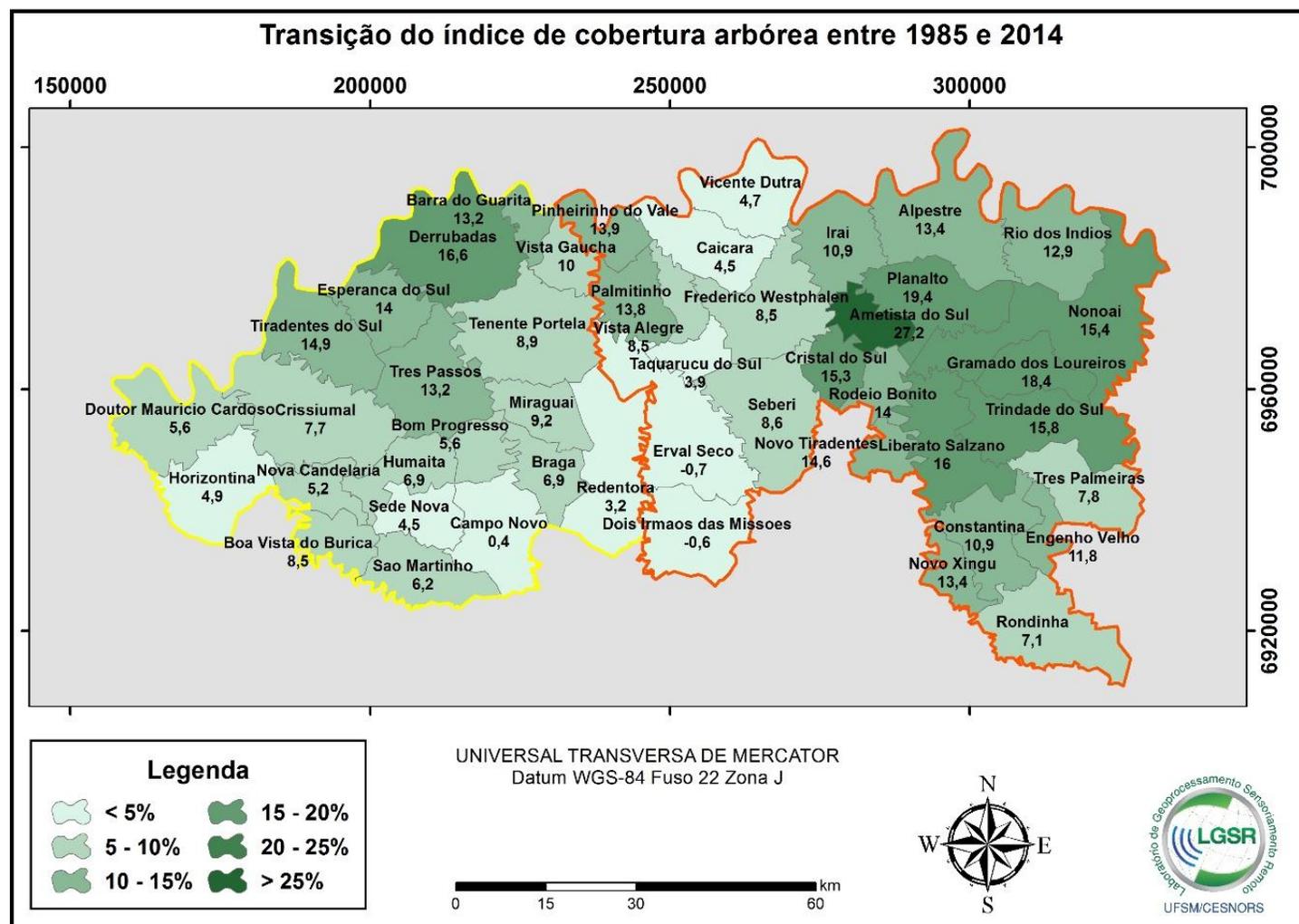
Fonte: O autor.

4.1.3 Êxodo rural *versus* cobertura florestal: Tendências

Para avaliar as relações levantadas nas seções anteriores, foram elaborados mapas de transição da densidade demográfica da população rural e do índice de cobertura florestal (mapas de diferença), conforme ilustram as Figuras 15 e 16, respectivamente. Na microrregião de Frederico Westphalen, os maiores índices de perda de população rural foram os municípios de Rodeio Bonito (119,6 hab./km²), Palmitinho (63 hab./km²) e Constantina (50,3 hab./km²). Na microrregião de Três Passos, os destaques são dados aos municípios de Três Passos (94,3 hab./km²), Tenente Portela (50,1 hab./km²) e Boa Vista do Buricá (44,7 hab./km²). Os municípios que não possuíam dados para a década de 1980 não foram analisados e estão em cinza na Figura 15. Dado o objetivo do trabalho, a discussão das causas do processo de êxodo rural nesses municípios foge do escopo do trabalho e demanda um estudo específico.

Em relação ao crescimento temporal do índice de cobertura arbórea para a microrregião de Frederico Westphalen, os municípios de Ametista do Sul, Planalto e Gramado dos Loureiros apresentaram as maiores taxas de crescimento, de 27,2%, 19,4% e 18,4%, respectivamente. Na microrregião de Três Passos, os municípios que apresentaram maior crescimento da cobertura florestal foram Derrubadas (16,6%), Tiradentes do Sul (14,9%) e Esperança do Sul (14%). Esta constatação mostra que em ambas as microrregiões, a área de cobertura de florestas (regeneração natural ou silvicultura) tem aumentado ao longo das décadas de 1980 a 2014 em concordância com resultados reportados na literatura (LIMA e CUNHA et al., 2011; MARCHESAN et al., 2012; BENEDETTI et al., 2013).

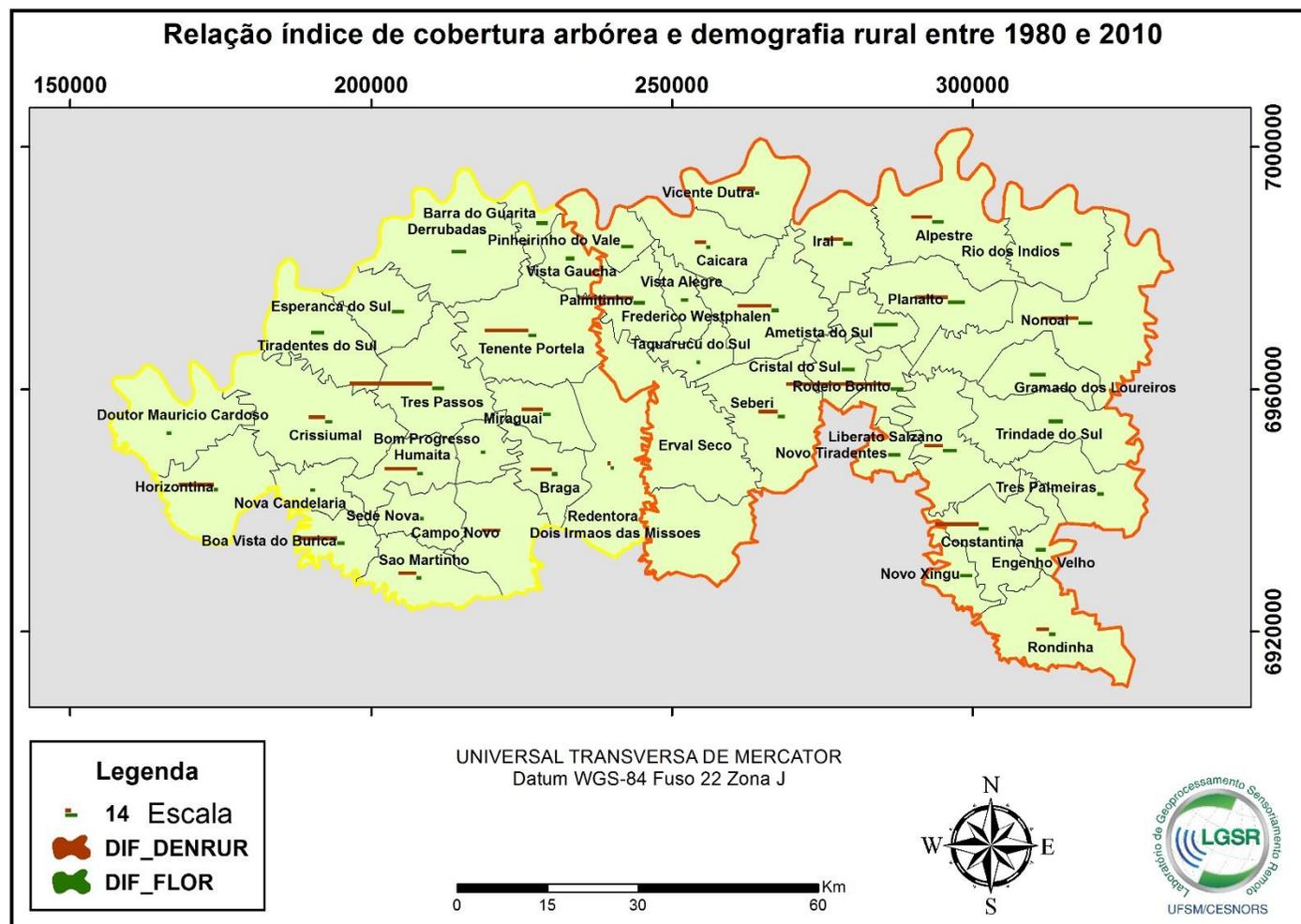
Figura 16 - Transição da cobertura arbórea entre 1985 e 2014. A legenda indica a porcentagem de aumento para cada classe.



Fonte: O autor.

A discussão remete a um questionamento: o aumento da cobertura florestal nas microrregiões é resultado indireto do aumento do êxodo rural? A Figura 17 apresenta a relação entre a transição da cobertura arbórea (aumento entre 1985 e 2014) e a densidade demográfica da população rural (decréscimo entre 1980 e 2010). Observa-se que alguns municípios possuem altas taxas de êxodo rural, porém baixas taxas de crescimento florestal. O município de Frederico Westphalen possui um decréscimo de 38,7 hab./km² e aumento de cobertura arbórea de 8,5%. O município de Planalto foi um dos municípios com maior aumento do índice de cobertura arbórea, com 19,4%, apresentando também uma alta taxa de êxodo rural, com decréscimo de 37,6 hab./km². Já o município de Redentora possui uma das menores taxas de êxodo rural, com decréscimo de 3,7 hab./km², e também apresenta os menores índices de crescimento arbóreo com 3,2%.

Figura 17 - Relação entre o índice de cobertura arbórea e as taxas de população rural para os municípios das microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos. Os dados reportam a diferença entre a década de 1980 e 2010.

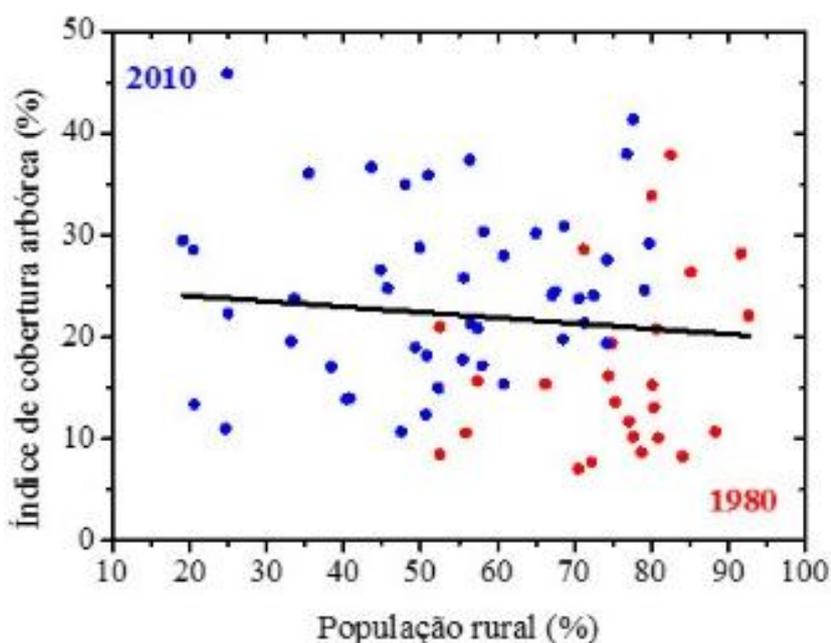


Fonte: O autor.

A relação entre o aumento da cobertura arbórea e redução da população rural pode ser vista quando se analisa o gráfico entre esses dados para os anos-limite das quatro décadas estudadas: 1980 e 2010 (Figura 18). Em geral, os resultados apresentam uma tendência de que quando havia uma maior densidade de população rural (décadas de 1980 e anteriores), houve um forte avanço de ocupação antrópica sobre as áreas de floresta nativa, incorrendo em um baixo índice de cobertura arbórea (em parte associado a política de expansão agrícola do governo). À medida que aumentou o êxodo rural (por motivos diversos), a força de trabalho no campo diminuiu e áreas de difícil cultivo/acesso foram abandonadas e/ou ocupadas por florestas cultivadas. Isso fica claro para os grupos vermelho (1980) e azul (2010) representados na Figura 18.

Cabe ainda destacar a criação de leis federais e estaduais bem como o aumento da fiscalização por parte do Estado nas últimas décadas do estudo. A atividade de extração passou a ser fiscalizada com mais rigor, induzindo (indiretamente) a uma maior conscientização por parte da população, e assim, a valorização da preservação do ambiente natural, assim como à recuperação de áreas de preservação permanente (APPs).

Figura 18 - Relação entre o índice de cobertura arbórea e população rural para os municípios das microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos. Os dados referem-se aos anos de 1980 a 2010.



4.2 AVALIAÇÃO DAS RELAÇÕES ENTRE OS PARÂMETROS DA MODELAGEM GEOMORFOLÓGICA E A COBERTURA FLORESTAL NO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL

4.2.1 Caracterização geomorfológica da região de estudo

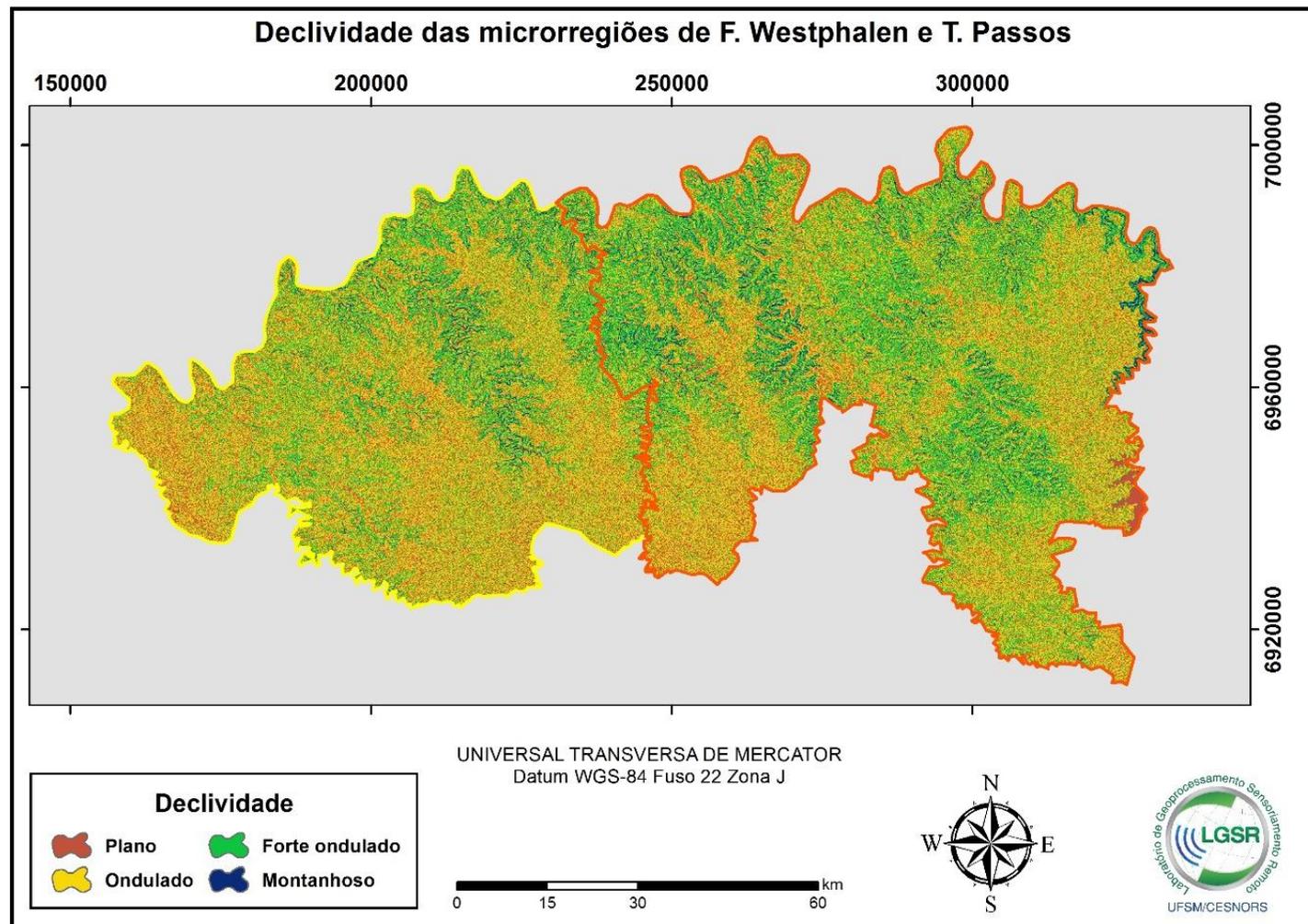
A Figura 19 apresenta o mapa de declividade, expressa em porcentagem, das microrregiões em estudo. Avaliando visualmente a Figura 19 e com base nos resultados da Tabela 6, constata-se que a maior parte da área de estudo apresenta um terreno ondulado (4.229,3 km²) e fortemente ondulado (2.698,5 km²). A classe de relevo que apresenta menor área é do tipo montanhoso (230,6 km² na microrregião de Frederico Westphalen e 102,7 km² em Três Passos). Esse resultado mostra que boa parte da área das microrregiões não é recomendada para uso agrícola devido ao controle do relevo (muito acidentado). Contudo, devido ao processo de colonização e ocupação do espaço geográfico nas décadas anteriores a 1950, aliado a altos índices de crescimento populacional, essas áreas acabaram por ser desmatadas e utilizadas para fins agrícolas. Nota-se que a microrregião de Frederico Westphalen concentra uma maior área de relevo fortemente ondulado e montanhoso, indicando um maior “potencial” para cobertura florestal.

Tabela 6 - Características das microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos quanto à declividade, com base no modelo de elevação relativo ASTER-GDEM.

MICRORREGIÃO	Plano		Ondulado		F. ondulado		Montanhoso	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
F. Westphalen	952,5	18,5	2.305,9	44,5	1.696,6	32,7	230,6	4,3
Três Passos	833,3	21,6	1.923,4	49,8	1.001,9	26,0	102,7	2,6
MÉDIA	1.785,8	20,0	4.229,3	47,2	2.698,5	29,4	333,3	3,4

Fonte: O autor.

Figura 19 - Classes de declividade, expressas em porcentagem, para as microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos, com base no modelo de elevação relativo ASTER GDEM.



Fonte: O autor.

Quanto à altitude, verificou-se que grande parte da área de estudo (42,2%) se concentra nas altitudes entre 300 e 450 m, enquanto que a menor área (1,2%) se encontra em altitudes menores que 150 m (próximas a grandes rios, como o Rio Uruguai) conforme Figura 20 e Tabela 7. Averiguando essas estatísticas para cada microrregião, verifica-se que a microrregião de Frederico Westphalen possui 80,5% de sua área nas altitudes entre 300 e 600 m, enquanto a microrregião de Três Passos possui 59,1% de área na mesma classe. A maior área ocupada pela microrregião de Três Passos concentra-se entre 150 e 450 m, com 85,1% de área, enquanto para essa mesma classe a microrregião de Frederico Westphalen ocupa 50,1% de área. Para a região de Três Passos, mais à jusante do Rio Uruguai, verificou-se uma maior concentração de áreas em altitudes menores (abaixo de 300 m), enquanto na microrregião de Frederico Westphalen essas áreas estão praticamente restritas às margens do Rio Uruguai e ao Rio da Várzea.

Tabela 7 - Variação da altitude das microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos com base no modelo de elevação relativo ASTER GDEM.

MICRORREGIÃO	< 150 m		150 - 300 m		300 - 450 m		450 - 600 m		> 600 m	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
F. Westphalen	0,2	0,0	663,3	12,8	1.931,9	37,3	2.241,6	43,2	348,6	6,7
Três Passos	89,2	2,3	1.468,3	38,0	1.817,0	47,1	486,8	12,6	0,0	0,0
TOTAL	89,4	1,2	2.131,6	25,4	3.748,9	42,2	2.728,4	27,9	348,6	3,4

Fonte: O autor.

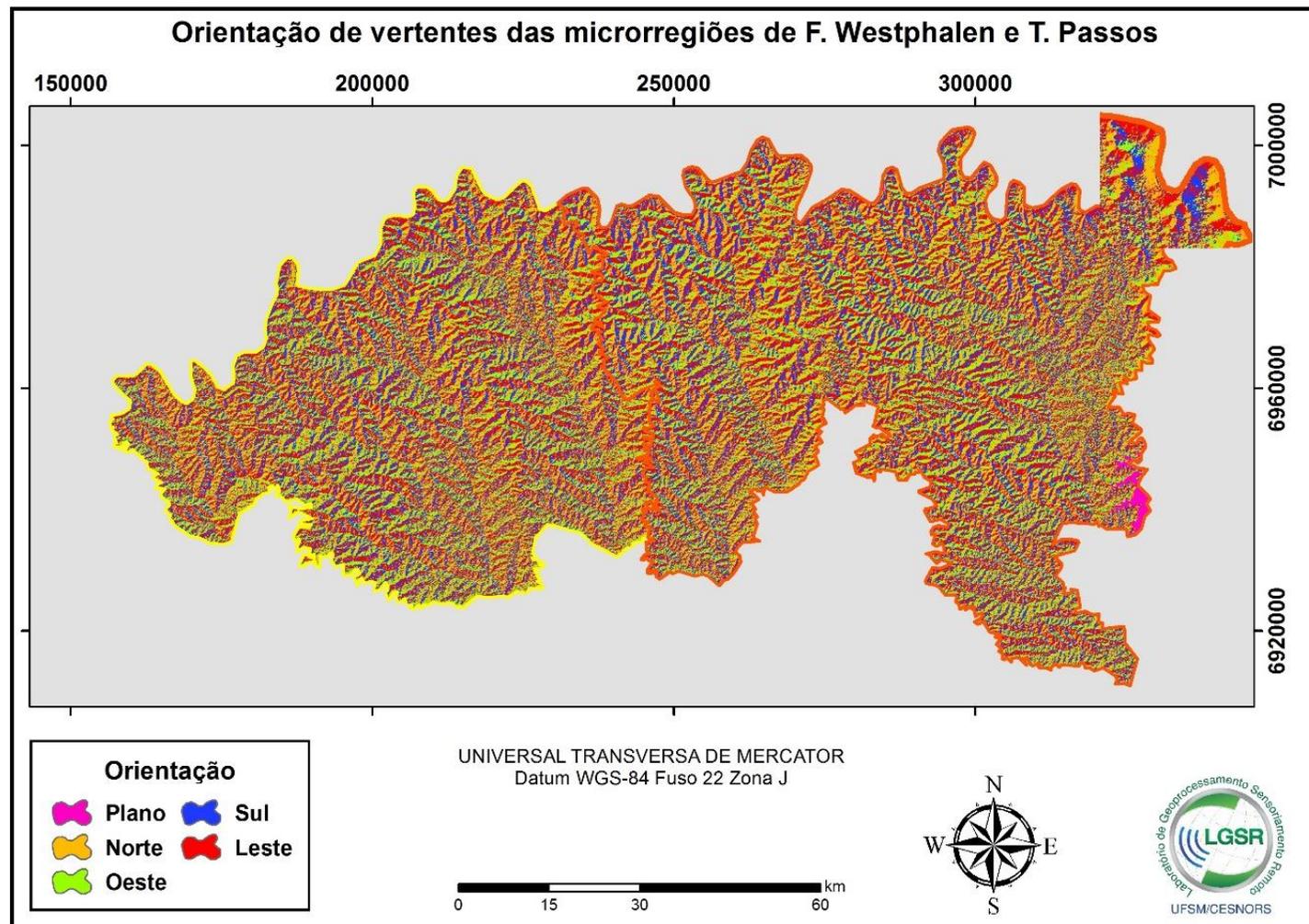
Constatou-se que 27,2% (2.495,7 km²) da região de estudo têm suas vertentes orientadas para o leste, enquanto a direção de orientação de menor área é a voltada para o norte, com 2.023,8 km² (22,4% da área total) (Figura 21 e Tabela 8). As microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos apresentam orientações de vertentes voltadas para o leste, ocupando 27,4% e 27,2% de suas áreas, respectivamente. De acordo com os resultados obtidos, há uma distribuição regular entre as classes de orientação, apresentando uma diferença de área de 471,9 km² entre a maior e a menor área. Em ambas as microrregiões, as áreas consideradas planas foram quase insignificantes ($\approx 1\%$).

Tabela 8 - Distribuição da orientação de vertentes para as microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos com base no modelo de elevação relativo ASTER GDEM.

MICRORREGIÃO	Plano		Norte		Oeste		Sul		Leste	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
F. Westphalen	63,1	1,2	1.162,7	22,4	1.278,5	24,7	1.252,2	24,3	1.429,2	27,4
Três Passos	29,1	0,8	861,1	22,3	971,4	25,3	933,3	24,4	1.066,5	27,2
TOTAL	92,2	1,0	2.023,8	22,4	2.249,9	25,0	2.185,4	24,4	2.495,7	27,2

Fonte: O autor.

Figura 21 - Classes de orientação de vertentes para as microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos com base no modelo de elevação relativo ASTER GDEM.



Fonte: O autor.

4.2.2 Variação da cobertura florestal

O mapeamento da fragmentação florestal a partir da análise visual das imagens de satélite demonstrou um aumento gradual dos fragmentos florestais nas microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos entre os anos de 1985 e 2014. A Tabela 9 apresenta os resultados obtidos para cada ano de estudo em cada microrregião. De 1985 a 1994, houve 10% de aumento dos fragmentos florestais, seguido de 15,2% entre 1994 e 2005, tendo seu maior aumento nos últimos 10 anos, com 18,4% de aumento nos fragmentos florestais. Isso demonstra cobertura florestal cada vez maior. No ano de 1985, na microrregião de Frederico Westphalen, 18,7% da paisagem era composta por florestas, chegando a 28,9% no ano de 2014, ou seja, um incremento de 10,2% de cobertura arbórea em 30 anos. Na microrregião de Três Passos, em 1985, 17,3% da paisagem era composta por florestas, passando para 24,9% em 2014, um aumento de 7,6%. Observa-se que a microrregião de Frederico Westphalen, além de apresentar maior dimensão territorial que a microrregião de Três Passos, apresenta um maior crescimento e ocupação de cobertura arbórea. A ocupação de vegetação florestal em toda a área de estudo teve um crescimento de 8,9% entre 1985 e 2014.

Tabela 9 - Área total e porcentagem da cobertura dos fragmentos florestais para cada microrregião de estudo, expressas em km².

MICRORREGIÃO	1985		1994		2005		2014	
	km ²	%						
F. Westphalen	968,3	18,7	1.084,8	20,9	1.282,1	24,7	1.498,3	28,9
Três Passos	668,5	17,3	718,0	18,6	796,1	20,6	963,2	24,9
TOTAL	1.636,8	18,0	1.802,8	19,8	2.078,2	22,6	2.461,5	26,9

Fonte: O autor.

Em relação ao número de fragmentos florestais na região de estudo, houve um crescente aumento de 1985 a 2005, entretanto, de 2005 a 2014, houve um decréscimo no número de fragmentos florestais (Tabela 10). Esse decréscimo pode ser explicado pela união de dois ou mais pequenos fragmentos que estão próximos, formando um único fragmento de maior dimensão.

Tabela 10 - Número de fragmentos florestais nas microrregiões de estudo para o período de 1985 a 2014.

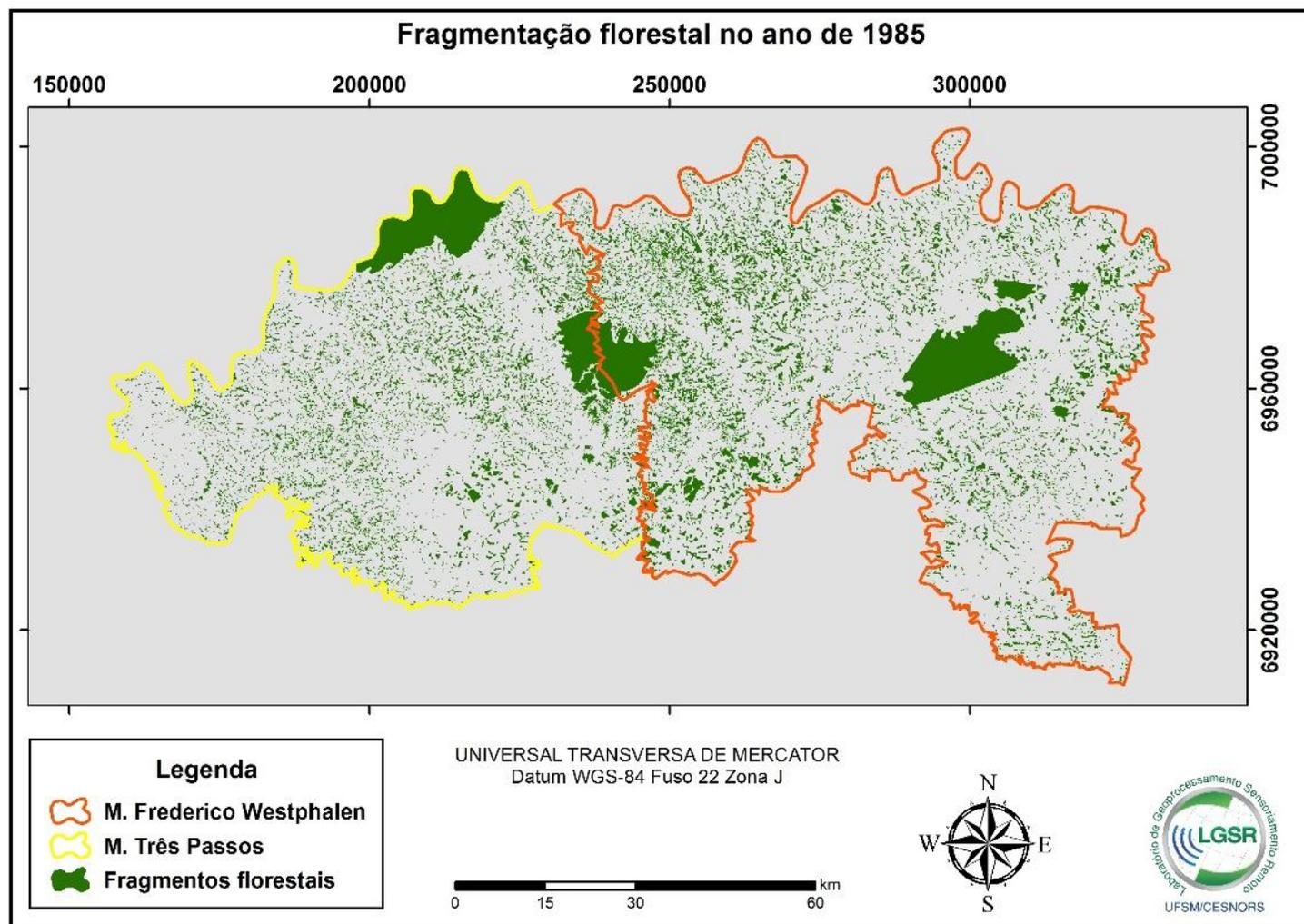
MICRORREGIÃO	1985	1994	2005	2014
Frederico Westphalen	5.016	13.817	16.138	9.703
Três Passos	5.016	9.144	9.612	5.972
TOTAL	10.032	22.961	25.750	15.675

Fonte: O autor.

De 1985 a 2005, o número de fragmentos florestais na região de estudo teve um crescimento significativo, cerca de 157%, passando de 10.032 para 25.750 fragmentos. Entretanto, de 2005 a 2014, o número de fragmentos teve um decréscimo de 39,1%, passando de 25.750 para 15.675 fragmentos. Comparando o número de fragmentos de cada microrregião, constata-se o grande salto no número de fragmentos da microrregião de Frederico Westphalen entre 1985 e 1994, com um incremento de 8.801 fragmentos em 9 anos, sendo que entre 1994 e 2005 houve novamente um incremento de 2.321 fragmentos florestais. A microrregião de Três Passos apresentou um incremento no decorrer dos anos, porém menor em relação à Frederico Westphalen. Entre 1985 e 1994, a microrregião de Três Passos teve um incremento de fragmentação florestal de 82,3% (4.128 fragmentos). De 1994 a 2005, o incremento foi muito baixo, apenas de 468 fragmentos (5,1%). Uma das explicações para o pequeno aumento dos fragmentos na microrregião de Três Passos em relação à Frederico Westphalen é a menor dimensão territorial daquela microrregião.

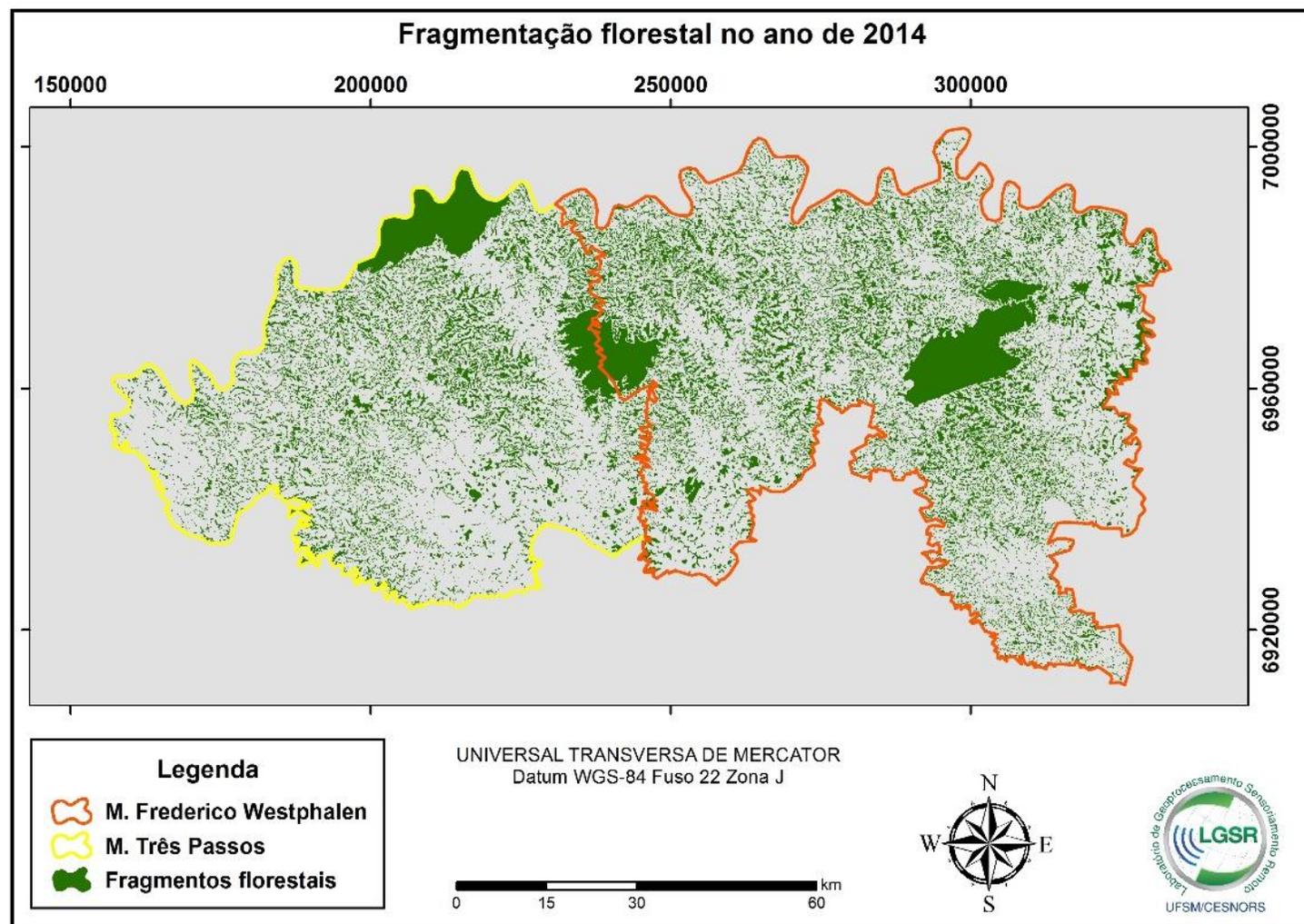
As Figuras 22 e 23 permitem ao leitor visualizar a distribuição dos fragmentos florestais em 1985 e 2014, respectivamente. Esse padrão de incremento da cobertura florestal está associado ao abandono de áreas agrícolas, redução da população rural, cumprimento da legislação ambiental e ao aumento da cobertura florestal de espécies comerciais (ROSA et al., 2016, *no prelo*), concordando com resultados reportados por outros autores para regiões do sul do Brasil (LIMA e CUNHA et al., 2011; VASCONCELLOS e BENEDETTI, 2011; MARCHESAN et al., 2012; BENEDETTI et al., 2013).

Figura 22 - Distribuição da fragmentação florestal no ano de 1985 nas microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos.



Fonte: O autor.

Figura 23 - Distribuição da fragmentação florestal no ano de 2014 nas microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos.

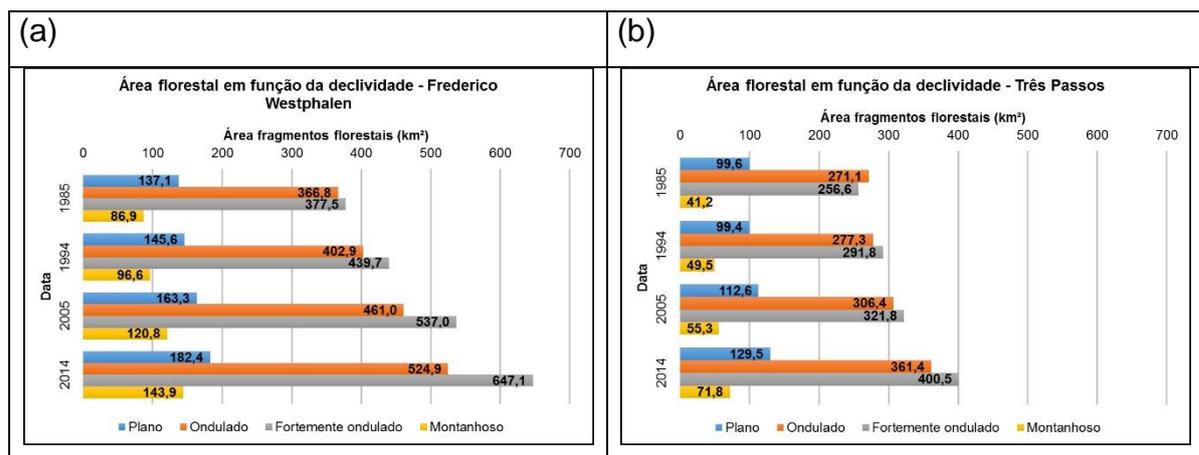


Fonte: O autor.

4.2.3 Relação entre fragmentos florestais e parâmetros geomorfológicos

A distribuição dos fragmentos florestais em função das classes de declividade para as microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos nos anos de 1985, 1994, 2005 e 2014 é apresentada na Figura 24. Pode-se observar que em todos os anos de estudo há um gradual aumento da área dos fragmentos florestais em todas as classes de declividade, mas a predominância de fragmentos florestais concentra-se nas classes ondulado e fortemente ondulado, conforme esperado. Em 1985, 634,1 km² de florestas ocupavam regiões fortemente onduladas; em 1994 esse índice aumentou para 731,5 km²; em 2005, eram 858,8 km², passando para 1.047,6 km² em 2014. Na microrregião de Frederico Westphalen (Figura 24a), há uma maior presença da classe de relevo fortemente ondulado quando comparado com a região de Três Passos (Figura 24b). Esse resultado mostra uma concordância com a hipótese de que regiões mais onduladas tendem a apresentar um aumento da cobertura florestal ou mesmo uma redução do desmatamento associados à agricultura de pequena escala que predomina nessa região (IZQUIERDO et al., 2011).

Figura 24 - Área de ocupação de fragmentos florestais nas diversas classes de declividade nas microrregiões de (a) Frederico Westphalen e (b) Três Passos.



Fonte: O autor.

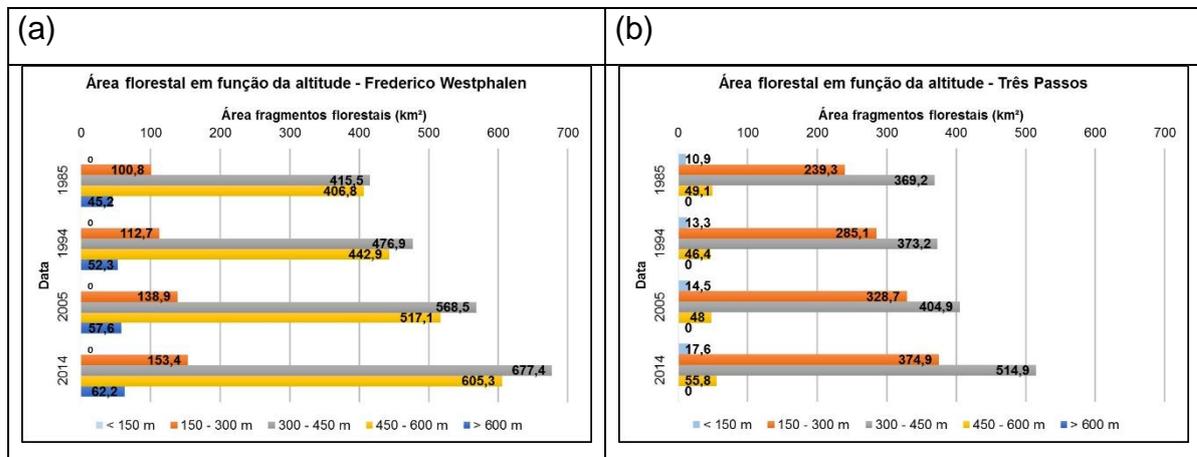
Esse aumento gradual da cobertura florestal no decorrer dos anos, em relevos com essas características, demonstra o abandono dessas áreas pelas

atividades agricultáveis. Possivelmente, essas áreas eram cultivadas na sua maior parte por métodos braçais (agricultura tradicional), sem nenhum ou com pouco auxílio de equipamentos. Com o desenvolvimento da agricultura, como o uso de implementos agrícolas, essas áreas foram abandonadas devido ao fato de que esses novos recursos tecnológicos não permitem o trabalho em áreas fortemente onduladas ou montanhosas. Assim, o abandono das atividades agricultáveis nessas áreas resultou indiretamente no aumento da cobertura arbórea através da regeneração e sucessão natural do ecossistema, bem como do plantio de espécies exóticas.

Observando as mesmas figuras (Figura 24a e Figura 24b), constata-se um aumento gradual da cobertura arbórea na classe de declividade plano, porém de menor proporção em relação a outras classes, durante o período de estudo. Esse aumento pode ser explicado pelo plantio comercial de espécies florestais e pelas políticas de conservação e recuperação de áreas degradadas.

A Figura 25 exibe os resultados da distribuição das áreas de fragmentos florestais nas classes de altitude das microrregiões de estudo nos anos de 1985, 1994, 2005 e 2014. Constata-se um aumento gradual na classe de altitude entre 300 e 450 m. Em 1985, 784,7 km² de florestas encontravam-se nessa faixa de altitude; em 1994, esse índice aumentou para 850,1; em 2005, eram 973,4, e em 2014, 1192,3 km². Nota-se um considerável aumento de área durante os anos analisados, tendo um incremento entre 1985 e 2014 de aproximadamente 408 km². Verificando os gráficos, pode-se observar a grande margem de diferença de área da microrregião de Frederico Westphalen (Figura 25a) em relação a Três Passos (Figura 25b) na classe altimétrica entre 450 e 600 m, variando de 350 a 550 km² de diferença. Já na classe altimétrica entre 150 e 300 m, a microrregião de Três Passos possui uma maior área de fragmentos florestais, variando de 135 a 225 km² a mais que a microrregião de Frederico Westphalen. A menor diferença de área de fragmentos florestais foi localizada na classe altimétrica menor que 150 m, variando de 10,9 a 17,6 km². Cabe destacar que não existe uma relação direta entre a ocorrência de fragmentos florestais e a altitude, contudo, as relações indiretas são passíveis de estudos futuros.

Figura 25 - Área de ocupação de fragmentos florestais nas diversas classes de altitude na microrregião de (a) Frederico Westphalen e (b) Três Passos.

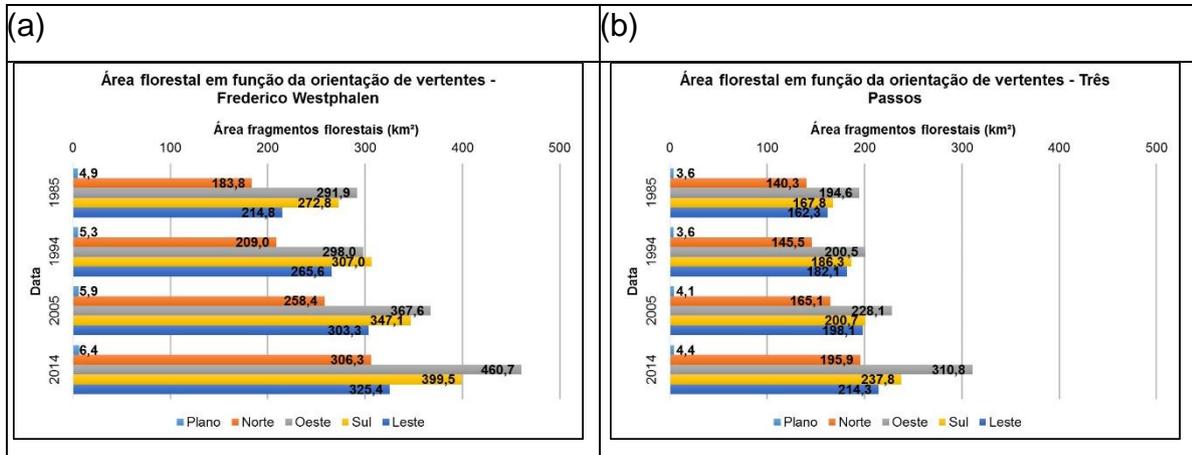


Fonte: O autor.

A distribuição da área florestal em função da orientação de vertentes nas microrregiões de estudo nos anos de 1985, 1994, 2005 e 2014 é ilustrada na Figura 26. Na microrregião de Frederico Westphalen (Figura 26a), a direção de orientação possuidora de maior área florestal foi a oeste, apresentando um crescente aumento no decorrer dos anos. Entre os anos de 1985 e 1994, a área florestal inserida na direção oeste teve um discreto aumento, de 291,9 para 298 km², passando a ter um aumento significativo entre 1994 e 2005 (incremento de 69,6 km²), e de 2005 a 2014 (incremento de 93,1 km²). A menor porção de área florestal foi ocupada pela direção norte, tendo 183,8 km² em 1985, e 306,3 km² em 2014.

Já a microrregião de Três Passos (Figura 26b), assim como a microrregião de Frederico Westphalen, possui sua maior área de cobertura florestal na direção oeste, entretanto, apresentando um incremento menor em relação à microrregião vizinha. Em 1985, a microrregião apresentava 194,6 km² de cobertura arbórea na direção oeste, tendo um aumento para 200,5 km² em 1994; em 2005, esse índice aumentou para 228,1 km², e novamente aumentou para 310,8 km² em 2014. De 1985 a 2014, a microrregião de Três Passos teve um incremento de cobertura florestal na direção oeste de 116,2 km², um índice menor do que o encontrado na microrregião de Frederico Westphalen, que apresentou um incremento de 168,8 km².

Figura 26 - Área de ocupação de fragmentos florestais nas diversas classes de orientação de vertentes na microrregião de (a) Frederico Westphalen e (b) Três Passos.



Fonte: O autor.

Os resultados da influência indireta da orientação de vertentes mostram que houve uma maior procura por áreas iluminadas para o estabelecimento de campos agrícolas no decorrer da colonização (mesmo que de forma inconsciente).

As vertentes voltadas para o sul e oeste possuem a maior incidência de cobertura florestal. Isso ocorre em função da menor exposição aos raios solares dependendo da época do ano e maior incidência de massa de ar úmida, o que aumenta a resiliência e resistência desses ambientes à ação antrópica (MIRANDA et al., 1983; OLIVEIRA et al., 1995; MARQUES et al., 2004; SÁ, 2006; BARBOZA, 2007; MELLO, 2009; PELOSO, 2009). Já as vertentes voltadas para norte são preferidas ao cultivo agrícola, possuem maior oferta de energia solar, menor incidência de pragas e doenças e maior fragilidade às ações antrópicas como incêndios (RODRIGUES et al., 2003; MATA, 2006; CORRÊA, 2008; MATTOS JUNIOR, 2008; MELLO, 2009; SANTOS, 2011), dificultando a evolução da sucessão ecológica nessas áreas em função do manejo constante.

A orientação das encostas é um elemento interferente na precipitação e umidade, já que as chuvas são controladas por correntes de vento, podendo refletir na quantidade de chuva em função de a encosta estar mais ou menos exposta aos ventos mais úmidos (CALASANS, 1998), o que pode influenciar inclusive a diversidade de espécies e, portanto, na restauração ambiental. Assim, a priorização de espécies florestais adaptadas às condições locais de cada vertente pode exercer

papéis diferenciados na dinâmica do ecossistema, aumentando, assim, a oferta de serviços ambientais (SILVA, 2006; COTINES, 2011).

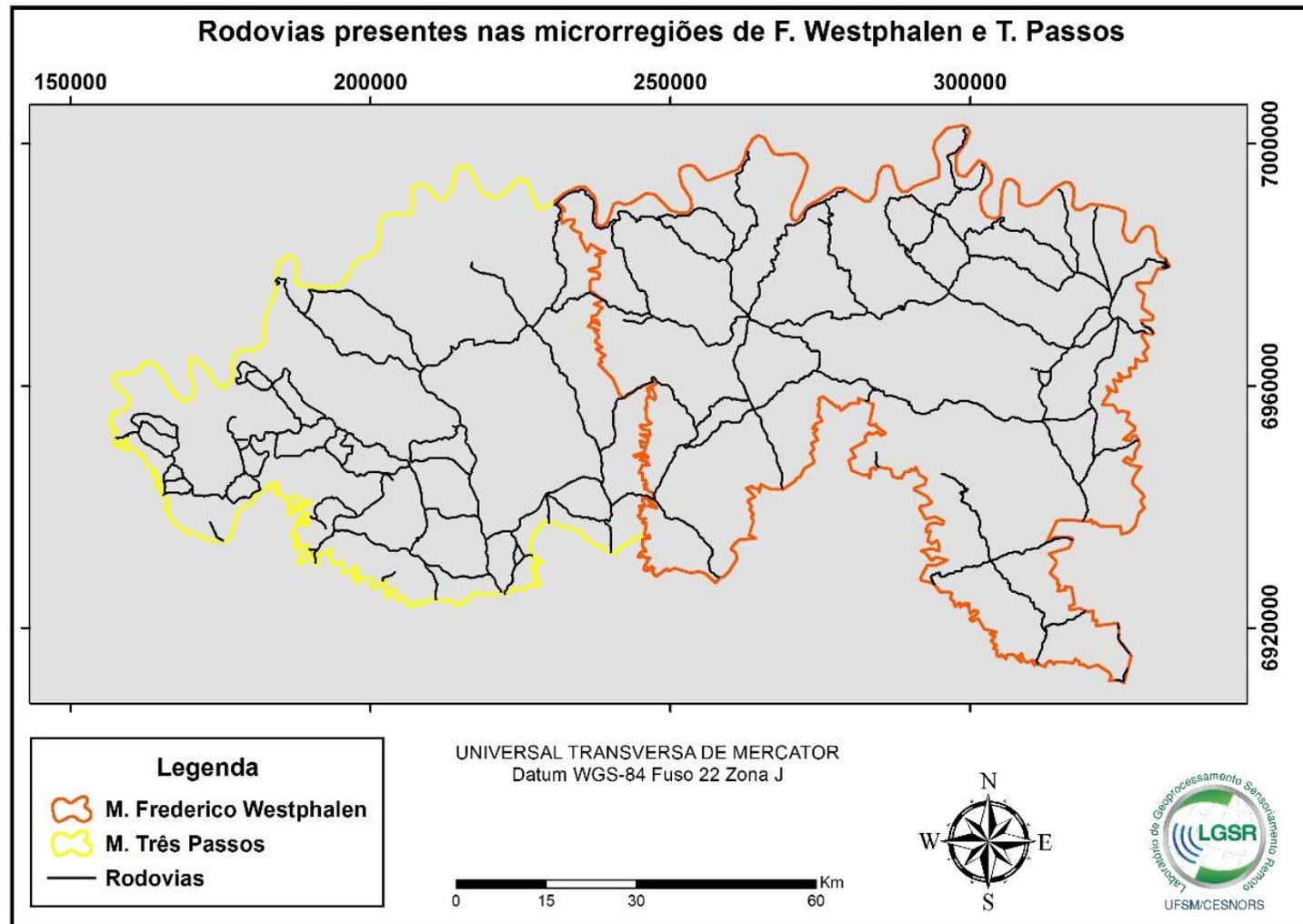
Apesar de não ser um aspecto geomorfológico, as rodovias (Figura 27) interferem diretamente na dinâmica do uso e ocupação da terra. A Tabela 11 apresenta o efeito das rodovias sobre a vegetação florestal. Pode-se observar que, embora ocorra um aumento da porcentagem de florestas durante os anos, o índice de cobertura arbórea ainda é baixo. Atualmente, na microrregião de Frederico Westphalen, somente 13% das encostas das rodovias são cobertas por vegetação nativa, subentendendo-se que 87% são ocupados por outros usos e coberturas, principalmente a agricultura. Na microrregião de Três Passos, esse índice é ainda menor, totalizando 10,6%.

Tabela 11 - Índices de cobertura florestal presente nas encostas das rodovias nas microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos.

MICRORREGIÃO	1985		1994		2005		2014	
	km ²	%						
F. Westphalen	11,1	6,4	15,2	8,7	19,4	11,1	22,6	13,0
Três Passos	9,1	6,7	10,4	7,6	12,6	9,2	14,5	10,6
TOTAL	20,2	13,1	25,6	16,3	32,0	20,3	37,1	23,6

Fonte: O autor.

Figura 27 - Rodovias presentes nas microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos.



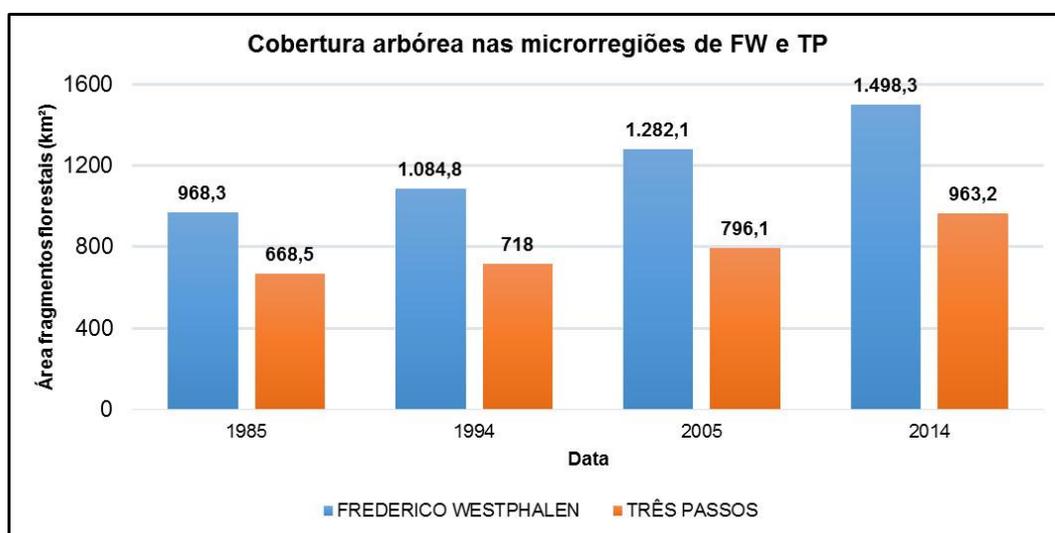
Fonte dos dados: IBGE (2013).

4.3 DINÂMICA DE FRAGMENTOS FLORESTAIS NO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL

4.3.1 Variação da cobertura florestal

O mapeamento da fragmentação florestal a partir da análise visual das imagens de satélite demonstrou um aumento gradual dos fragmentos florestais nas microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos entre os anos de 1985 e 2014. A Figura 28 ilustra os resultados obtidos para cada ano de estudo em cada microrregião. Constata-se um aumento gradual na área dos fragmentos florestais na região de estudo. De 1985 a 1994 houve 9,2% de aumento dos fragmentos florestais, seguido de 15,2% entre 1994 e 2005, tendo seu maior aumento nos últimos 10 anos, com 18,4% de aumento nos fragmentos florestais. Isto demonstra uma ocupação cada vez maior de florestas na região de estudo.

Figura 28 - Área total dos fragmentos florestais para cada microrregião de estudo, expressas em km².

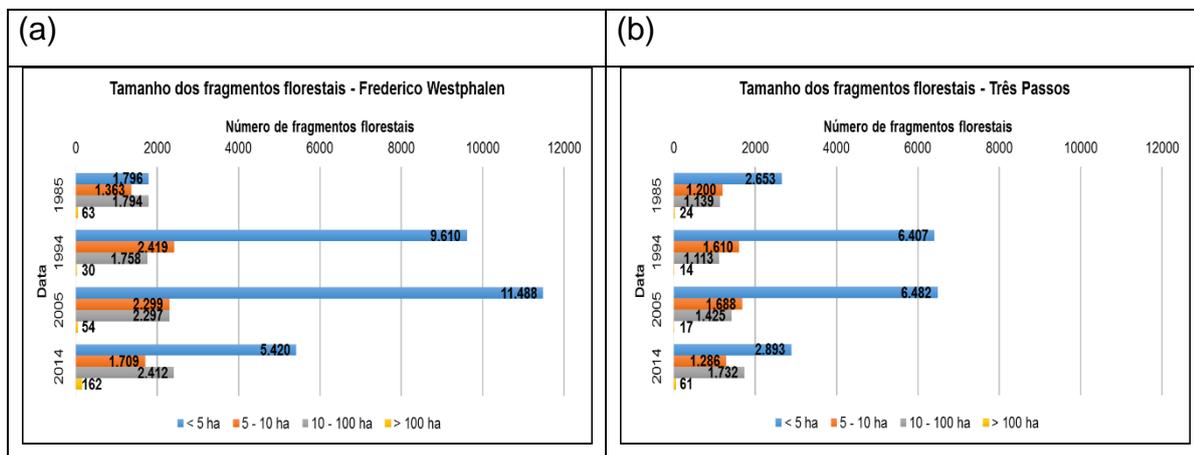


Fonte: O autor.

A análise da fragmentação florestal permitiu obter resultados de fragmentos por classes de tamanho para cada microrregião de estudo. As Figuras 29a e 29b exibem os resultados para a microrregião de Frederico Westphalen e Três Passos, respectivamente. Observa-se que apesar de a microrregião de Três Passos ter uma

menor dimensão territorial que a microrregião de Frederico Westphalen, ela apresenta um maior número de fragmentos florestais muito pequenos (menores que 5 ha), com 857 fragmentos a mais que a microrregião de Frederico Westphalen no ano de 1985. Entretanto, nas demais classes de tamanho, a microrregião de Frederico Westphalen apresenta maior número de fragmentos. Isso mostra que o uso agrícola mais intenso provoca uma forte pressão sobre os fragmentos florestais de pequeno porte, podendo levar a sua eliminação. Nesse ponto cabe mencionar que boa parte dos municípios da Microrregião de Três Passos compõe o território conhecido como Região Celeiro, remetendo ao caráter fortemente agrícola da região. No caso de fragmentos pequenos (de 5 a 10 ha), a microrregião de Frederico Westphalen possui 13,6% a mais de fragmentos que Três Passos; no caso dos fragmentos médios (de 10 a 100 ha), essa diferença aumenta para 57,5%. Em relação aos fragmentos grandes (maiores que 100 ha), a microrregião de Frederico Westphalen possui 162,5% a mais de fragmentos que a microrregião de Três Passos.

Figura 29 - Número de fragmentos florestais por classes de tamanho para as microrregiões de (a) FW e (b) TP.



Fonte: O autor.

No ano de 1994, constata-se um aumento significativo de fragmentos florestais muito pequenos e pequenos em relação ao ano de 1985, porém se constata um decréscimo de fragmentos florestais médios e grandes. Verifica-se a maior predominância de fragmentos florestais na microrregião de Frederico Westphalen em todas as classes de tamanho. No caso dos fragmentos muito

pequenos, a microrregião de Frederico Westphalen possui 50% mais fragmentos que Três Passos. No caso dos fragmentos pequenos essa diferença aumenta para 50,2%, um índice muito expressivo se comparado ao ano de 1985, que foi de apenas 13,6%. Em relação aos fragmentos médios, a microrregião de Frederico Westphalen apresentou 57,9% a mais de fragmentos em relação à microrregião de Três Passos, um pouco acima do encontrado para a mesma classe de tamanho no ano de 1985 (57,5%). O número de fragmentos grandes sofreu uma redução de aproximadamente 50% em relação a 1985.

No ano de 2005, assim como em 1994, Frederico Westphalen mantém a dominância de fragmentos florestais em relação a Três Passos. A microrregião de Frederico Westphalen possui 5.006 fragmentos muito pequenos (77,2%) a mais que Três Passos. No caso dos fragmentos pequenos, Frederico Westphalen apresenta 611 fragmentos (36,2%) a mais que Três Passos. Em relação aos fragmentos médios, a diferença de fragmentos entre as microrregiões é de 61,2% (872 fragmentos). Para o caso dos fragmentos grandes, houve um aumento de 80% em relação a 1994 na microrregião de Frederico Westphalen e 21,4% na microrregião de Três Passos.

Já em 2014, houve uma brusca queda no número de fragmentos muito pequenos em relação ao ano de 2005. Na microrregião de Frederico Westphalen, a queda no número de fragmentos chegou a 52,8% (6.068 fragmentos), enquanto em Três Passos esse índice chegou a 55,4% (3.589 fragmentos). No caso dos fragmentos pequenos, em relação a 2005, as microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos tiveram um decréscimo de 25,7% e 23,8%, respectivamente. Em relação aos fragmentos médios houve um aumento de 5% e 21,5% nas microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos, respectivamente. Quanto aos fragmentos grandes, Frederico Westphalen teve um aumento de 108 fragmentos e Três Passos um aumento de 44 fragmentos.

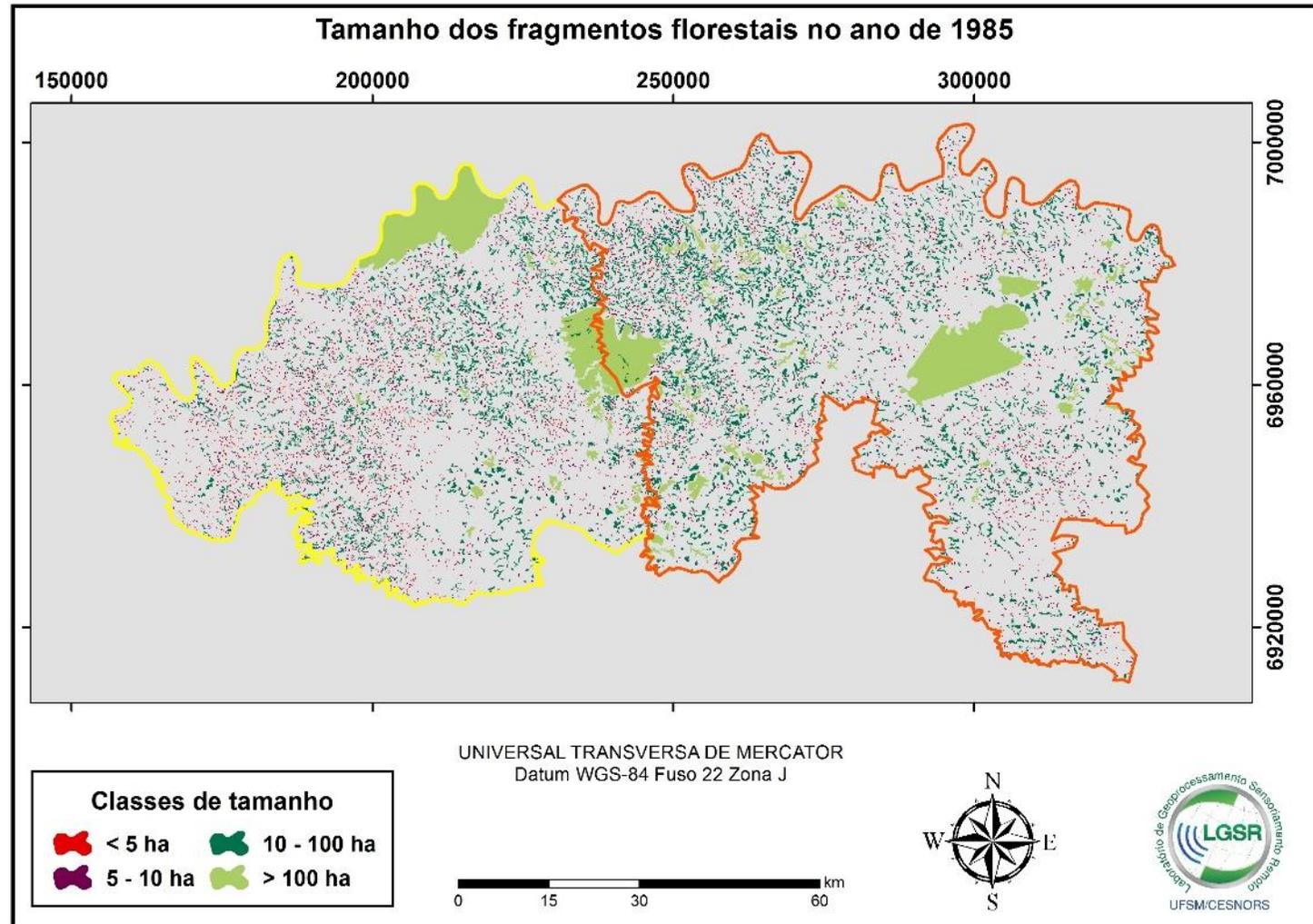
Comparando a fragmentação florestal de 1985 e 2014 (Figuras 30 e 31, respectivamente) observa-se claramente um aumento significativo de fragmentos médios (10 – 100 ha). Em relação aos fragmentos grandes, também se pode visualizar o aumento do número de fragmentos, sobretudo na microrregião de Frederico Westphalen. Aparentemente, até a década de 1990 houve uma menor recuperação de áreas e a partir de 2000 ocorre uma maior recuperação de áreas florestais nativas. Essa maior recuperação de áreas levou a uma consolidação de

alguns fragmentos e até mesmo à sua expansão, agrupando outros fragmentos. Assim, verificou-se no mapeamento de 2014 que o número de fragmentos identificados foi menor que nas décadas anteriores, apesar do aumento da área florestal.

A análise da transição de 1985 a 2014 é ilustrada quantitativamente e espacialmente na Figura 32. Os dados quantitativos mostram que houve um ganho de 1.258,1 km² de florestas. Isso significa que em 2014 foram mapeados 1.258,1 km² que não foram mapeados no ano de 1985. Da mesma forma, houve uma perda de 433,4 km², ou seja, fragmentos mapeados em 1985 e que não foram identificados no mapeamento de 2014. Já os fragmentos constantes, aqueles que foram detectados tanto no mapeamento de 1985 quanto no de 2014, totalizaram uma área de 1.081,3 km².

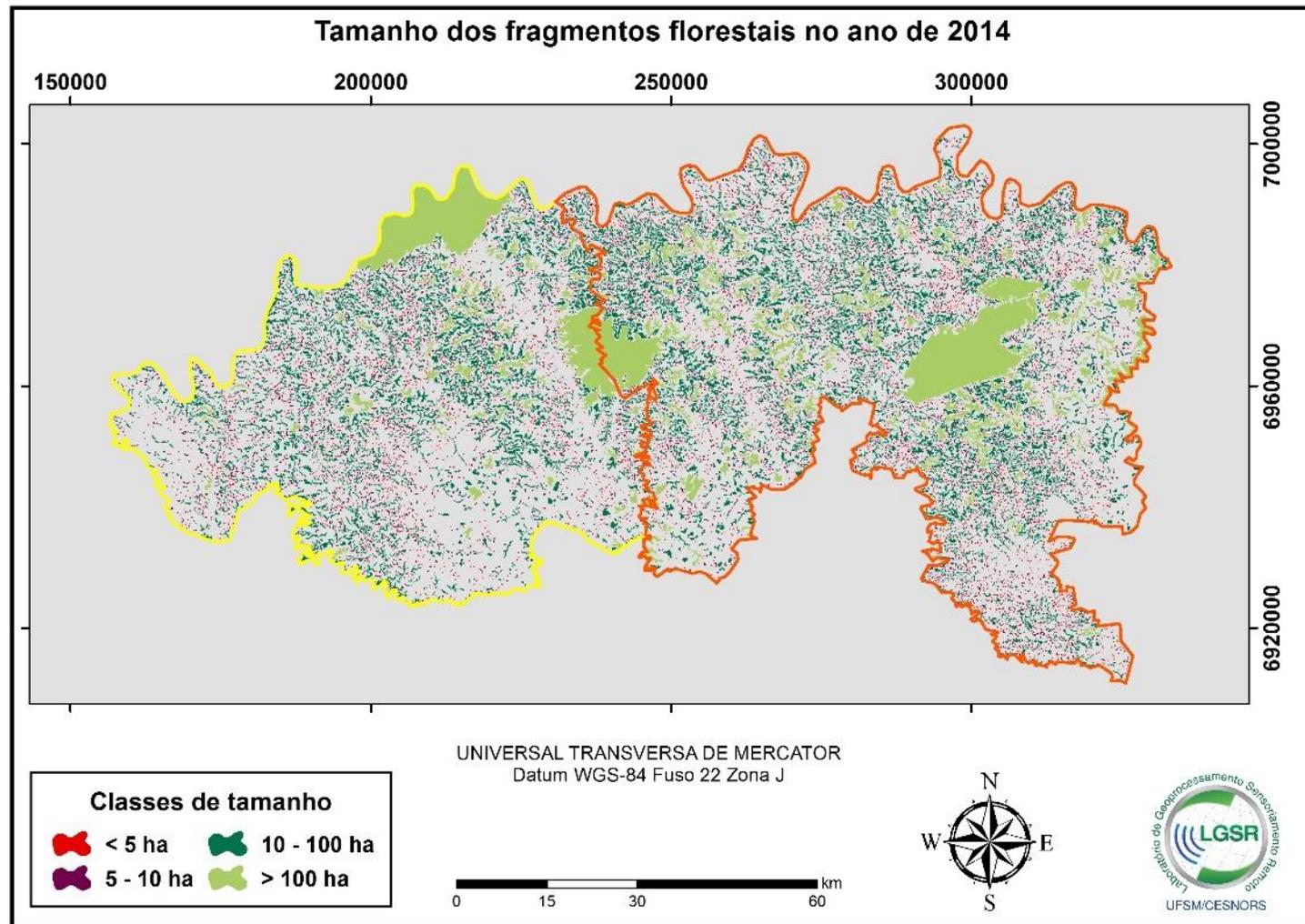
Em relação as quantizações apresentadas, é importante considerar que o mapeamento foi realizado com imagens de média resolução espacial (30 m). Teoricamente, com essa resolução, fragmentos com menos de 900 m² não são passíveis de identificação. Ademais, o georreferenciamento também pode introduzir pequenos erros (co-registro). Isso tudo, pode levar a pequenas mudanças nos resultados, mas não interfere nas tendências identificadas.

Figura 30 - Tamanho dos fragmentos florestais, por classes de tamanho, referente ao ano de 1985.



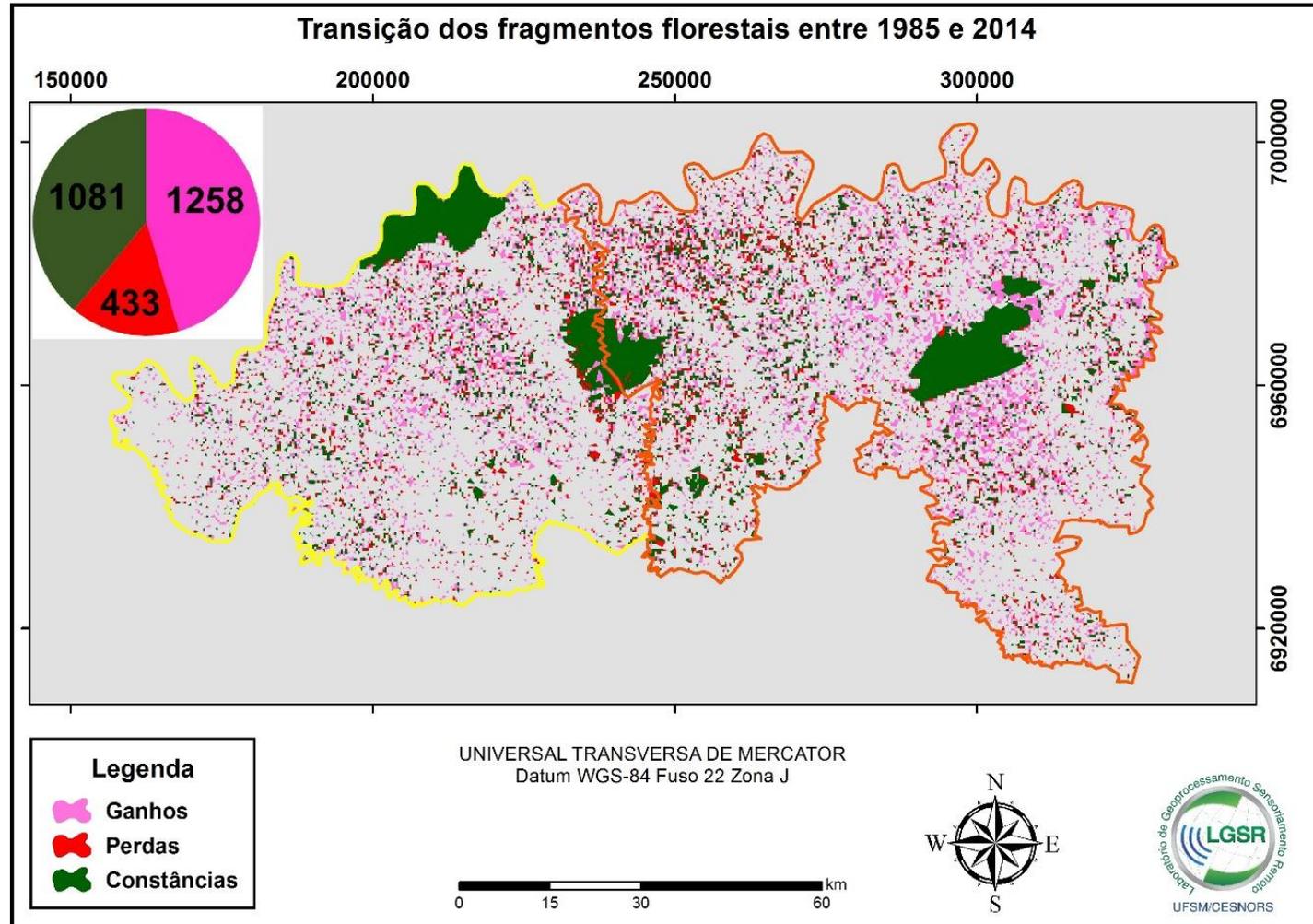
Fonte: O autor.

Figura 31 - Tamanho dos fragmentos florestais, por classes de tamanho, referente ao ano de 2014.



Fonte: O autor.

Figura 32 - Espacialização da transição de cobertura florestal no período de 1985 a 2014. O gráfico de pizza indica as perdas e ganhos em km² para o período analisado.



Fonte: O autor.

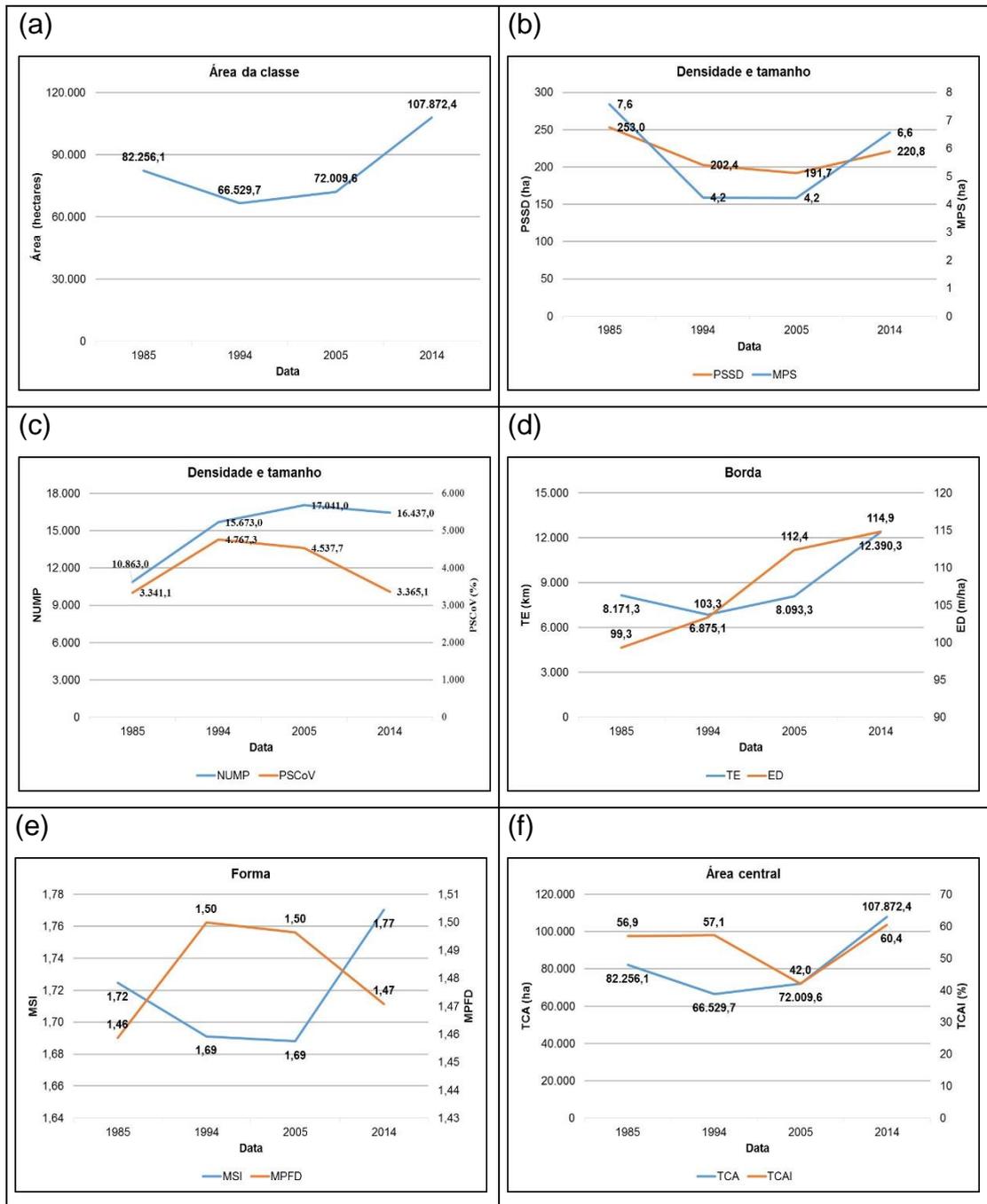
4.3.2 Métricas de paisagem

O monitoramento da fragmentação florestal a partir de métricas de paisagem possibilitou determinar um aumento da área florestal da região (Figura 33a). Em 1985 a região ocupava 82.256,1 ha de florestas, tendo dois decréscimos sucessivos nos anos de 1994 e 2005, e um significativo aumento em 2014 (107.872,4 ha), representando um crescimento de 31,1% em relação a 1985. O tamanho médio da mancha apresentou oscilações nos anos analisados, possuindo em 1985 área média de 7,6 ha, sendo que nos anos subsequentes a área média da mancha diminuiu para 4,2 ha, enquanto no ano de 2014 a área média teve um crescimento de 57,1% em relação a 2005 (Figura 33b). McGarigal et al. (2002), salientam que o tamanho médio dos fragmentos (MPS) é considerado bom indicativo do grau de fragmentação, por ser função do número de fragmentos e da área total ocupada pela classe. Dessa forma, paisagens que apresentam menores valores para tamanho médio de fragmento devem ser consideradas como mais fragmentadas. Em relação ao desvio padrão do tamanho da mancha (*Patch Surface Standard Deviation* - PSSD) ocorreu uma pequena queda no decorrer do tempo, de 253 em 1985 para 220,8 em 2015. Estes valores são considerados altos, e indicam uma grande variação dos tamanhos dos fragmentos, ou seja, manchas com valores de área muito acima e/ou muito abaixo do valor médio. De acordo com Pereira et al. (2007) o tamanho médio dos fragmentos (*Mean Patch Surface* – MPS) deve ser analisado examinando-se o desvio padrão. Se o desvio padrão for muito grande, é possível que haja grandes fragmentos, mesmo com um tamanho médio relativamente baixo. Isso é claramente observado na região de estudo, onde se verificam três fragmentos de grande área, muito embora os fragmentos de menor área sejam predominantes na paisagem.

O número de fragmentos florestais foi outro elemento importante no estudo. Conforme resultados encontrados através das métricas de paisagem “número de manchas” (*Number of Patches* – NUMP) e “coeficiente de variação do tamanho da mancha” (*Patch Surface Coefficient of Variation* – PSCoV) (Figura 33c), o número de fragmentos florestais apresentou crescimentos sucessivos entre 1985 e 2005, tendo uma pequena queda entre 2005 e 2014; contudo, o crescimento em relação a 1985 foi de 51,3%. Segundo Casimiro (2000), quanto maior a subdivisão da paisagem, maior o número de manchas, maior a resistência potencial à propagação de

perturbações como doenças e fogo, podendo as manchas persistir mais facilmente do que se o número fosse diminuto.

Figura 33 - Métricas de paisagem calculadas para a região de estudo.



Fonte: O autor.

Os efeitos de borda vêm sendo conceituados como alterações nas condições ecológicas decorrentes da interação da paisagem. À medida que os fragmentos se tornam menores e com forma mais irregular, também se tornam crescentemente

dominados pelos habitats de borda (CASTRO, 2008). As métricas de borda (Figura 33d) revelaram um aumento do “total de bordas” (*Total Extension – TE*) nas datas analisadas, de 8.171,3 km em 1985 para 12.390,3 km em 2014, um aumento de 51,6%. Estes resultados revelam o elevado grau de fragmentação da região, pois quanto maior o total de bordas ou margens, maior a fragmentação da paisagem. Assim, a quantidade total de margens é um excelente indicador da configuração da paisagem. A importância das margens é muito elevada, pois há uma importante interação da flora e da fauna nestas áreas, que podem constituir habitats por si só, além de serem claramente frentes de interface: predação e refúgio, dispersão de sementes e recolonização, proteção do vento, etc. (HOLANDA et al., 2010). Juntamente com o total de bordas houve o sucessivo aumento dos “índices de densidade de bordas” (*Extension Density – ED*) de 15,7% entre 1985 e 2014. O aumento dos índices das métricas de borda estão relacionados ao aumento do número e tamanho dos fragmentos florestais, que ocupam cada vez mais a área de uma paisagem, confirmado em resultados e discussões anteriores. Conforme o exposto pode-se dizer que quanto maior for a fragmentação da mancha, maior é o aumento das áreas de borda de um habitat. A fragmentação favorece não apenas o desenvolvimento de espécies de borda, muitas vezes predadores e parasitas, mas também de espécies generalistas que tendem a excluir, por competição ou predação, as espécies de interior (METZGER, 1999). Neste sentido, Borges et al. (2010) ressaltam que quanto maior o valor da relação perímetro/área, maior o efeito de borda, o que é negativo em termos de preservação.

Em relação às métricas de forma “índice de forma médio” (*Mean Shape Index – MSI*) e “dimensão fractal média da mancha” (*Mean Patch Fractal Dimension – MPFD*), não houve variação significativa durante os anos analisados. De uma forma geral, os fragmentos florestais da região de estudo apresentam formas regulares e perímetros complexos (Figura 33e).

O índice de área central (ou área *core*) calculado corresponde à porção da mancha que não é afetada pelos efeitos de borda, ou seja, corresponde à área nuclear do fragmento de vegetação arbórea (MCGARIGAL et al., 2002). As métricas de áreas centrais (Figura 33f) apresentam um aumento na “área central total” das manchas (*Total Core Area – TCA*), de 82.256,1 ha em 1985 para 107.872,4 ha em 2014, um aumento de 31,1%. Da mesma forma, o índice de manchas cresceu na região de 56,9% em 1985 para 60,4% em 2014. Isso significa que aproximadamente

40% dos fragmentos da área de estudo estão submetidos ao efeito de borda. Segundo Borges et al. (2010), a área central reforça o núcleo da expressiva cobertura vegetal. Quanto maior a área central, mais equilibrado é o ecossistema ali presente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo permitiu analisar a dinâmica espacial e temporal dos fragmentos florestais das microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos, no noroeste do Rio Grande do Sul. O mapeamento revelou um aumento gradual de área de cobertura florestal nas datas analisadas, um crescimento de 50,4% entre 1985 e 2014. Nesse mesmo período, foi verificado um aumento de 56,2% no número de fragmentos florestais, sendo os fragmentos muito pequenos (< 5 ha) predominantes na paisagem da região de estudo.

O número de fragmentos florestais cresceu 156,7% de 1985 a 2005; entretanto, apresentou uma redução de 39,2% de 2005 a 2014, provavelmente causado pela união de dois ou mais pequenos fragmentos originando um fragmento maior. Em relação ao tamanho dos fragmentos, observa-se um aumento do número de fragmentos muito pequenos e pequenos entre 1985 e 2005. De 2005 a 2014, verificou-se uma queda no número de fragmentos muito pequenos e pequenos e o aumento do número de fragmentos médios e grandes.

Verificou-se uma gradual queda nas taxas de população rural de todos os municípios constituintes das duas microrregiões, representando um aumento do êxodo rural. Em relação à produção madeireira para carvão, lenha e tora, em ambas as microrregiões há um abandono ou diminuição na obtenção desses produtos pelo método da extração vegetal, contudo, verificou-se um aumento da produção utilizando técnicas silviculturais. Este parece ser um importante fator responsável pela crescente taxa de cobertura florestal, principalmente no ano de 2014. Em praticamente todos os municípios, foi constatado aumento da cobertura florestal entre 1985 e 2014, em maior ou menor proporção. Ao cruzar os dados de população rural com o índice de cobertura arbórea dos municípios, verificou-se uma tendência de aumento da cobertura florestal à medida que diminui a população rural.

O mapeamento da cobertura florestal aponta um maior crescimento em altitudes entre 300 a 450 m, com suas vertentes orientadas a oeste e em terrenos ondulados e fortemente ondulados, possivelmente causado pelo abandono de atividades agricultáveis nessas áreas e pelo plantio de espécies florestais exóticas. Os índices de cobertura arbórea presentes nas proximidades das rodovias cresceram em ambas as microrregiões, muito embora ainda apresentem valores modestos se comparados às demais áreas das microrregiões.

Os mapas de transição da fragmentação florestal apresentaram ganho de área de 1.258,1 km², perda de área de 433,4 km² e áreas de fragmentação constantes de 1.081,3 km². De acordo com os cálculos obtidos por meio das métricas de paisagem, o número de fragmentos, bem como seu tamanho, tiveram um aumento no decorrer do tempo, ocupando cada vez mais a área da paisagem. Em geral, os fragmentos possuem formas regulares e perímetros complexos. Entretanto, a paisagem da região apresenta-se muito fragmentada, provavelmente ocasionada pela regeneração natural da floresta. Pode-se concluir também que, de acordo com os resultados apresentados, apesar da região estar bastante fragmentada, a mesma está passando por um processo de regeneração florestal, fato que indica positivamente a criação de políticas públicas que incentivam a preservação das matas nativas, o plantio de florestas e a formação de corredores ecológicos.

REFERÊNCIAS

- ABREU, S. H. C. Escorregamento de encostas em áreas urbanas habitadas por população de baixa renda. 2007. 67 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, SP, 2007.
- ALBANEZ, A. C. M. P. **Caracterização dos fragmentos florestais a partir de estudos de ecologia da paisagem para o município de Ponte Nova, Minas Gerais**. 2000. 160 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.
- ALIER, J. M. **Da economia ecológica ao ecologismo popular**. Blumenau: Editora da FURB, 1998. 402 p.
- ANDERSON, J. R. **Sistema de classificação do uso da terra e do revestimento do solo para utilização com dados de sensoriamento remoto**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. 78 p.
- ARIZA, A. **Descripción y corrección de productos Landsat 8**. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2013. 46 p.
- ARNS, C. E.; PIOVEZANA, L. Desenvolvimento econômico na microrregião de Frederico Westphalen (RS). **Revista Grifos**, n. 24, p. 61-74, 2008.
- ART, H. **Dicionário de ecologia e ciências ambientais**. São Paulo: Melhoramentos, 1998. 583 p.
- BARBOZA, R. S. **Caracterização das bacias aéreas e avaliação da chuva nos contrafortes da Serra do Mar-RJ**. 2007. 68 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2007.
- BEHLING, H. Late quaternary vegetation, climate and the history of the Araucaria Forest and campos region from Serra Campos Gerais, Parana State (South Brazil). **Review of Palaeobotany and Palynology**, v.97, n. 1-2, p.109-121, 1997.
- BENEDETTI, A. C. P. et al. Uso do produto MOD13Q1 do sensor Modis para análise temporal e mapeamento das florestas nas Serras do Sudeste e Campanha Meridional do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 459-467, 2013.
- BERNACCI, L. C. et al. O efeito da fragmentação florestal na composição e riqueza de árvores na região da Reserva Morro Grande (Planalto de Ibiúna, SP). **Revista do Instituto Florestal**, v. 18, p. 121-166, 2006.
- BONANSEA, M. et al. Using multi-temporal Landsat imagery and linear mixed models for assessing water quality parameters in Río Tercero reservoir (Argentina). **Remote Sensing of Environment**, v. 158, p. 28-41, 2015.
- BORBA, F. da S. **Dicionário UNESP do português contemporâneo**. São Paulo: UNESP, 2004. 1470 p.

BORGES, L. F. R.; SCOLFORO, J. R.; OLIVEIRA, A. D. et al. Inventário de fragmentos florestais nativos e propostas para seu manejo e o da paisagem. **Cerne**, v. 10, n. 1, p. 22-38, 2004.

BORGES, J. et al. **Estudo da conformação da paisagem de Sabará-MG para compreensão das métricas do fragstats em padrões de uso do solo**. XXIV Congresso Brasileiro de Cartografia - Aracaju - SE - Brasil, 16 a 20 de maio de 2010.

BREUNIG, F. M. et al. Spectral anisotropy of subtropical deciduous forest using MISR and MODIS data acquired under large seasonal variation in solar zenith angle. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 35, p. 294-304, 2015.

BRIASSOULIS, H. **Analysis of Land Use Change**: Theoretical and modeling Approaches. In: REGIONAL RESEARCH INSTITUTE OF WEST VIRGINIA UNIVERSITY. The Web Book of Regional Science. Morgantown: Scott Loveridge, 2000.

CALASANS, C. V. C. **Origem e dinâmica da matéria orgânica em um sistema fluvio-lacustre da Região Norte Fluminense**. 1998. 100 f. Tese (Doutorado em Biociências) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ, 1998.

CALIL, P. M. et al. Caracterização geomorfométrica e do uso do solo da Bacia Hidrográfica do Alto Meia Ponte, Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 4, p. 433-442, 2012.

CAMPOS, S. **Fotointerpretação da ocupação do solo e suas influências sobre a rede de drenagem da bacia do rio Capivara – Botucatu (SP), no período de 1962 a 1977**. 1993. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu, SP.

CASIMIRO, P. C. Uso do solo – ecologia da paisagem, perspectivas de uma nova abordagem do estudo da paisagem em geografia. **Geonova**, v. 2, p. 45-65, 2000.

CASTILLO, R.; FREDERICO, S. Espaço geográfico, produção e movimento: uma reflexão sobre o conceito de circuito espacial produtivo. **Sociedade & Natureza**, v. 22, n. 3, p. 461-474, 2010.

CASTRO, D. M. **Efeito de borda em ecossistemas tropicais**: síntese bibliográfica e estudo de caso em fragmentos de Cerrado, na região Nordeste do Estado de São Paulo. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de Sistemas em Geografia**: introdução. São Paulo: Hucitec, 1979. 99 p.

COMMITTEE ON GLOBAL CHANGE RESEARCH, NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Global environmental change**: research pathways for the next decade. Washington: National Academy Press. 1999. 582 p.

CORRÊA, M. P. **Influência da radiação solar na regeneração natural de Mata Atlântica**. 2008. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2008.

COSTA, J. P. O. **Mata Atlântica: ciência, conservação e políticas**. São Paulo: Cetesb, 1999. 21 p.

COSTA, R. B. **Fragmentação florestal e alternativas de desenvolvimento rural na região Centro-Oeste**. Campo Grande: UCDB, 2003. 246 p.

COSTA, T. A. **Dinâmica do uso e ocupação da terra na microbacia do ribeirão São Bartolomeu – Viçosa, MG**. 2012. 60 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.

COTINES, E. et al. Vegetação arbórea em vertentes com orientação norte e sul na Floresta Montana, Nova Friburgo - RJ. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 4, p. 428-437, 2011.

CUNHA, N. G. **Estudos de solos do município de Frederico Westphalen, RS**. Pelotas: EMBRAPA, 2011, 32 p.

DAINESE, R. C. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado ao estudo temporal do uso da terra e na comparação entre classificação não-supervisionada e análise visual**. 2001. 210 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu, 2001.

DARK, S. J.; BRAM, D. The Modifiable Areal Unit Problem (MAUP) in Physical Geography', **Progress in Physical Geography**, v. 31, n. 5, p. 471-479, 2007.

DETONI, S. F. Evolução do uso do solo e da cobertura vegetal na região da Serra do Boturuna, estado de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 20, p. 51-61, 2010.

DORNELLES, A. C. B. A ocupação e o homem: uma análise biocêntrica e antropocêntrica do meio ambiente. **Direitos culturais** v. 4, n. 7, p. 171-184, jul./dez. 2009.

DUARTE, S. M. A.; BARBOSA, M. P. Estudo dos recursos naturais e as potencialidades no semi-árido, Estado da Paraíba. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 6, n. 3, p. 168-189, 2009.

EGBERT, S. L. et al. Using conservation reserve program maps derived from satellite imagery to characterize landscape structure. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 37, p. 141-156, 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Serviço de Produção de Informação, 1999. 412p.

ESRI. **ArcGIS Resources. How slope Works.** Disponível em: <<http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=How%20Aspect%20works>>. Acesso em: 20 jul. 2015a.

ESRI. **ArcGIS HELP. How aspect Works.** Disponível em: <<http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#//009z000000vz000000>>. Acesso em: 20 jul. 2015b.

ESRI. **ArcGIS Desktop: Release 10.3.1.** Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, 2015c.

FERREIRA, P. J. G.; BEZERRA, I. S. Bacia hidrográfica do riacho Engenho Velho: morfometria, uso potencial da terra e conflito do uso da terra. **Revista Ambiental**, v. 1, n. 1, p. 59-70, 2015.

FILADELFO JÚNIOR, W. S. **Geoprocessamento aplicado ao estudo de ocupação do solo e de classe de declive.** 1999. 112 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu, 1999.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Planning for sustainable use of land resources: towards a new approach.** Roma, 1995.

FORESTI, C.; HAMBURGER, D. S. Sensoriamento remoto aplicado ao estudo do uso do solo urbano. In: TAUKE, S. M. **Análise ambiental: uma visão multidisciplinar.** São Paulo: Editora da UNESP, 1991. p. 143-149.

FUSHITA, A. T. **Análise da fragmentação de áreas de vegetação natural e seminatural do município de Santa Cruz da Conceição, São Paulo, Brasil.** 2006. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997. 648 p.

HE, C. et al. Zoning grassland protection area using remote sensing and cellular automata modeling - a case study in Xilingol steppe grassland in northern China. **Journal of Arid Environments**, v. 63, p. 814-826, 2005.

HOLANDA, A. C. et al. Estrutura de espécies arbóreas sob efeito de borda em um fragmento de floresta estacional semidecidual em Pernambuco. **Revista Árvore**, v. 34, n. 1, p. 103-114, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Folha SH. 22 Porto Alegre e parte das folhas SH. 21 Uruguaiana e SI. 22. **Lagoa Mirim: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra.** Rio de Janeiro, 1986. 796 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Introdução ao processamento digital de imagens.** Rio de Janeiro: IBGE, 1999. 92 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual técnico do uso da terra**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. 91 p.

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

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Base Cartográfica Contínua do Brasil na escala 1:250.000**. Diretoria de Geociências, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura 2013. Rio de Janeiro: IBGE, 2014.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate change 2014 – Impacts, adaptation and vulnerability**. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5_wgII_spm_en.pdf>. Acesso em: 09 abr. 2015.

IZQUIERDO, A. E.; GRAU, H. R.; AIDE, T. M. Implications of rural-urban migration for conservation of the Atlantic Forest and urban growth in Misiones, Argentina (1970 – 2030). **Ambio**, v. 40, p. 238-309, 2011.

JACKSON, M. W.; JENSEN, J. R. An evaluation of remote sensing-derived landscape ecology metrics for Reservoir Shoreline environmental monitoring. **Photogrammetric Engineering e Remote Sensing**, v. 71, n. 12, p. 1387-1397, dez. 2005.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 672 p.

JONES, D. A. et al. Monitoring land use and cover around parks: a conceptual approach. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, p. 1346-1356, 2009.

JUNG, M.; CHURKINA, G.; HENKEL, K.; HEROLD, M. Exploiting synergies of global land cover products for carbon cycle modeling. **Remote Sensing of Environment**, v. 101, p. 534-553, 2006.

JUVANHOL, R. S. et al. Análise especial de fragmentos florestais: caso dos Parques Estaduais de Forno Grande e Pedra Azul, estado do Espírito Santo. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 4, p. 353-364, 2011.

KÜCHLER, A. W.; ZONNEVELD, I. S. **Vegetation mapping**. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher. 1988. 472 p.

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

LANGLEY, S. K.; CHESHIRE, H. M.; HUMES, K. S. A comparison of single date and multitemporal satellite image classifications in a semi-arid grassland. **Journal of Arid Environments**, v. 49, p. 401-411, 2001.

LILLESAND, M. T.; KIEFER, W. R.; CHIPMAN, N. J. **Remote sensing and image Interpretation**. 6. ed. New York: John Wiley and Sons. 2008. 756 p.

LIMA E CUNHA, M. C. et al. Quantificação da dinâmica dos remanescentes florestais no município de Jaquirana, RS, em imagens de satélite. *Revista Árvore*, v. 35, n. 4, p. 867-873, 2011.

LIRA, P. K. et al. Land-use and land-cover change in Atlantic Forest landscapes. *Forest Ecology and Management*, v. 278, p. 80-89, 2012.

MAIERSPERGER, T. K. et al. Characterizing LEDAPS surface reflectance products by comparisons with AERONET, field spectrometer, and MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, v. 136, p. 1-13. 2013.

MAIMAITIJIANG, M. et al. Drivers of land cover and land use changes in St. Louis metropolitan area over the past 40 years characterized by remote sensing and census population data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 35, p. 161-174, 2015.

MARCHESAN, J. et al. Evolução da cobertura florestal nas serras do Sudeste, Rio Grande do Sul, entre 1984 e 2011. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 8, n. 8, p. 1751-1760, 2012.

MARQUES, O. et al. Atributos ambientais definidores de presença de fragmentos florestais de Mata Atlântica em microbacias instáveis. *Revista Universidade Rural – Ciências da Vida*, v. 24, n. 2, p. 145-150, 2004.

MARINO JUNIOR, E. **Análise integrada dos efeitos do uso da terra em fragmentos florestais da bacia do rio Corumbataí, SP**. 2006, 111 f. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2006.

MASEK, J. G. et al. A landsat surface reflectance dataset for North America, 1990-2000. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, v. 3, n. 1, p. 68-72. 2006.

MATA, A. P. **Legislação ambiental e uso atual do solo: O caso da microbacia do córrego de São Lourenço - Nova Friburgo - RJ**. 2006. 106 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2006.

MATTOS JUNIOR, C. F. O efeito da cobertura florestal na regularização hídrica de microbacias no município de Miguel Pereira, RJ. 2008. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2008.

MATHER, P. M. **Computer processing of remotely-sensed images**. Chichester: John Wiley e Sons, 2004. 350 p.

MCGARIGAL AND MARKS. **Fragstats: Spatial pattern analysis program for quantify in glandscape structure**. Reference manual. For. Sci. Dep. Oregon State University. Corvallis Oregon 59 p.+ Append. 1995.

MCGARIGAL, K. et al. **Fragstats: Spatial pattern analysis program for categorical maps - version 3.3 build 5**. Manual do programa. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst, 2002.

MELLO, T. F. **Estrutura da vegetação, cobertura florestal e preferências de uso da paisagem associadas a vertentes: as quase-florestas de São Luiz de Paraitinga (SP)**. 2009. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2009.

MENDES, B. C. et al. Análise do uso e ocupação da terra, fragmentação florestal e áreas de preservação permanente no município de Cerro Azul – PR. **Espaço e Geografia**, v. 17, n. 1, p. 235-253, 2014.

MENDONÇA, E. S. **Mudanças no uso da terra e o florestamento: um estudo em três municípios do rio grande do sul**. 2009. 153 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2009.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UnB, 2012. 276 p.

METZGER, J. P. Estrutura da paisagem: o uso adequado de métricas. In: CULLEN JR. L.; RUDRAN, R.; VALLADARES-PÁDUA, C. (Ed.). **Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre**. Curitiba: Ed. UFPR, 2003. p. 423-538.

METZGER, J. P. Estrutura da Paisagem e Fragmentação: Análise Bibliográfica. **Anais...** Academia Brasileira de Ciências. v. 71, n. 3-I, p. 445-463, 1999.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Fragmentação de ecossistemas: causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas**. Brasília: MMA, SBF, 2003. 510 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Panorama da Biodiversidade Global 3**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/_arquivos/gbo3_72.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2016.

MIRANDA, E. L. F.; OLIVEIRA, R. R. Orquídeas rupícolas do Morro do Pão de Açúcar, Rio de Janeiro. **Atas Soc. Bot. Brasil**, v. 1, n. 18, p. 99-105, 1983.

MORAES, D. S. L.; JORDÃO, B. Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Revista Saúde Pública**, v. 36, n. 3, p. 370-374, 2002.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2007. 320 p.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura do Rio Grande do Sul, 1961.

MOSER, L. et al. Multitemporal Wetland Monitoring in Sub-Saharan West-Africa Using Medium Resolution Optical Satellite Data. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 7, n. 8, p. 3402-3415, 2014.

MUNICÍPIO DE NONOAI/RS. **Plano ambiental**. Disponível em: <<http://www.nonoai.rs.gov.br/attachments/article/84/plano%20ambiental.pdf>>. Acesso em: 09 abr. 2015.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION – NASA. **Missions**. Disponível em: <<http://www.nasa.gov/missions>>. Acesso em: 14 abr. 2015a.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION - NASA. **Landsat 5 Sets Guinness World Record For 'Longest Operating Earth Observation Satellite'**. Disponível em: <https://www.nasa.gov/mission_pages/landsat/news/landsat5-guinness.html#.VW220s9Vikp>. Acesso em: 02 jun. 2015b.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION - NASA. **Landsat 8**. Disponível em: <<http://landsat.gsfc.nasa.gov/?p=3186>>. Acesso em: 21 jan. 2016.

NIMER, E. **Geografia do Brasil** – Região Sul. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. p. 151-187.

NORDBERG, M. L.; EVERTSON, J. Vegetation index differencing and linear regression for change detection in a Swedish mountain range using Landsat TM and ETM+ imagery. **Land Degradation e Development**, v. 16, p. 139-149, 2003.

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

O ECO. **O que é fragmentação**. Disponível em: <http://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/27923-o-que-e-fragmentacao>. Acesso em: 09 jun. 2014.

OCHOA-QUINTERO, J. E. et al. Thresholds of species loss in Amazonian deforestation frontier landscapes. **Conservation Biology**, v. 0, n. 0, p. 1-12, 2015.

OLIVEIRA, R. R. et al. Significado ecológico da orientação de encostas no Maciço da Tijuca. **Oecologia Brasiliensis**, v. 1, p. 523-541, 1995.

OLIVEIRA, A. M. M. **Análise da dinâmica do uso da terra: o estudo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão São João**. 2000. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós Graduação em Geografia, UNESP, Rio Claro, SP.

PACHECO, A. P.; RIBAS, N. de S. Sensoriamento remoto aplicado ao uso da terra. **Geodésia Online**, v. 4, 1998.

PARKER, D. et al. Multiagent systems for the simulation of land-use and land-cover change: a review. **Annals of the Association of American Geographers**, Miami, v. 93, n. 2, p. 314-337, 2003.

PELOSO, B. D. A.; SHIMABUKURO, Y. E. Caracterização de unidades geobotânicas do Parque Nacional da Serra do Cipó (MG) através da integração de imagens ópticas e Modelo Digital de Elevação. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 62, n. 1, p. 103-118, 2010.

PEREIRA DOS SANTOS, D. I. et al. Análise multitemporal de uso e ocupação do solo do núcleo inicial do projeto integrado de colonização Paulo de Assis Ribeiro no município de Colorado do Oeste – RO. **Caderno de Geografia**, v. 25, n. 43, p. 34-51, 2015.

PEREIRA, J. L. G. et al. Métricas da paisagem na caracterização da evolução da ocupação da Amazônia. **Geografia**, v. 26, n. 1, 2001.

PEREIRA, M. A. S.; NEVES N. A. G. S.; FIGUEIREDO, D. F. C. Considerações sobre a fragmentação territorial e as redes de corredores ecológicos. **Revista Geografia**, v. 16, n. 2, p. 5-24, 2007.

PINHEIRO, A. et al. Uso do solo na zona ripária de bacias agrícolas de pequeno a médio porte. **Revista Árvore**, v.35, n. 6, p. 1245-1251, 2011.

PIROVANI, D. B. **Fragmentação florestal, dinâmica e ecologia da paisagem na bacia hidrográfica do rio Itapemirim, ES**. 2010, 106 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES, 2010.

PONZONI, F. J. et al. Comparação entre o fator de reflectância bidirecional de um dossel de mudas de *Eucalyptus grandis* e o fator de reflectância direcional hemisférico de suas folhas isoladas, **Cerne**, v. 8, n. 1, p. 59-68, 2002.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: A. Silva Vieira Ed., 2009. 144 p.

PRADO, L. A.; MIZIARA, F.; F., M. E. Expansão da fronteira agrícola e mudanças no uso do solo na região sul de Goiás: ação antrópica e características naturais do espaço. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 32, n. 1, p. 151-165, jan./jun. 2012.

PROFETA, A. L. Dinâmica multitemporal da cobertura do solo no município de Piranga – MG, no período de 1984 a 2009. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 67, p. 111-125, 2015.

REICHERT, B. L. et al. Woody vegetation and soil characteristics of residential forest patches and open spaces along na urban-to-rural gradient. **Open Journal of Forestry**, v. 5, p. 90-104, 2015.

RIO GRANDE DO SUL. **Médio Alto Uruguai**. Disponível em: <http://www.seplan.rs.gov.br/download/20130730152141perfil_medio_alto_uruguai.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2015a.

RIO GRANDE DO SUL. **COREDE Celeiro**. Disponível em: <http://www.seplan.rs.gov.br/download/20130730151920perfil_celeiro.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2015b.

ROCHA, J. S. M. **Manual de projetos ambientais**. Santa Maria: UFSM, 1997. 423 p.

RODRIGUES, E. et al. Conservação em paisagens fragmentadas. p. 4. In: CULLEN JR.; L. C.; RUDRAN, R.; VALADARESPADUA, C. (Org.). **Métodos de estudo em biologia da conservação & manejo da vida silvestre**. Ed. UFPR; Fundação O Boticário de Proteção à Natureza, 2003.p. 481-515.

RODRIGUES, C. Morfologia original e morfologia antropogênica na definição de unidades espaciais de planejamento urbano: exemplo na metrópole paulista. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 17, p. 101-111, 2005.

ROSA P. A. et al. Dinâmica da Floresta do Parque Estadual do Turvo com Índices de Vegetação. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 4, p. 487-499, 2013.

ROSA, P. A.; BREUNIG, F. M. Variação temporal de índices de vegetação no Parque Florestal de Nonoai. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17, 2015, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: INPE, 2015, p. 627-634.

ROSA, P. A. et al. Relação entre população rural e cobertura florestal no noroeste do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Cartografia**, 2016. No prelo.

ROSA, P. A. et al. Avaliação das relações entre os parâmetros da modelagem geomorfológica e a cobertura florestal no noroeste do Rio Grande do Sul. **Geo UERJ**, 2016. No prelo.

ROSS, J. L. S. Análises e Sínteses na Abordagem Geográfica da Pesquisa para o Planejamento Ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 9, p. 65-75, 1995.

ROSSATO, M. S. Os climas do Rio Grande do Sul: Tendências e tipologias. In: MENDONÇA, Francisco (Org.). **Os climas do Sul**: Em tempos de mudanças climáticas globais. Jundiaí: Paco Editorial, 2014. p. 217-271.

ROY, D. P. et al. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. **Remote Sensing of Environment**, v. 145, p.154-172, 2014.

RUSCHEL, A. R. et al. Valuation and characterization of the timber species in remnants of the Alto Uruguay River ecosystem, southern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 217, p. 103-116, 2005.

RUSCHEL, A. R.; NODARI, R. O.; MOERSCHBACHER, B. M. Woody plant species richness in the Turvo State Park, a large remnant of deciduous Atlantic forest, Brazil. **Biodivers. Conserv.**, v. 16, p. 1699-1714, 2007.

SÁ, C. F. C. **Estrutura, diversidade e conservação de angiospermas no Centro de Diversidade de Cabo Frio, Rio de Janeiro**. 2006. 251 f. Tese de Doutorado (Mestrado em Ecologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2006.

SALGADO, M. P. G. **Avaliação dos dados SRTM e GDEM aplicados a modelagem do fator topográfico da USLE**. 2011. 123 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011.

SANTOS, M. **Metamorfoses do espaço habitado: fundamentos teóricos e metodológicos da geografia**. São Paulo: Hucitec, 1988. 124 p.

SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de textos, 2004. 184 p.

SANTOS, G. L. **Influência dos fatores ecológicos na arquitetura de fragmentos florestais a sotavento da Serra do Mar, Nova Friburgo – RJ**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2011.

SAUSEN, T. M. **Sensoriamento Remoto e suas Aplicações para Recursos Naturais**. Disponível em: <http://200.132.36.199/elodio/downloads/sr/SR_T05.pdf>. Acesso em: 14 mai. 2014.

SCARIOT, A. Consequências da fragmentação da floresta na comunidade de palmeiras na Amazônia central. **Série Técnica IPEF**, v. 12, n. 32, p. 71-86. 1998.

SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – SEMA. **Plano de manejo do Parque Estadual do Turvo**. Porto Alegre: SEMA, 2005. 348 p.

SEPEHRY, A.; LIU, G. J. Flood induced land cover change detection using multitemporal ETM+ Imagery. **Proceedings of the Center for Remote Sensing of Land Surfaces**, Sept. 28-30, Bonn, Germany, 1-7, 2006.

SILVA, P.; GUERRA, A. J. T.; MOUSINHO, P. **Dicionário brasileiro de ciências ambientais**. Rio de Janeiro: Thex, 1999.

SILVA, V. V. et al. Uso do Geoprocessamento como ferramenta para análise geocológica – o exemplo da bacia do Paquequer. In: CONGRESSO ACADÊMICO SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 2., 2006, Niterói. **Anais...** Niterói: 2006. 14p.

SILVA, R. W. C.; PAULA, B. L. 2009. Causa do aquecimento global: antropogênica versus natural. **Terræ Didática**, v. 5, n. 1, p. 42-49, 2009.

SIMON, A. L. H. **A dinâmica de uso da terra e sua interferência na morfohidrografia da Bacia do Arroio Santa Bárbara – Pelotas (RS)**. 2007. 185 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, UNESP, Rio Claro, 2007.

SKOLE, D.; TUCKER, C. Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: satellite data from 1978–1988. **Science**, v. 260, n. 5116, p. 1905-1910, 1993.

TABARELLI, M. et al. Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade na Mata Atlântica brasileira. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 132-138, 2005.

TAGLIANI, C. R. A.; VICENS, R. S. Mapeamento da vegetação e uso do solo nos entornos da Laguna dos Patos, RS, utilizando técnicas de processamento digital de imagem do SIG Spring. In: XI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 1461 – 1468.

THOMSON, M. J. **Forest fragmentation**. Disponível em: <<http://www.ontarionature.org/discover/resources/PDFs/factsheets/fragmentation.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2014.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY – USGS. **Landsat – a global land-imaging mission**. 2013. 4 p.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY'S EARTH RESOURCES OBSERVATION AND SCIENCE (EROS) CENTER. **Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC)**. Disponível em: <<http://lpdaac.usgs.gov>>. Acesso em 07 abr. 2015a.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY – USGS. **Product guide Landsat 4-7 Climate Data Record (CDR) surface reflectance**. 2015b. 26 p.

VASCONCELLOS, B. N.; BENEDETTI, A. C. P. Dinâmica temporal da cobertura florestal na microrregião Campanha Central do Rio Grande do Sul. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 4, n. 4, p. 427-433, 2011.

WALDHOFF, P.; VIANA, V. M. Efeito de borda em um fragmento de mata atlântica em Linhares, ES. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 10; CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 70, 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 1993. v. 2, p. 41-44.

WANG, Q.; TENHUNEN, J. D. Vegetation mapping with multitemporal NDVI in North Eastern China Transect (NECT). **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 6, p. 17-31, 2004.

WEIERS, S. et al. Mapping and indicator approaches for the assessment of habitats at different scales using remote sensing and GIS methods. **Landscape and Urban Planning**, v. 67, p. 43-65, mar. 2004.

WEST, P. W. **Tree and forest measurement**. 2. ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2009. 192 p.

XIAO, X. M. et al. Modeling gross primary production of temperate deciduous broadleaf forest using satellite images and climate data. **Remote Sensing of Environment**, v. 91, p. 256-270, 2004.

XIE, Y.; SHA, Z.; YU, M. Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review. **Journal of Plant Ecology**, v. 1, n. 1, p. 9-23, 2008.

ZANELLA, L. **Análise da interferência antrópica na fragmentação da Mata Atlântica e modelos de simulação da paisagem na microrregião da Serra da Mantiqueira do estado de Minas Gerais**. 2011. 116 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2011.

ZAKARIA, H. E. A. **Integration of remote sensing and GIS in studying vegetation trends and conditions in the Gum Arabic Belt in North Kordofan, Sudan**. 2010. 165 f. Tese (Doutorado em Ciência Natural) – Universidade Técnica de Dresden, Dresden, 2010.

ZHAI, D. et al. Deforestation and fragmentation of natural forests in the upper Changhua watershed, Hainan, China: implications for biodiversity conservation. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 187, p. 1-12, 2015.

ZHANG, Z. et al. A 2010 update of National Land Use/Cover Database of China at 1:100000 scale using medium spatial resolution satellite images. **Remote Sensing of Environment**, v. 149, p. 142-154, 2014.